T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOKTORA TEZİ**

# RADYAL HIZ DENEYİNDEKİ KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARININ KİNEMATİK ANALİZİ

**Özgecan ÖNAL TAŞ**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü**

**Danışman**

**Prof. Dr. Selçuk BİLİR**

**II. Danışman**

**Doç. Dr. George SEABROKE**

**Ağustos 2016**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 05 / 08 / 2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astrofizik 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. Faruk SOYDUGAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen – Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Ersin GÖĞÜŞ
Sabancı Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri
Fakültesi

Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

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

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 36224 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun 1001 – Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı çerçevesinde 114F347 no'lu proje ile desteklenmiştir.

# ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmamda her konuda yardımını esirgemeyen Sayın danışman hocam Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e ve farklı bakış açısına ihtiyaç duyduğumda yanımda olan ikinci danışmanım Dr. George M. SEABROKE'a teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırma sürecinde tecrübesi ve bilgisiyle destek veren Sayın hocam Prof. Dr. Salih KARAALİ'ye ve 114F347 no'lu TÜBİTAK projesindeki diğer danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Serap AK, Prof. Dr. Tansel AK ve Yrd. Doç. Dr. Z. Funda BOSTANCI GÜVER'e teşekkür ederim. Ayrıca projedeki bursiyer arkadaşlarım Sayın Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN ve Olcay PLEVNE'ye de verdikleri destek için teşekkür ederim. Ayrıca arkadaşım Oğuzhan ATAŞ'a özellikle tezi düzenleme sürecinde verdiği destek için teşekkür ederim.

Ayrıca, bu uzun ve yorucu sürecin planlama, uygulama, sabretme ve sevgi dolu destek aşamasında yanımda olan en iyi dostum ve hayat arkadaşım Sayın Murat TAŞ'a ve bu süreçte tezin ilk çıktısı sayılabilecek olan canım kızım, hayat ışığım Sevgili Özge Melek TAŞ'a varlıklarından ötürü sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum. Tezin özellikle son etabında devreye giren ve uzun saatler yokluğumu aratmayacak şekilde işleri yoluna koyan sevgili annem Sayın Nezihe ÖNAL'a ve babam Vedat ÖNAL'a sonsuz teşekkür ediyorum.

Son olarak tezin her aşamasında bana sağladığı her türlü olanak için ülkemizin en köklü ve öncü bilim kurumlarından İstanbul Üniversitesi'nin parlayan yıldızı Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'ne teşekkür ederim.

Ağustos, 2016 Özgecan ÖNAL TAŞ

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

**ÖNSÖZ** ..... **i**
**İÇİNDEKİLER** ..... **ii**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **v**
**TABLO LİSTESİ** ..... **viii**
**SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ** ..... **x**
**ÖZET** ..... **xiv**
**SUMMARY** ..... **xvi**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. GENEL KISIMLAR** ..... **6**
2.1. GALAKSİMİZİN YAPISI ..... 6
2.1.1. Galaksi Merkezi ..... 11
2.1.2. Galaktik Şişkin Bölge ve Çubuk ..... 14
2.1.3. Galaktik Disk ..... 16
*2.1.3.1. İnce Disk ve Spiral Kollar* ..... 20
*2.1.3.2. Kalın Disk* ..... 22
2.1.4. Galaktik Halo ..... 25
2.2. GALAKSİMİZİN OLUŞUM SENARYOLARI ..... 28
2.2.1. ELS Modeli ..... 28
2.2.2. SZ Modeli ..... 30
2.2.3. Soğuk Karanlık Madde Paradigması (ΛCDM) ..... 31
2.3. GALAKSİMİZİN KİMYASAL EVRİMİ ..... 33
2.3.1. Galaktik Kimyasal Evrim Modelleri ..... 35
2.3.2. Kutu Modelleri ..... 42
*2.3.2.1. Kapalı Kutu Modeli* ..... 42
*2.3.2.2. Sızıntılı Kutu Modeli* ..... 43
*2.3.2.3. Yığışan Kutu Modeli* ..... 43
2.3.3. İkili Çökme Modeli ..... 43
2.3.4. Kemo-Dinamik Modeller ..... 46

2.4. RADYAL HIZ DENEYİ ... 48
2.5. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI ... 56
**3. MALZEME VE YÖNTEM ... 65**
3.1. RAVE DR4 ... 65
3.2. KY YILDIZLARININ SEÇİMİ ... 67
3.3. KY YILDIZLARININ UZAKLIK TAYİNİ ... 67
*3.3.1. KY Yıldızlarının Güneş Merkezli Uzaklıklarının Hesabı* ... 69
*3.3.2. KY Yıldızlarının Galaksi Merkezli Uzaklıklarının Hesabı* ... 70
3.4. KY YILDIZLARININ UZAY HIZLARININ HESAPLANMASI ... 71
3.5. UZAY HIZI DİSPERSİYONLARININ HESAPLANMASI ... 75
3.6. DİNAMİK PARAMETRELERİN HESABI ... 76
3.7. YILDIZLARIN KİNEMATİK YAŞI ... 80
3.8. METAL BOLLUĞU GRADYENTİ TAYİNİ ... 82
**4. BULGULAR ... 84**
4.1. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI ... 84
4.2. KY YILDIZLARININ UZAKLIKLARI ... 87
4.3. KY YILDIZLARININ UZAY HIZLARI ... 89
4.4. KY YILDIZLARININ ATMOSFER PARAMETRELERİ ... 94
4.5. YILDIZLARIN GALAKTİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ ... 95
4.6. KY YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ ... 96
4.6.1. Yıldızların Bugünkü Konumlarına Göre Metal Bolluğu Gradyentleri ... 97
4.6.2. Yıldızların Yörünge Parametrelerine Göre Metal Bolluğu Gradyentleri ... 99
4.6.3. Yıldızların Yörünge Basıklıkları ... 101
4.6.4. Yörünge Basıklığı Değişimine Göre Radyal ve Dikey Gradyentlerin Değişimleri ... 102
4.7. KY YILDIZLARININ KİNEMATİK ÖZELLİKLERİ ... 106
4.7.1. Hız Dispersiyonlarının Genel Durumu ... 106
4.7.2. Hız Dispersiyonlarının Galaktik Düzlem Üzerindeki Basıklık ile Değişimleri ... 110
**5. TARTIŞMA VE SONUÇ ... 119**
5.1. METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ ... 123
5.2. RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ ... 128
5.2.1. KY Yıldızlarının Bugünkü Konumlarına Göre ... 128
5.2.2. KY Yıldızlarının $z_{max}$ Dağılımlarına Göre ... 129
5.2.3. KY Yıldızlarının $z_{max}$ ve $e_p$ Dağılımlarına Göre ... 132

5.3. DİKEY METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ ..... 134
5.3.1. KY Yıldızlarının Bugünkü Konumlarından ..... 134
5.3.2. KY Yıldızlarının $z_{max}$ Dağılımlarına Göre ..... 135
5.3.3. KY Yıldızlarının $z_{max}$ ve $e_p$ Dağılımlarına Göre ..... 136
5.4. KY YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU, KİNEMATİK YAŞ VE YÖRÜNGE PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER ..... 137
5.5. SONUÇLARIN KEMO-DİNAMİK GALAKSİ MODELLERİYLE KARŞILAŞTIRMASI ..... 140
**6. KAYNAKLAR ..... 146**
**7. ÖZGEÇMİŞ ..... 171**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**

**Şekil 2.1:** Yapısal olarak Samanyolu galaksisine benzeyen spiral galaksiler. ..... 6

**Şekil 2.2:** Galaktik bileşenlerin şematik gösterimi..... 7

**Şekil 2.3:** Galaksiler için toplam kütle ile yıldız oluşum oranı diyagramı..... 10

**Şekil 2.4:** Galaksimizi oluşturan karanlık madde halolarının Galaksi etrafındaki dağılımlarını gösteren temsili çizim..... 12

**Şekil 2.5:** ESO VLT'deki NACO odak düzlemi aletiyle yakın kızılötesi bölgede ($\lambda\lambda$1.5-4μm) alınan Galaksi merkezinin 1 pc boyutlarındaki görüntüsü. ..... 14

**Şekil 2. 6:** Galaksi diskinin kalınlığı ve yıldız yaşlarının değişimi..... 17

**Şekil 2.7:** Güneş civarındaki yıldızların [Fe/H]-[$\alpha$/Fe] bolluk dağılımı. ..... 19

**Şekil 2.8:** Samanyolu'nun spiral kolları ve yeni keşfedilen gaz ve toz bulutlarının temsili. ..... 21

**Şekil 2.9:** ELS'nin (1962) incelediği 221 anakol yıldızı için morötesi artığının, $|W|$ uzay hızı, yörüngesel açısal momentum ($h_{ELS}$) ve yörünge basıklığı ($e$) ile değişimi. ..... 29

**Şekil 2.10:** Samanyolu galaksisinin oluşumu için önerilen modellerinin temsili şekilleri: *sol:* ELS (1962) ve *sağ:* SZ (1978) modelleri. ..... 31

**Şekil 2.11:** Logaritmik element bolluğunun atom numarasına göre değişimi. ..... 38

**Şekil 2.12:** Elementlerin periyodik tablosu. Farklı renkler elementlerin sentezlenme süreçlerini temsil etmektedir…… . 38

**Şekil 2.13:** Artan kütle numarasıyla birlikte her bir elementin üretildiği süreçler..... 39

**Şekil 2.14:** [Fe/H]-[O/Fe] diyagramı..... 40

**Şekil 2.15:** İkili çökme modelinin şematik gösterimi. ..... 45

**Şekil 2.16:** İkili çökme modelinde SN Tip II ve Tip Ia'nın etkisi. ..... 46

**Şekil 2.17:** Anglo-Australian Gözlemevi'ndeki 2.1 metrelik UK Schmidt teleskobu. ..... 49

**Şekil 2.18:** 6dF çok-cisim tayfçekeri..... 50

**Şekil 2.19:** Ca II üçlüsünün tayf üzerindeki görünümü; çizgi derinliklerinin metal bolluğuna göre değişimi. ..... 51

**Şekil 2.20:** Rölatif paralaks hataları küçük olan *Hipparcos* verilerinden Güneş civarı için oluşturulmuş H-R diyagramı. ..... 52

**Şekil 3.1:** RAVE DR4 kataloğundaki radyal hız, yıldız atmosfer parametreleri, kimyasal bolluklar ve uzaklıkların *I* görünen parlaklık aralığındaki tamlıkları. ..... 65

**Şekil 3.2:** Güneş merkezli dik koordinat sistemi..... 70

**Şekil 3.3:** Bir yıldızın Galaksi merkezi etrafındaki yörüngesi üzerinde *U*, *V*, *W* uzay hızı bileşenleri ve yıldız ile Güneş'in Galaksi merkezine uzaklıklarının şematik gösterimi. .. 72

**Şekil 3.4:** *MWPotential2014* birleşik potansiyel modeline göre 32 kpc'e kadar tüm galaksiyi (düz çizgi) ve galaksinin şişkin bölge (noktalı-kesikli çizgi), disk (kesikli çizgi) ve halo (noktalı çizgi) bileşenlerini temsil eden dönme eğrileri. ..... 78

**Şekil 4.1:** RAVE DR4 kataloğundaki 425,561 yıldızın $T_{eff}$ - log *g* diyagramı. Renkler logaritmik sayı yoğunluğuna göre verilmiştir. ..... 85

**Şekil 4.2:** KY yıldızlarının yüksek olasılıkla bulunduğu, $4000 < T_{eff}\,(\mathrm{K}) < 5400$ ve $1 < \log g\ (\mathrm{cm\ s^{-2}}) < 3$ bölgenin logaritmik sayı yoğunluğu (log *N; sol panel*) ve metal bolluğuna ([Fe/H]; sağ panel) göre çizilen $T_{eff}$–log *g* diyagramları. ..... 86

**Şekil 4.3:** RAVE DR4 kataloğundan seçilen 68,663 KY yıldızının S/N oranlarının frekans (alt panel) ve birikimli dağılımları (üst panel). ..... 87

**Şekil 4.4:** (a) KY yıldızlarının bulunduğu doğrultular için Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) hesapladığı Galaksi sınırına kadar hesaplanan renk artığı değerlerinin ($E_{\infty}(B\text{-}V)$) ardışık Galaktik enlem aralıklarında görülen frekans sayımları. (b) KY yıldızlarının aynı enlem aralıkları için Bahcall ve Soneira (1980) ilişkisiyle yıldızların uzaklıklarına indirgenen renk artıklarının frekans sayımları. ..... 88

**Şekil 4.5:** KY yıldızlarının uzaklık histogramı (alt panel) ve yıldız sayısının artan uzaklıkla birikimli değişimi (üst panel). ..... 89

**Şekil 4.6:** KY yıldızlarının (*X, Y*) ve (*X, Z*) düzlemlerindeki dağılımları ..... 89

**Şekil 4.7:** Kinematik girdi parametrelerindeki hataların frekans dağılımları. Soldan sağa doğru, sırasıyla, radyal hız ($\gamma_{ht}$), toplam özhareket ($\mu_{ht}$) ve rölatif uzaklık ($\sigma_{\pi}/\pi$) hataları. ..... 90

**Şekil 4.8:** KY yıldızlarının *U* ve *V* uzay hızı hızı bileşenlerine uygulanan ortalama (a)dU ve (b)dV diferansiyel dönme düzeltmelerinin Galaktik boylam ile değişimleri. ..... 91

**Şekil 4.9:** KY yıldızlarının toplam uzay hızı hatalarının frekans dağılımı. $S_{ht}$=21 km $\mathrm{s^{-1}}$ toplam uzay hızı hatasına getirilen hız sınırı siyah ok ile gösterilmiştir.. ..... 93

**Şekil 4.10:** Toplam uzay hızı hatası $S_{ht} \leq 21$ km $\mathrm{s^{-1}}$ olan KY yıldızlarının $U_{ht}$, $V_{ht}$ ve $W_{ht}$ uzay hızı hatalarının frekans dağılımları..... 93

**Şekil 4.11:** KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin V-U (a) ve V-W (b) düzlemlerindeki dağılımları ..... 94

**Şekil 4.12:** KY yıldızlarının etkin sıcaklık (sol panel) ve yüzey çekim ivmesi (sağ panel) parametrelerinin frekans dağılımı. ..... 94

**Şekil 4.13:** KY yıldızlarının metal bolluğu dağılımı. ..... 95

**Şekil 4.14:** 47,406 KY yıldızının Galaktik yörünge parametrelerinin dağılımları: (a) $z_{max}$, (b) $R_m$, (c) $e_p$ ve (d) $e_v$. ..... 96

**Şekil 4.15:** Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzaklıklarına göre $0 \leq |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. ..... 98

**Şekil 4.16:** KY yıldızlarının Galaktik düzlemden bugünkü dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti. ..... 99

**Şekil 4.17:** KY yıldızlarının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre alt-örneklere ayrıldığı, $0 \leq z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$ ve $z_{max} > 2$ kpc, aralıklar için Galaksi merkezinden yıldızların ortalama yörünge uzaklığına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. ..... 100

**Şekil 4.18:** KY yıldızlarının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti. ..... 101

**Şekil 4.19:** KY yıldızlarının dört farklı $z_{max}$ aralığındaki $e_p$-$e_v$ dağılımları (sol panel) ve $e_p$ frekans dağılımları (sağ panel). ..... 102

**Şekil 4.20:** Birikimli dört $e_p$ alt örneğinin dört $z_{max}$ aralığındaki radyal metal bolluğu gradyentleri ..... 105

**Şekil 4.21:** KY yıldızlarının birikimli $e_p$ alt-örneklerinden hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri. ..... 106

**Şekil 4.22:** KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonlarının $z_{max}$ ile değişimleri: (a) $\sigma_U$-$z_{max}$, (b) $\sigma_V$-$z_{max}$, (c) $\sigma_W$-$z_{max}$ ve (d) $\sigma_{TOP}$-$z_{max}$. ..... 109

**Şekil 4.24:** KY yıldızlarının zmax – kinematik yaş ilişkisi. Her bir geometrik nokta yıldız sayısıyla ağırlıklandırılmıştır; daire boyutları büyüdükçe yıldız sayısı da artmaktadır. Kesikli yeşil çizgi Evrenin yaşını ($\tau$=13.772 Gyr) göstermektedir. ..... 110

**Şekil 4.24:** Farklı $z_{max}$ aralıklarındaki KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri (sol panel) ve hız dispersiyonlarının (sağ panel) yatay basıklık parametresine göre değişimleri. ..... 116

**Şekil 4.25:** Farklı $z_{max}$ aralıkları ve $e_p$ alt-örneklerine ayrılmış KY yıldızlarının kinematik yaş (üst panel) ve metal bolluğuna (alt panel) göre değişimleri. Daire boyutları yıldız sayısıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca alt panelde $e_p$ alt-örneklerine karşılık gelen en büyük $R_m$ değerleri gösterilmiştir. ..... 118

**Şekil 5.1:** Bu çalışmada ve Binney ve diğ.'nin (2014) yöntemiyle hesaplanan yıldız uzaklıklarının karşılaştırması. ..... 121

**Şekil 5.2:** Güneş ile Galaksi merkezi arasında gerçekleşen rezonans bölgelerinin Galaksi merkezine göre etki ettikleri radyal uzanımlar. ..... 143

# TABLO LİSTESİ

**Sayfa No**

**Tablo 2.1:** Samanyolu galaksisinin genel parametreleri ..... 8

**Tablo 2.2:** Galaktik merkezi tanımlayan parametreler. ..... 14

**Tablo 2.3:** Şişkin bölge ve Galaktik çubuğun temel parametreleri..... 15

**Tablo 2.4:** Galaktik disk parametreleri. ..... 18

**Tablo 2.5:** Galaktik halonun genel özellikleri. ..... 25

**Tablo 2.6:** Elementler ve üretildikleri yıldız türleri ..... 37

**Tablo 3.1:** *MWPotential2014*'teki parametre değerleri. ..... 79

**Tablo 4.1:** $|Z|$ uzaklık aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının bugünkü konumlarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Burada $N$, yıldız sayısını, $\langle$[Fe/H]$\rangle$ grubun ortalama metal bolluğunu, $d$[Fe/H]$/dR_{gc}$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir ..... 97

**Tablo 4.2:** $z_{max}$ aralığına ayrılmış KY yıldızlarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentleri. Burada $N$, yıldız sayısını, $\langle$[Fe/H]$\rangle$ grubun ortalama metal bolluğunu, $d$[Fe/H]$/dR_m$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir..... 99

**Tablo 4.3**: $z_{max}$ ve $e_p$ aralığına ayrılmış KY yıldızlarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentleri. Burada $N$, yıldız sayısını, $\langle$[Fe/H]$\rangle$ grubun ortalama metal bolluğunu, $d$[Fe/H]$/dR_m$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir..... 104

**Tablo 4.4**: 47,406 KY yıldızının genel kinematik parametreleri. ..... 103

**Tablo 4.5:** KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonları, toplam uzay hızı ve buna karşılık gelen kinematik yaşların $z_{max}$ ile değişimleri. ..... 109

**Tablo 4.6a:** $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri..... 112

**Tablo 4.6b:** $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri..... 112

**Tablo 4.6c:** $1 < z_{max} \leq 2$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri..... 113

**Tablo 4.6d:** $z_{max} > 2$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri..... 113

**Tablo 4.7a:** $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri. ..... 114

**Tablo 4.7a:** $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri. ..... 114

**Tablo 4.7b:** $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri. ..... 114

**Tablo 4.7c:** $1 \leq z_{max} \leq 2$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri. ..... 115

**Tablo 4.7d:** $z_{max} > 2$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri. ..... 115

**Tablo 5.1a:** Literatürde son 15 yılda verilen nesnelerin bugünkü konumlarından ($R_{gc}$) hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. ..... 124

**Tablo 5.1b:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarına ($R_m$) göre hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. ..... 125

**Tablo 5.1c:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin rehber yarıçaplarından hesaplanan ($R_g$) metal bolluğu gradyentleri. ..... 126

**Tablo 5.2a:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin Galaksi düzleminden olan bugünkü dik uzaklıklarından hesaplanan ($|Z|$) metal bolluğu gradyent değerleri. ..... 126

**Tablo 5.2b:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin Galaktik yörünge parametrelerinden elde edilen Galaksi düzleminden dik uzaklıkları ($z_{max}$) için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri. ..... 127

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

**Simgeler** **Açıklama**

**°** : derece
**′** : yay dakikası
**″** : yay saniyesi
**α** : rektasansyon (sağ açıklık)
**$\alpha_{KGK}$** : kuzey Galaktik kutbun rektasansyonu
**[α/Fe]** : alfa element bolluğu
**$a_d$** : disk bileşeninin uzunluk ölçeği
**A** : koordinat matrisi
**b** : galaktik enlem
**$b_d$** : disk bileşeninin yükseklik ölçeği
**B** : koordinat ve dönüşüm matrislerinin çarpımı
**B(m,t)** : yıldızların doğum oranı fonksiyonu
**(B-V), (V-I)** : Johnson fotometrisinin renk indeksleri
**c** : ışık hızı
**c/a** : Galaksinin eksen oranı
**$C_v$** : difüzyon katsayısı
**C** **:** karbon elementi
**Ca** **:** kalsiyum elementi
**CO** **:** karbonmonoksit molekülü
**Co** **:** kobalt elementi
**Cr** **:** krom elementi
**D** **:** döteryum element
**d** : yıldızların Güneş'e uzaklıkları
**$d_P$** : izdüşüm uzaklığı
**dU, dV** : *U* ve *V* uzay hızı bileşenleri için diferansiyel rotasyon düzeltmeleri
**δ** : deklinasyon (dik açıklık)
**$\delta_{KGK}$** : kuzey Galaktik kutbun deklinasyonu
**δ(U-B)** : morötesi artığı
**$E_d$(B-V)** : belli bir uzaklıktaki renk artığı
**$E_\infty$(B-V)** : sonsuz uzaklıktaki renk artığı
**$e_v$** : Galaksi düzlemine dik doğrultudaki (dikey) yörünge basıklığı
**$e_p$** : Galaksi düzlemindeki (yatay) yörünge basıklığı
**Fe** **:** demir elementi
**[Fe/H]** : metal bolluğu
**$F_z$** : dikey doğrultudaki kuvvet
**g** : yüzey çekim ivmesi
**G** : evrensel çekim sabiti
**h** : yükseklik ölçeği
***H*** : uzunluk ölçeği
**H** **:** hidrojen elementi
**He** **:** helyum elementi

**HI** **:** nötral hidrojen
**HII** **:** iyonize hidrojen
$\mathbf{h_z}$ : tozun yükseklik ölçeği
$\mathbf{h_{ELS}}$ : ELS modelinde yörüngesel açısal momentum
$\mathbf{h_{NSD}}$ : nükleer yıldız diskinin yükseklik ölçeği
$\mathbf{J, H, K_s}$ : 2MASS taramasının kızılötesi parlaklıkları
$\mathbf{(J\text{-}K_s)}$ : 2MASS taramasının kızılötesi renk indeksi
**I** : optik bölgede tanımlı *I* parlaklığı
$\mathbf{I_D, J_D, K_D}$ : DENIS taramasının kızılötesi parlaklıkları
$\boldsymbol{\gamma}$ : radyal hız
$\boldsymbol{\gamma_{ht}}$ : radyal hız hatası
$\boldsymbol{\gamma_v}$ : yayılma katsayısı
**K** : uzay hızı hesabında kullanılan bir sabit
**l** : galaktik boylam
$\mathbf{L_\odot}$ : Güneş'in ışıma gücü
$\mathbf{L_X, L_Y, L_Z}$ : *X*, *Y* ve *Z* doğrultusunda yörüngesel açısal momentum bileşenleri
$\boldsymbol{\lambda\lambda}$ : dalgaboyu aralığı
$\boldsymbol{\lambda}$ : dalgaboyu
**Li** **:** lityum elementi
$\mathbf{M_\odot}$ : Güneş'in kütlesi
$\mathbf{M_d}$ : disk bileşeninin kütlesi
**Mg** **:** magnezyum elementi
**Mn** **:** mangan elementi
$\mathbf{M_I}$ : kızılötesi *I* bandındaki mutlak parlaklık
$\mathbf{M_{Ks}}$ : 2MASS taramasının kızılötesi $K_s$ bandındaki mutlak parlaklık
$\mathbf{M_{SKK}}$ : Galaksi merkezindeki karadeliğin kütlesi
$\mathbf{M_{NSD}}$ : nükleer yıldız diskinin kütlesi
$\mathbf{M_S}$ : halo bileşeni için varsayılan sferoidin kütlesi
$\mathbf{M_{ŞB}}$ : Galaktik şişkin bölgenin kütlesi
$\mathbf{M_V}$ : kızılötesi *I* bandındaki mutlak parlaklık
$\boldsymbol{\mu_\alpha \cos\delta}$ : rektasansyondaki öz hareket bileşeni
$\boldsymbol{\mu_\delta}$ : deklinasyondaki öz hareket bileşeni
$\boldsymbol{\mu_{ht}}$ : toplam özhareket hatası
**N** **:** azot elementi
**Ne** **:** neon elementi
**Ni** **:** nikel elementi
**O** **:** oksijen elementi
**[O/Fe]** : oksijen bolluğu
$\boldsymbol{\Phi_{disk}, \Phi_{halo}}$ : disk ve halo bileşenlerinin potansiyelleri
$\boldsymbol{\Omega_\Lambda}$ : karanlık enerjinin enerji yoğunluğu
$\boldsymbol{\Omega_b}$ : baryonik maddenin enerji yoğunluğu
$\boldsymbol{\Omega_{dm}}$ : karanlık maddenin enerji yoğunluğu
$\boldsymbol{\pi}$ : paralaks
$\boldsymbol{\Psi(t)}$ : yıldız oluşum oranı
$\boldsymbol{\Phi(m)}$ : başlangıç kütle fonksiyonu
$\mathbf{r_a}$ : yıldızın yörüngesinde Galaksi merkezine olan en büyük uzaklık
$\mathbf{r_p}$ : yıldızın yörüngesinde Galaksi merkezine olan en küçük uzaklık
$\mathbf{r_s}$ : halo bileşeni için varsayılan sferoidin yarıçapı
$\mathbf{R_{DLR}}$ : dış Lindblad rezonansı yarıçapı

$\mathbf{R_{ER}}$ : eş-dönme rezonansı yarıçapı
$\mathbf{R_g}$ : rehber yarıçap
$\mathbf{R_{gc}}$ : Galaksi merkezine uzaklık
$\mathbf{R_{İLR}}$ : iç Lindblad rezonansı yarıçapı
$\mathbf{R_m}$ : Galaksi merkezine ortalama uzaklık
$\mathbf{R_o}$ : Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı
$\mathbf{R_{tç}}$ : tayfsal çözünürlük
$\boldsymbol{\sigma_\pi/\pi}$ : rölatif paralaks hatası
$\boldsymbol{\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W, \sigma_S}$ : *U*, *V*, *W* hız bileşenlerinin ve *S* uzay hızının dispersiyonları
**S** **:** kükürt elementi
$\mathbf{S_{top}}$ : toplam uzay hızı
$\boldsymbol{\Sigma}$ : yerel görünür yüzey yoğunluğu
**T** : dönüşüm matrisi
$\mathbf{T_{eff}}$ : etkin sıcaklık
**Ti** **:** titanyum elementi
$\boldsymbol{\theta_o}$ : durum açısı
$\boldsymbol{\tau}$ : kinematik yaş
**U, V, W** : uzay hızı bileşenleri
$\mathbf{U_{ht}, V_{ht}, W_{ht}}$ : *U*, *V*, *W* hız bileşenlerinin hataları
**V** **:** vanadyum elementi
$\mathbf{V_T}$ : teğet hız
$\mathbf{V_o}$ : 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
$\mathbf{z_{max}}$ : yıldızın Galaktik düzleme dik ulaşabileceği en büyük uzaklık
**Z** : Galaksi düzlemine olan dik uzaklık
$\mathbf{Z_{el}}$ : element bolluğu
$\mathbf{Z_{el,\odot}}$ : Güneş'in element bolluğu

**Kısaltmalar** **Açıklama**

**2MASS** **:** Two Micron All Sky Survey
**6dF** **:** Six Degree Field
**AGB** **:** Asymptotic Giant Branch
**Al** **:** Alüminyum elementi
**APASS** **:** The AAVSO Photometric All Sky Survey
**APOGEE** **:** The APO Galactic Evolution Experiment
**CCD** **:** Charge Coupled Device
**CDM** **:** Cold Dark Matter
**CNO** **:** Karbon-azot-oksijen döngüsel reaksiyonu
**COBE** **:** COsmic Background Explorer
**DEGAS** **:** DEcision tree alGorithm for Astrophysics
**DENIS** **:** Deep Near Infrared Survey of the Southern Sky
**DLR** **:** Dış Lindblad rezonansı
**DPA** **:** Delayed Production Approximation
**DR** **:** Data Release
**ER** **:** Eş-dönme rezonansı

**ESA** : European Space Agency
**ESO** : European Southern Observatory
**FWHM** : Full width at half-maximum
**GALAH** : GALactic Archaeology with HERMES
**GAMA** : GAlactic Mass Assembly
**GCE** : Galactic Chemical Evolution
**GCS** : Geneva-Copennhagen Survey
**GES** : GAIA-ESO Survey
**GeV** : Gigaelektronvolt
**Gyr** : Gigayear
**HL** : Galaktik halo bileşeni
**HR** : Hertzsprung-Russell
**IMA** : Instantaneous Mixing Approximation
**IMF** : Initial Mass Function
**IR** : Infrared
**IRA** : Instantaneous Recycling Approximation
**IRAF** : Image Reduction and Analysis Facility
**İLR** : İç Lindblad rezonansı
**k/f** : kutu/fıstık
**KY** : Kırmızı Yığın
**LAMOST** : The Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope
**LEGUE** : The LAMOST experiment for Galactic Understanding and Exploration
**LMC** : Large Magellanic Cloud
**LSR** : Local Standard of Rest
**MATISSE** : MATrix Inversion for Spetral SynthEsis
**NACO** : NAos-COnica aleti
**NGC** : New General Catalogue
**NIR** : Near Infrared
**NSC** : Nuclear Star Cluster
**NSD** : Nuclear Stellar Disc
**pc** : Parsek
**PPMXL** : Position and Proper Motion Extended-L
**RAVE** : RAdial Velocity Experiment
**SDSS** : Sloan Digital Sky Survey
**SEGUE** : The Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration
**SFH** : Star Formation History
**SFR** : Star Formation Rate
**SMC** : Small Magellanic Cloud
**SMR** : Super Metal Rich
**SN** : Süpernova
**SPM4** : Southern Proper Motion Catalog 4
**TN** : Galaktik ince disk popülasyonu
**TK** : Galaktik kalın disk popülasyonu
**UCAC** : U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog
**USNO** : U.S. Naval Observatory
**VLT** : Very Large Telescope
**VVV** : VISTA Variables in the Via Lactea
**WISE** : Wide-field Infrared Survey Explorer
**ΛCDM** : Lambda cold dark matter

# ÖZET


**DOKTORA TEZİ**

**RADYAL HIZ DENEYİNDEKİ KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARININ KİNEMATİK ANALİZİ**

**Özgecan ÖNAL TAŞ**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü**

**Danışman: Prof. Dr. Selçuk BİLİR**

**II. Danışman: Dr. George SEABROKE**

Bu doktora tez çalışmasında, Radyal Hız Deneyi'nin (RAVE) dördüncü veri (DR4) sürümünden seçilen 47,406 kırmızı yığın (KY) yıldızına ait kinematik ve yörünge dinamiği parametrelerinden, Samanyolu galaksisinin radyal ve dikey metal bolluğu gradyentleri incelenmiştir. Bu örnek, literatüdeki benzerlerinden iki kat daha büyüktür. RAVE DR4 kataloğundan yıldızların radyal hızları, özhareketleri ve model atmosfer parametreleri ($T_{eff}$, log $g$, [Fe/H]) almışken, KY yıldızlarının uzaklıkları ise kızılötesi $K_s$ bandı için $M_{Ks}$=-1.54±0.04 kadir değeri kabul edilerek hesaplanmıştır. Bu girdi parametrelerinden KY yıldızlarının kinematik ve dinamik yörünge parametreleri elde edilmiştir. Örnekteki yıldızlar için herhangi bir popülasyon analiz yapılmasa da hız dispersiyonları hem tüm örnek hem de yörünge parametrelerine getirilen sınırlamalarla hesaplanmıştır. Ayrıca yıldızların hız dispersiyonları bilindiğinden, yıldızların kinematik yaşları da tayin edilmiştir.

Çalışmada yıldızların hem bugünkü hem de dinamik yörünge parametrelerinden hesaplanan iki farklı uzaklık yöntemi kullanılarak metal bolluğu gradyentlerinin hesabı yapılmıştır. KY yıldızlarının bugünkü konumlarından $R_{gc}$ ve $Z$ ve yörüngelerinden tayin edilen $R_m$ ve $z_{max}$ parametreleri kullanılarak hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri şöyledir: $0 \leq |Z| \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı için $d[Fe/H]/dR_{gc}$=-0.047±0.003 dex kpc$^{-1}$ ve $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı için $d[Fe/H]/dR_m$=-0.025±0.002 dex kpc$^{-1}$. Sonuçlara göre ince diskte radyal metal bolluğu gradyentleri $R_{gc}$ ve $R_m$ arasındaki

uzaklık seçiminden etkilenir. Radyal gradyentler, Galaktik düzlemden dik doğrultuda 0.5-1 kpc aralığında düzken, 1 kpc uzaklığın ötesinde pozitif değerler almaktadır. Ayrıca, radyal metal bolluğu gradyentlerinin yatay basıklık ($e_p$) parametresine bağlıdır. Buna göre $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı ve $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$ aralıkları için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, $d[Fe/H]/dR_m$= -0.089±0.010, -0.073±0.007, -0.053±0.004 ve -0.044±0.002 dex $kpc^{-1}$'tir. Benzer bir eğilim dikey metal bolluğu gradyentleri için de bulunmuştur. KY yıldızlarının yatay basıklıkları arttıkça radyal ve dikey metal bolluğu gradyentleri düzleşmektedir. Dahası $e_p \leq 0.30$ olan KY yıldızlarında çok sayıda radyal göç eden yıldız olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasında bu yıldızların Galaksi diskinin iç kısımlarından Güneş yörüngesine doğru göç ettikleri ve Güneş civarındaki radyal metal bolluğu gradyentlerini etkiledikleri gösterilmiştir.

Ağustos 2016, 194 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Galaksi: disk, Galaksi: oluşum ve evrim, Yıldız: kırmızı dev

# SUMMARY

**Ph.D. THESIS**

**KINEMATIC ANALYSIS OF RED CLUMP STARS IN RADIAL VELOCITY EXPERIMENT**

**Özgecan ÖNAL TAŞ**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Astronomy and Space Sciences**

**Supervisor: Prof. Dr. Selçuk BİLİR**

**Co-Supervisor: Dr. George M. SEABROKE**

In this thesis study, the radial and vertical metallicity gradients of the Milky Way Galaxy are investigated by using kinematic and orbital dynamic parameters of a sample of 47,406 red clump (RC) stars from the RAdial Velocity Experiment's (RAVE) Fourth Data Release (DR4). This sample is more than twice the size of the largest sample in the literature investigating radial and vertical metallicity gradients. Radial velocities, proper motions and model atmosphere parameters (such as $T_{eff}$, log $g$, [Fe/H]) are taken from RAVE DR4, while distances are calculated by adopting average absolute magnitude in infrared as $M_{Ks}$=-1.54±0.04 mag for all RC sample. These input parameters are used in order to calculate the kinematic and the dynamic orbital parameters of RC stars. Even though RC stars are not subjected to any population analysis, space velocity dispersions of sample stars are obtained by putting constraints on the orbital parameters. Furthermore, kinematical age also calculated, since the space velocity dispersions of RC sample known.

The metallicity gradients are calculated with their current orbital positions $R_{gc}$ and $Z$ and with their orbital properties mean Galactocentric distance, $R_m$ and $z_{max}$, as a function of the distance to the Galactic plane: d[Fe/H]/d$R_{gc}$=-0.047±0.003 dex kpc$^{-1}$ for $0 \leq |Z| \leq 0.5$ kpc and d[Fe/H]/d$R_m$=-0.025±0.002 dex kpc$^{-1}$ for $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc. This reaffirms the radial metallicity gradient in the thin disc but highlights that gradients are sensitive to the selection effects caused by the difference between $R_{gc}$ and $R_m$. The radial gradient is flat in the distance interval 0.5-1 kpc from the plane and then becomes positive greater

than 1 kpc from the plane. The radial metallicity gradients are also eccentricity dependent. We showed that d[Fe/H]/d$R_m$=-0.089±.010, -0.073±0.007, -0.053±0.004 and -0.044±0.002 dex kpc$^{-1}$ for $e_p$≤0.05, $e_p$≤0.07, $e_p$≤0.10 and $e_p$≤0.20 sub-samples, respectively, in the distance interval 0≤ $z_{max}$ ≤0.5 kpc. Similar trend is found for vertical metallicity gradients. Both the radial and vertical metallicity gradients are found to become shallower as the eccentricity of the sample increases. Moreover, we found that there are many radially migrated stars in $e_p$≤0.30 the RC sample. We showed that these stars migrated from the inner Galactic disc to Solar circle and affected the radial metallicity gradient results in the Solar neighbourhood.

August 2016, 194 pages.

**Keywords:** Galaxy: disc, Galaxy: formation and evolution, Star: red giant

# 1. GİRİŞ

Kozmolojik bakış açısından Evrendeki en temel yapılar yüz milyarlarca yıldız, gaz, toz ve karanlık maddenin çekimsel olarak birbirine bağlı bulunduğu topluluklar olan galaksilerdir. Evren anlayışımızı çok uzun bir zaman diliminde geliştirerek, Evrenin sayısız süper galaksi kümesi, her süper kümede çok sayıda galaksi kümesi ve her galaksi kümesinde yüzlerce irili ufaklı galaksi bulunduğunu bugün biliyoruz. Spiral kollu bir disk galaksisi olan Samanyolu, yerel grup olarak bilinen galaksi kümesinin en büyük galaksilerinden biridir. Her ne kadar yerel grupta yer alan irili ufaklı onlarca galaksinin nasıl göründüğünü bilsek de, bu durum Galaksimiz için geçerli değildir. Yıldızımız Güneş de böyle bir çekimsel topluluk olan Samanyolu galaksisinin bir üyesidir. Diskine gömülü olan Güneşimizden Samanyolu'nun şeklini göremiyoruz.

İnsanoğlu yaklaşık 400 yıl öncesine kadar gökyüzündeki cisimleri sadece çıplak gözle yapılan gece gözlemleriyle tanıyor; cisimlerin hareketlerine bakarak onları sınıflıyor ve günlük hayatını buna göre düzenliyordu. Bu süreçte gökyüzünde gözlenen binlerce yıldız, birkaç gezegen, Ay ve kuyrukluyıldızın yanı sıra henüz ne olduğu çözülememiş fakat geceleyin gökyüzünü beyaz, puslu dar bir yay olarak bir baştan bir başa saran bir yapı vardı. Gökcisimlerinin 1610 yılından itibaren ilk kez teleskop gözlemleriyle incelenmesi, bugün Evreni algıladığımız noktaya ulaşmamızı sağladı. Galileo, gökyüzünde gözlemlediği yıldız alanlarının görünüşte birbirine çok yakın olan yıldızlardan oluştuğunu ve Samanyolu'nun bu alanlarda kümelenen sayısız yıldızın saçılmasından başka bir şey olmadığını söylemiş fakat gökyüzündeki bu eşit dağılım göstermeyen yıldızların ne olduğunu açıklayamamıştır. 1750'ye gelindiğinde İngiliz amatör astronom Thomas Wright, Samanyolu'nun görünüşünü bir bölgeye yaklaşan düz yıldızlar tabakası şeklinde görülen optik bir algı olarak yorumlamıştır. Wright'ın fikirlerinden yolan çıkan ünlü filozof Immanuel Kant ise astronomik düşünceyi geliştirerek Samanyolu'nun merkezi şişkin bölge ile yıldızlardan oluşan büyük düz bir diskten oluştuğunu tasavvur etmiştir. Kant ayrıca bu devasa sistemin, aralarında çok büyük mesafelerle ayrılmış sayısız benzer sistemden biri olduğunu düşünerek, bunların

her birinin içerisinde çok sayıda ışıldayan yıldız bulunan büyük kozmik okyanusta dolanan *ada evrenler* olduğunu söylemiştir. Samanyolu'nun ilk bilimsel gözlemlerini İngiliz astronom William Herschel yapmıştır. Herschel, belirli bölgelerdeki yıldızları sayarak bu yıldızların nasıl saçıldıklarını anlamış ve Samanyolu'nun disk şeklinde olduğu sonucuna varmıştır. Gökyüzünün küçük bir kesrini inceleyen Herschel'in bu bulgusundan itibaren takip eden 200 yılda astronomların kolektif çalışması ve teleskop teknolojilerinin gelişimi, insanlığın başta Samanyolu olmak üzere daha ötesindeki yapıları da keşfetmesine ve anlamasına sebep olmuştur (Christensen, de Martin ve Shida, 2009). Bugün baryonik maddesi en detaylı incelenen galaksi olan Samanyolu'nun nasıl oluştuğu, evrimine etki eden faktörlerin doğası ve bileşenlerinin yapısı Galaktik astrofiziğin özünü teşkil etmektedir.

Galaktik astrofizik açısından bakıldığında bir galaksiyi tanımlayan en temel bileşen yıldızlardır. Yıldızlar, dev bir molekül bulutunun maruz kaldığı çeşitli etkilerle belirli madde yoğunlaşmalarının olduğu bölgelerde çökerek merkezlerinde nükleer füzyon reaksiyonlarının başlamasıyla parlar. Bir yıldız atmosferinin kimyasal yapısı, ömrünün %90'ı boyunca değişmez ve oluştuğu molekül bulutunun kimyasal özelliklerini taşır. Fakat yıldız ömrünün kalan %10'luk kısmında özellikle de büyük kütleli yıldızların evrimi için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Yıldız ömürlerinin uzunluğu, dolayısıyla sentezlenecek elementler, oluşurken ulaşabildikleri kütle ve bir çift ya da çoklu yıldız sisteminin parçası olup olmadıklarına göre belirlenir. Güneş gibi bir yıldızın ömrü yaklaşık 11 milyar yıl olurken, Güneş'ten onlarca kat kütleli yıldızların ömrü birkaç milyon yıl gibi çok kısa sürelerde tamamlanır. Yıldız ömürleri kısaldıkça da füzyon reaksiyonlarıyla üretilen element çeşitliliği ve üretilen bu elementlerin yıldızlararası ortama geri dönüş biçimi de farklılaşır. Güneş gibi bir yıldızın sonu merkezindeki nükleer füzyonun sona ermesiyle zaten çok genişlemiş üst katmanlarının yavaşça yıldızlararası ortama bırakılmasıyla gerçekleşirken, Güneş'ten onlarca kat daha kütleli bir yıldız için durum bunun tam tersidir. Merkezinde demir elementinin üretilmesinden çok kısa bir süre sonra yıldızın çekirdeği kendi üstüne çökerek bir tekilliğe dönüşürken, çekirdeğin üzerindeki tüm katmanlar yıldızın merkezinden yayılan çok şiddetli bir şok dalgasıyla uzaya fırlatılır. Bu şiddetli süreç, yıldızın dış tabakalarında bulunan maddelerden çok kısa sürelerde demirden daha ağır elementlerin üretilerek yıldızlararası ortama aktarılmasına neden olur. Bu şekilde zenginleşen

yıldızlararası ortamda bulunan molekül bulutlarının kimyası değişerek yeni nesil yıldızlar kimyasal bakımdan daha zengin oluşurlar ve döngü, bu şekilde tekrarlanır. Galaksimizin oluşumundan bu yana çok sayıda yıldız metal bolluğu açısından bu şekilde zenginleşmiştir. Bugün bu zenginleşmelerin etkilerini incelediğimiz yıldızlarda gözlemleyerek, Samanyolu'nun oluşumuna dair modeller üretip, yapısına dair teorilerimizi sınıyoruz.

Samanyolu galaksisinin oluşumu ve zaman içerisinde yapısında meydana gelen değişiklikler bugün farklı yıldız popülasyonlarının yörünge davranışlarını belirlemiştir. En baştaki karanlık madde halosundan baryonik maddeye dönüşen ilkel Galaktik bulutun çökmesiyle Galaksimizin en yaşlı bileşenleri olan halo ve şişkin bölgenin oluştuğu bilinmektedir. Bu bileşenlere ait yıldızların yörüngesel açısal momentumları, bu büyüklüğün korunumuna göre değişerek yıldızların zamanla basık yörüngelere oturmasına sebep olmuştur. Bugün kalın disk popülasyonundaki nesneler bu ilk nesil yıldızların birbirleriyle ve yıldızlararası ortamla etkileşip radyal göçlere maruz kalmasıyla Galaksi düzlemindeki daha sıcak yörüngelere geçmiş ve yörüngesel açısal momentumlarını değiştirmiştir. Galaktik dinamik evrimin ilerleyen aşamalarında ise meydana gelen dış kaynaklı gaz akışlarıyla da beslenen geniş çaplı bir gaz çöküşüyle yeni yıldız oluşum patlaması gerçekleşmiştir. Galaksi düzlemine yığışmış çok sayıda yıldız ve yıldızlararası gaz Galaksi merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dolanarak ince disk bileşenini oluşturmuştur. Genç nesnelerden oluşan ince disk, zamanla Galaksi içerisindeki spiral kollar, Galaktik çubuk, yıldız akıntıları ve diğer yıldız ve yıldızlararası madde gibi pertürbasyon kaynaklarından etkilenmektedir. Bugün radyal karışıma maruz kalan Galaktik nesneler günümüzde tasarlanan büyük ölçekli araştırma programlarında gözlenebilmektedir.

Astronominin en temel problemi, incelenen nesnelerin uzaklıklarının doğru tayin edilmesinin gerekliliğidir çünkü doğru uzaklıklar ölçüldüğü takdirde bu parametrenin fonksiyonu olarak hesaplanan tüm parametrelerin doğruluğuna güvenilebilir. Ne yazık ki Evrende ölçülen uzaklıkların duyarlılığı mesafe arttıkça azalmakta ve bu da söz konusu uzak cisimlerle ilgili elde edilen bilgilerin gerçekçiliği konusunda kuşkulara yol açmaktadır. Galaksimizin içerisindeki nesneler ve yakın komşularının uzaklığı Evrenin geri kalanıyla kıyaslandığında çok daha güvenilir olarak hesaplanmaktadır. Bu

hesaplama çeşitli nesneler kullanılarak elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinden yapılabilmektedir. Örneğin, görsel bölgede Sefeid değişenleri, açık ve küresel kümeler, kızılötesi bölgede KY yıldızları, morötesinde HII bölgeleri, radyo bölgede HI ve CO gibi moleküller kullanılarak hesaplanır. Bu Doktora tez çalışmasında, yıldızların uzaklığı, metal bolluğuna bağımlılığı az olan kızılötesi parlaklıklar kullanılarak tayin edilmiştir.

2000'li yıllara kadar tayf ölçümü hem incelenen nesne hem de bu nesnelerin Galaktik düzleme göre ulaşabildikleri uzaklıklar bakımından sınırlı yapılabilmekteydi. 2000'li yıllarda ise teknolojik ilerlemeler sayesinde yalnızca belirli parlaklıktaki az sayıda yıldız yerine, daha derin uzay hacmi içinde bulunan çok sayıda nesnenin çoklu fiber tayfçekerleriyle eş-zamanlı gözlemi yapılabilmektedir. Bu yöntemle hem kuzey hem de güney yarı küreden gözlemler yapan çeşitli gökyüzü tarama programlarıyla Galaktik yapı çalışmaları büyük bir ivme kazanmıştır. Böylelikle, bugün kemo-dinamik modellerin ve hassas gözlemlerle elde edilen istatistiksel olarak güvenilir yıldız örneklerinin kullanılmasıyla daha duyarlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalar, yakın zamanda gezegenimizin etrafında yörüngeye fırlatılmış olan ve gelecek on yıl boyunca gökyüzündeki en parlak 1 milyar yıldızın astrometrik taramasını 1 nano-yay saniyesi duyarlılıkla ölçecek olan GAIA gökyüzü taramasıyla başka bir seviyeye taşınacaktır.

Galaksi diskinde tanımlanmış çeşitli uzaklıklar kullanılarak hesaplanan radyal ve dikey metal bolluğu gradyentleri Samanyolu'nun geçmişi hakkında bilgiler taşımaktadır. Örneğin dikey metal bolluğu gradyentinin varlığı Galaksi oluşumunun tek bir bulutun bir bütün halinde çökmesiyle meydana gelip gelmediğini gösterirken, radyal metal bolluğu gradyenti ise diskin içten dışa doğru oluşup oluşmadığına dair kanıtlar sunar. Galaksimizin yapısının ve evriminin anlaşılmasında metal bolluğu gradyentlerinin yanı sıra kullanılan nesnelerin kinematik ve yörünge dinamiği parametreleri ile bu parametrelerin diğer gözlemsel parametrelerle ilişkileri de incelenmelidir. Belli bir grup nesnenin kinematik ve yörünge dinamiği parametrelerinin hesabı için öncelikle bu nesnelerin belirli bir zaman zarfında özhareket bileşenlerinin ölçülmesi, tayflarının alınabilecek kadar parlak ve alınan tayfların da radyal hız hesabının duyarlı elde edilebilmesine imkân verecek ölçüde çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Fakat bu parametre uzayına bir de nesnelerin duyarlı uzaklıkların eldesi dâhil edilmelidir. Bu gibi

duyarlı parametrelerin sınırlı bir uzaklıkta bulunan belirli bir nesne grubu için elde edilmesi 2000'li yıllardan önce tayf ölçümü ile mümkün olmuş fakat az sayıdaki yıldız için hassas olarak hesaplanan bu parametrelerle Galaksi oluşumunun yalnızca en temel argünmaları oluşturulabilmiştir.

Doktora tez çalışmasında, verileri kullanılan RAdyal Hız Deneyi (RAVE; Steinmetz ve diğ. 2006), güney yarı kürede gözlemleri yapılmış olan bir tayfsal gökyüzü taramasıdır. Taramada güney yarı kürede gözlenen en parlak 1 milyon yıldızın kızılötesi bölgede Ca II üçlüsünün bulunduğu dalgaboyu aralığında orta çözünürlüklü tayflar elde edilmiştir. 2006 yılından bu yana dört veri sürümü yapılan RAVE gökyüzü taraması her sürümde kendisini güncelleyerek ve kataloglarında yayınlanan veri sayısını ve güvenilirliğini arttırmıştır. En son veri sürümü olan ve Nisan 2014'te kullanıma açılan RAVE DR4 (Kordopatis ve diğ. 2013) yaklaşık 425,000 yıldızın radyal hız, yıldız atmosfer parametreleri, kızılötesi 2MASS ve DENIS parlaklıklarını, literatürdeki altı özhareket kataloğundan her bir yıldız için derlenen özhareket bileşenlerini, daha önceki RAVE veri sürümlerinden geliştirilen yöntemlerle hesaplanan yıldız uzaklıkları, yaş ve kütle tayini verilerini içeren zengin bir katalogtur.

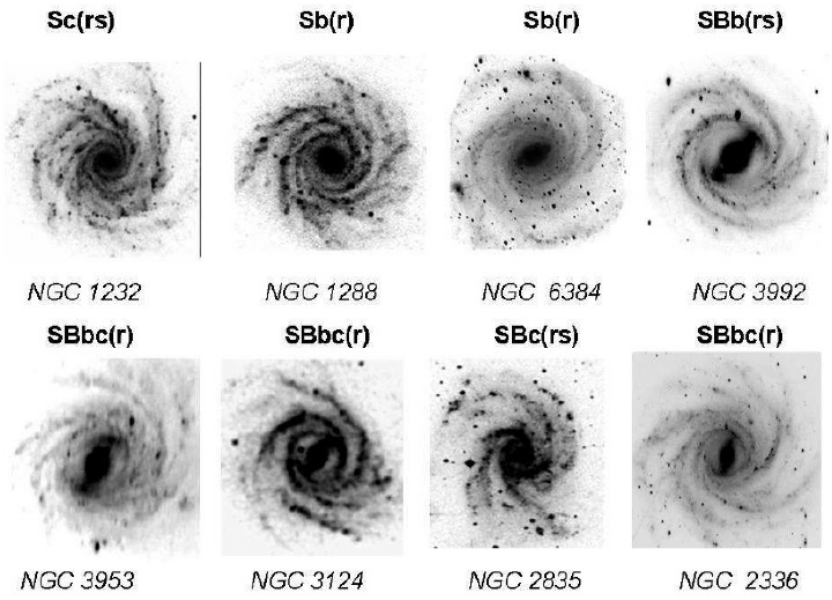
Bu doktora tez çalışmasının amacı, RAdyal Hız Deneyi'nin dördüncü veri sürümünden tespit edilen kırmızı yığın yıldızlarının gözlemsel verilerinden elde edilen kinematik ve dinamik parametreleri kullanılarak oluşturulan ilişkilerden, Galaksimizin kemo-dinamik yapısını anlamak ve Galaksi diskinin oluşum senaryolarını sınamaktır.

Tez çalışmasının ikinci kısmında tez konusuyla ilgili genel bilgiler, üçüncü kısmında tez çalışması esnasında kullanılan tüm yöntemler ve hesaplama adımları, dördüncü kısımda elde edilen bulgular ve beşinci kısımda çalışmada elde edilen sonuçlar geniş bir literatür karşılaştırması yapılarak tartışılmıştır.

# 2. GENEL KISIMLAR

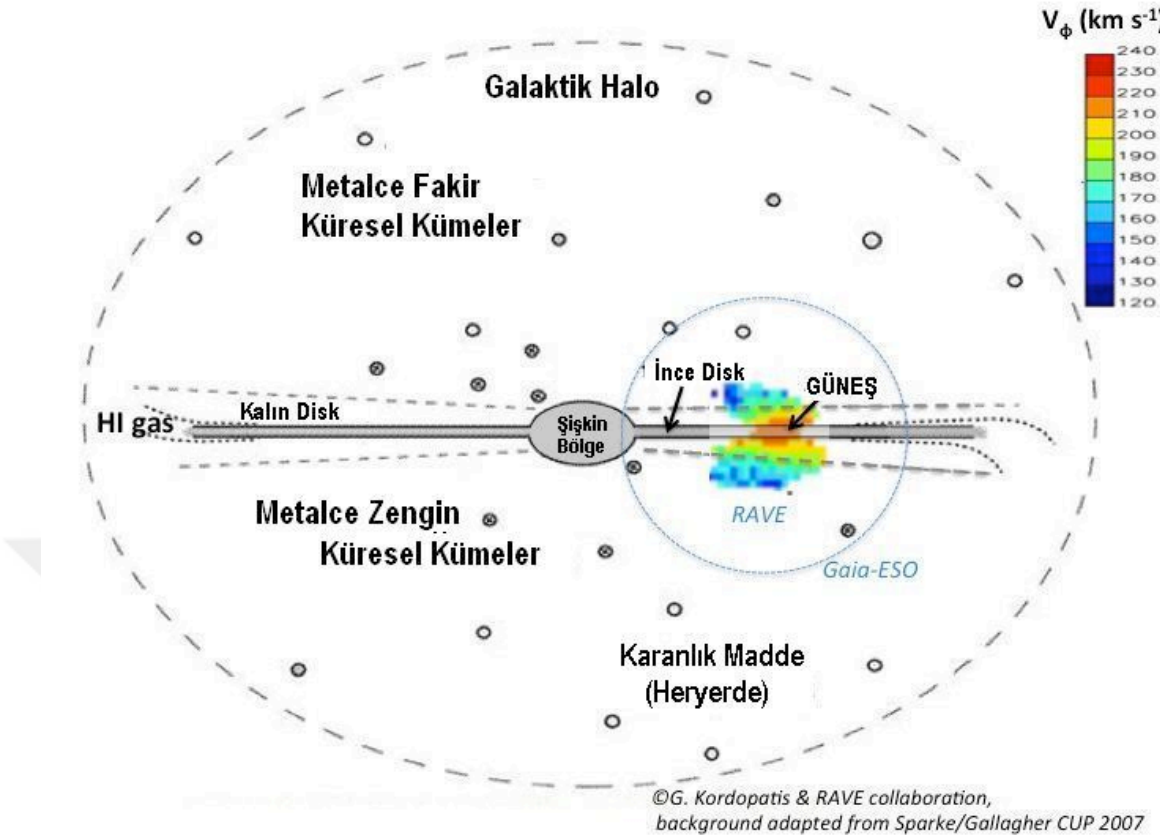
## 2.1. GALAKSİMİZİN YAPISI

Bugünkü bilgiler dâhilinde Galaksimiz Hubble sınıflamasına göre büyük, çubuklu, spiral kolları çok sarılı olmayan, sönük şişkin bölgeli, SBb türü bir spiral galaksi olarak tanımlanmaktadır (Binney ve Merrifield, 1998). Şekil 2.1'de yapısal olarak Samanyolu galaksisine benzeyen bazı galaksiler gösterilmiştir (Efremov, 2011). Galaksilerin de Voucouleurs sınıfları, ilgili şekillerin üzerinde ve isimleri de şekil altlarında verilmiştir.




**Şekil 2.1:** Yapısal olarak Samanyolu galaksisine benzeyen spiral galaksiler.

Galaksimiz Samanyolu, disk galaksilerini anlamada bir örnek teşkil eder. Farklı ışıma gücü sınıflarında bulunan yıldızları gözlemlenebilen ve buradan yıldız oluşum tarihinin birebir çalışılabildiği tek galaksidir. Samanyolu galaksisinin üç ana bileşeni vardır: Galaksinin merkezindeki süper kütleli karadeliğin etrafında dolanan yıldızlardan oluşan kutu/fıstık (*k*/*f*) şekilli parlak *şişkin bölge*; galaksi çekirdeği etrafında dolanan gaz, toz ve parlak genç yıldızlardan oluşan baskın *disk*; yaşlı yıldızlar, küresel kümeler ve karanlık maddenin bulunduğu küresel yapıdaki devasa, yaygın *halo* (Şekil 2.2).




**Şekil 2.2:** Galaktik bileşenlerin şematik gösterimi.

Samanyolu'nun baryonik maddesi, yakın zamana kadar varlığı bilinen yegâne kısmı olmakla birlikte halen üzerinde en çok çalışılan kısmıdır. Evrende gözlenen diğer galaksilerin özellikle görsel bölgedeki görüntülerinde en belirgin olan yapıları diskleri olup baryonik maddenin en baskın olduğu bileşendir. Samanyolu'nun disk çapı ~30 kpc ve kalınlığı ~0.3 kpc'tir (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016). Galaksinin önemli bir diğer parametresi de kütlesidir. Dehnen ve Binney (1998) Samanyolu'nun kütlesini Güneş civarındaki *Hipparcos* verilerinden itibaren $(7.5\pm2)\times10^{11}$ $M_\odot$ olarak hesaplamıştır. Bu sonuca göre her bir yıldızın Güneş kütlesinde olduğu varsayımı altında yapılan hesaplarda Galaksimizde 200 ile 400 milyar yıldız olabileceği bulunmuştur. Galaksimizin temel parametrelerini içeren veriler Tablo 2.1'de (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016) verilmiştir.

Soğuk karanlık madde yaklaşımıyla Samanyolu galaksisinin oluşumu milyarlarca yıl süren olaylar sonucunda şekillenmiştir. Bu süreçte Galaktik bileşenler farklı süreçlerle oluşmuşlardır. Örneğin, erken zamanlarda şişkin bölgenin bir kısmı çökerek süper

kütleli karadeliğin ilk aşamalarını belirlemiş, bunu takiben farklı bir süreç kalın diskin doğmasına neden olmuştur. İç halo da benzer bir süreçte şekillenirken, dış halo süre gelen maddelerin yığışmasıyla daha uzun bir zaman ölçeğinde oluşmuştur.

**Tablo 2.1:** Samanyolu galaksisinin genel parametreleri.

| Özellik | Değer | Birim |
|---|---|---|
| Galaksinin toplam yıldız oluşum oranı | 1.65±0.19 | $M_{\odot}$ yıl$^{-1}$ |
| Galaksi diskinin görünür çapı | ~30 | kpc |
| Galaksi diskinin görünür kalınlığı | ~0.3 | kpc |
| Ortalama yıldız sayısı | (200-400)×10$^{9}$ | yıldız |
| Bolometrik Işıma Gücü | 3.6 ×10$^{9}$ | $L_{\odot}$ |
| Kaçış Hızı ($R_0$=8 kpc için) | 450 – 650 | km s$^{-1}$ |
| Kaçış Hızı (kenarda) | 311 | km s$^{-1}$ |

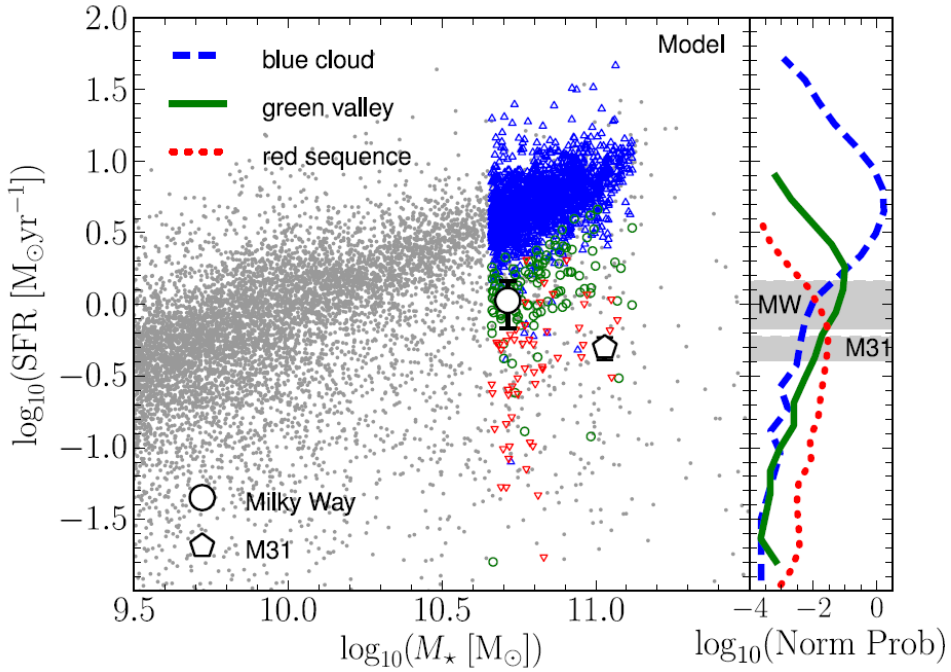
Büyük ölçekli fotometrik gökyüzü tarama programları, incelenen nesnelerin fotometrik uzaklıklarının bilinmesi halinde, Galaksi bileşenlerine ait yapısal parametrelerinin belirlenmesine olanak sağlar. Söz konusu tarama programlarının önde gelenleri şunlardır: *Hipparcos* (ESA, 1997), SDSS (Abazaijan ve diğ. 2004), DENIS (Kimeswenger ve diğ. 2005), 2MASS (Skrutskie ve diğ. 2006), *WISE* (Wright ve diğ. 2010). Bu programlar Galaksinin bugünkü mevcut yapısının anlaşılmasını mümkün kılar. Fakat Galaksimizin nasıl oluştuğu ve evrimleştiği sorusunun cevabı ancak incelenen nesnelerin kinematik ve kimyasal verilerinin analiziyle mümkündür. Son yıllarda fotometrik gözlemleri yapılan ve aday seçilen nesnelerin astrometrik ve tayfsal verilerinin elde edilebileceği ikinci kuşak gökyüzü tarama programları başlatılmıştır. Bunlara örnek olarak, GCS (Nordström ve diğ. 2004), RAVE (Steinmetz ve diğ. 2006), APOGEE (Allende Prieto ve diğ. 2008), SEGUE (Yanny ve diğ. 2009), GES (Gilmore ve diğ. 2012), LEGUE (Deng ve diğ. 2012), LAMOST (Zhao ve diğ. 2012) ve GALAH (de Silva ve diğ. 2015) taramaları verilebilir. Bu tarama programları bilimsel amaçlarına göre gök kürenin farklı kısımlarında ve farklı parlaklık limitlerinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Optik ve kızılötesi dalgaboylarında milyarlarca yıldızın hassas fotometrik parlaklıkları ve renkleri ölçülerek kataloglanmış ve astronomların hizmetine sunulmuştur. Fotometrik gözlemler sonucunda milyarlarca yıldızın verisi elde edilmişken, tayfsal gözlemler söz konusu olduğunda ancak az sayıda yıldızın yüksek/orta çözünürlükte verileri elde edilebilmiştir. Bu tayfların analizinden yıldızların radyal hız ($\gamma$) ve model atmosfer parametreleri ($T_{eff}$, log $g$, [$Fe/H$]) belirlenmiştir. Astrofizik çalışmalarının en büyük zorluklarından biri de yıldızların yaş tayinidir.

Yıldızların model atmosfer parametrelerinin bağımsız yollarla ortaya konulamaması ve bunun yerine bu parametrelerin eş zamanlı çözümlerinin yapılarak belirlenmesi atmosfer model parametreleri arasında dejenerasyonluklara sebep olmaktadır. Ayrıca geri tayf türündeki anakol yıldızlarının H-R diyagramındaki konumlarından dolayı da yaş tayinini yapmak oldukça sorunludur. Bu sonuçlar, yıldızların yaş hesaplaması duyarlılığını azaltmaktadır. Bu sorunların büyük bir kısmı yakın bir zamanda *GAIA* tarama gözlemleri sonucunda elde edilecek verilerle çözümlenecektir. Bununla birlikte, 2025 yılında bütün verileri astronomların kullanımına açılacak olan *GAIA* projesiyle Galaksinin ana bileşenlerinde bulunan milyonlarca yıldızın hassas uzaklık ve hız vektörleri ölçülmüş olacaktır (de Bruijne ve diğ. 2015).

Galaktik bileşenleri ayırabilmek önemli bir problemdir. Fakat bunun için her bir bileşene ait yapısal parametrelerin bilinmesi gereklidir. Galaksi bileşenleri kalın çizgilerle birbirinden ayrılmazlar; bu bileşenleri oluşturan yıldızlar aynı Galaktik potansiyelde oluştuklarından ve doğdukları yerlerden uzaklara göç edebildiklerinden iç içe geçerler. Yoğunluk alanı, dağılım fonksiyonu ve kimya hakkında tüm bilgiler elde edilse bile bileşenlerin birini diğerinden tamamen ayırmak zordur. Özellikle çubuğun (ya da şişkin bölgenin) iç diskten ve iç halodan nasıl ayrılacağı Galaktik astrofiziğin önemli problemlerinden biridir. Uzak bir olasılıkla, Galaksimizin şişkin bölgesi erken çökme evresindeki dağılma süreci yerine çubuk oluşumu ile ilişkili olan bir disk kararsızlığı esnasında oluşmuştur. Benzer bir zorluk, ince ve kalın diskin ayrılması konusunda yaşanmaktadır. Bazı araştırmacılar (Bovy ve diğ. 2012a; 2012b; Liu ve van de Ven, 2012) iki bileşenin birbiri içine geçtiğini önerirken, diğer araştırmacılar kinematik (Soubiran ve diğ. 2003), yaş (Fuhrmann, 1998) ve $\alpha$-bollukları (Fuhrmann 1998; Prochaska ve diğ. 2000; Bensby ve diğ. 2003; 2005; Reddy ve diğ. 2006) bakımından farklı bir kökeni olduğunu önererek kalın diskin ince diskten kimyasal olarak ayrı olduğuna dair kanıtlar öne sürmüşlerdir.

Günümüzde, Galaksimizin genel olarak yıldız oluşum oranında bir azalma ve nükleer aktivitede bir yavaşlama içinde olduğu tespit edilmiştir (Kormendy ve diğ. 2010). Samanyolu galaksisi, kütlesine göre belirlenen yıldız oluşum oranı ve baryon kesiri bakımından, bugün Evrende gözlenen düşük yoğunluklu bir bölgede gelişen tipik bir spiral galaksidir (Rossi ve diğ. 2009). Fakat yıldız oluşum oranı ve toplam galaksi

kütlesi açısından ise sıra dışıdır. Bu durum Mutch, Croton ve Poole (2011) tarafından yıldız oluşum oranı ile toplam galaksi kütlesi arasında oluşturulan bir diyagramda, Galaksimizin benzerlerinin yer aldığı iki grup arasındaki bir geçiş aşamasında bulunmasıyla desteklenmektedir (Şekil 2.3). Diyagramda, Samanyolu (çember) ve M31 (beşgen), mavi, kırmızı üçgenler ve yeşil daireler de Samanyolu ve M31 benzeri tepeden görülen galaksileri ve gri noktalar da model verilerini temsil eder.




**Şekil 2.3:** Galakiler için toplam kütle ile yıldız oluşum oranı diyagramı.

Dahası, yerel grubun en büyük üyesi olan M31'den farklı olarak Galaksimiz son 10 Gyr'dan beri büyük bir birleşme olayı geçirmemiş ve parlak bir galaksi için son derece sakin bir yığışma geçmişi ortaya koymuştur (Stewart ve diğ. 2008). Öte yandan Magellan bulutlarından (SMC ve LMC) gelen gaz akıntıları günümüzde de devam eden bir gaz yığışmasının olduğunu göstermektedir (Putman ve diğ.1998; Lehner, 2001; Fox ve diğ. 2014).

Galaksimiz yerel grubun öne çıkan üyelerinden biri olan gevşek görünümlü çok sayıda spiral kolu ve cüce galaksileri olan düşük kütleli bir sistemdir. Yerel grubun iç hız dispersiyonu 60 km $s^{-1}$'dir (van den Bergh, 1999) ve Virgo süper galaksi kümesinin dışlarına uzanan düşük yoğunluklu bir uzantıda bulunur (Tully ve diğ. 2014). Bir ya da

iki baskın spiralin yer aldığı Galaksi grupları Evrende rölatif olarak yaygın, fakat Galaksimize benzer başka galaksilerin ise nadir olduğu düşünülmektedir. Parlak bir galaksinin civarında etkileşmekte olan SMC ve LMC gibi uydu galaksiler GAMA (Driver ve diğ. 2011) gökyüzü taramasında gözlenen galaksilerin yüzde birkaçında bulunmuştur; olasılık hesabına yığışan uydu galaksilerin aktif yıldız oluşumu yaptığı bilgisinin eklenmesiyle bu oranın %1'den daha az olduğu bulunmuştur (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016).

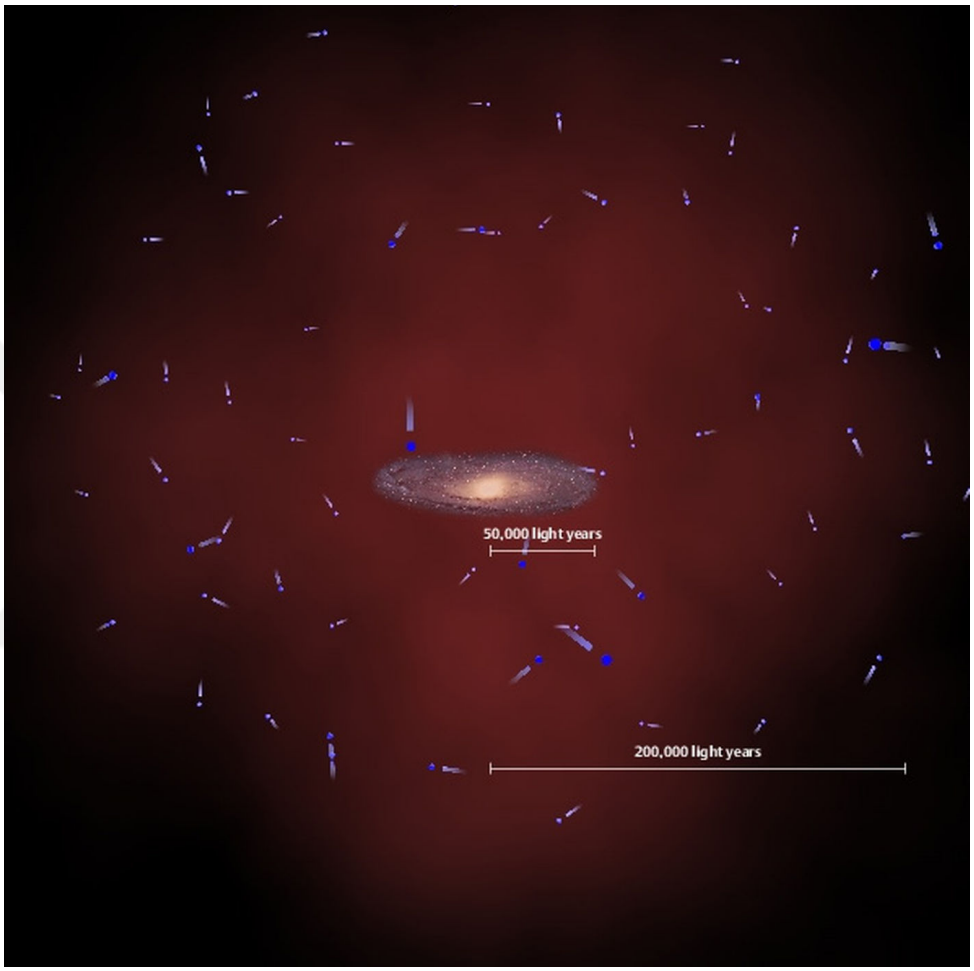
Yerel grubun yığışma geçmişi kendi soğuk iç dinamiğiyle uyumlu olarak oldukça sakindir. En gelişmiş özelliklerle donatılmış simülasyonlar Galaksimiz etrafında dolanan mini karanlık haloların (Şekil 2.4) yalnızca küçük bir kısmının cüce galaksilere dönüştüğüne dair ipuçları vermiştir. Fakat karanlık madde ve baryonların birlikte çalışarak bugünkü galaksileri nasıl oluşturduğu henüz açıklanamamıştır (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016).

Galaksimiz ve M31 yaklaşık 4 Gyr sonra birbirlerine en yakın konuma gelecek ve 6 Gyr içerisinde birleşeceklerdir. Simülasyonlar, Galaksimizin bugün cüce galaksilerle en az üç güçlü etkileşme yaşadığını (LMC, SMC ve Sgr) ve katı bir dinamik dengede olamayacağını göstermektedir (Binney, 2013).

### 2.1.1. Galaksi Merkezi

Piddington ve Minnett (1951), Yay takımyıldızı (Sgr) doğrultusunda radyo dalgalarına duyarlı teleskopla yaptıkları gözlemlerde o zamana kadar alışık olunmamış, parlak bir radyo emisyon kaynağı belirlemiş ve bu kaynağa *Sgr* adını vermişlerdir. Bu kaynağın dinamik analizlerine dayanarak Uluslararası Astronomi Birliği resmi olarak Sgr A kompleksini Galaksinin merkezi olarak kabul etmiş ve yeni bir Galaktik koordinat sisteminde konumunu sıfır olarak belirlemiştir (Blaauw ve diğ. 1959). Ayrıca bölgenin dönen iç HI diskinin dinamik merkeziyle hassas bir şekilde çakışmasından dolayı (Oort ve Rougoor, 1960) Sgr A'nın Galaksi merkezi olduğu onaylanmıştır. Daha sonra bu bölgenin üç kısımdan meydana gelen spiral bir yapı olduğunu ve kompleksin merkezinde Sgr A* olarak gösterilen çok parlak bir radyo kaynağı olduğu keşfedilmiştir (Balick ve Brown, 1974). Reid ve Brunthaler (2004), bu kaynağın daha sonra Samanyolu'nun süper kütleli karadeliği (SKK) ile aynı konumda olduğunu bulmuştur:

$(l_c, b_c)$=(-0°.056,-0°.046). Sgr A*'dan 0.5 pc mesafeye kadar olan yıldızlar sanki etrafta başka cisim yokmuş gibi davranırlar; Sgr A bölgesindeki yıldızlar merkezi karadelik etrafında ortak bir düzlemde değil, rastgele yörüngelerde hareket ederler (Melia ve Falcke, 2001).




**Şekil 2.4:** Galaksimizi oluşturan karanlık madde halolarının Galaksi etrafındaki dağılımlarını gösteren temsili çizim.

Sgr A bölgesindeki gaz bulutlarının hareketlerinin kızılötesi bölgede incelenmesi ilk olarak, merkezi noktasal kütlenin birkaç $10^6$ $M_\odot$ olduğunu göstermiştir. Daha sonra yoğun nükleer yıldız kümesindeki yıldızların özhareket ölçümlerinden, bu yıldızların hız dispersiyonlarının Galaksi merkezinden 0.01 pc ötede Kepler yasalarına uygun olarak saniyede birkaç yüz kilometreye ulaştığı bulunmuş ve bunun 2-3×$10^6$ $M_\odot$ kütleli merkezi bir kütleye karşı geldiği hesaplanmıştır. VLT ve Keck verilerinin birleştirilmesiyle yapılan analizlerden SKK kütlesinin Güneş'in Galaksi merkezinden

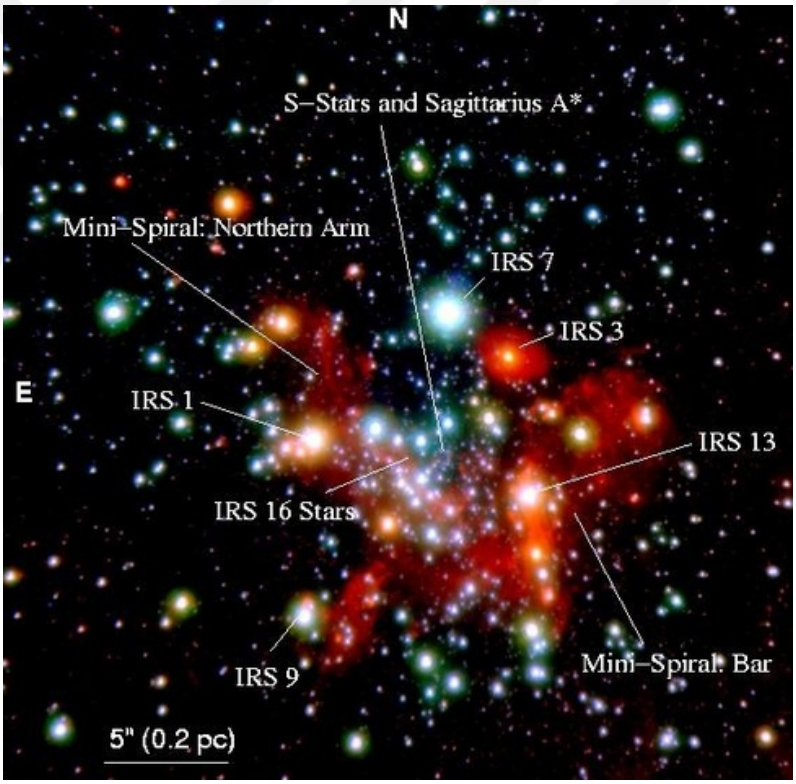
8.2 kpc uzaklıkta olduğu durum için $M_{SKK}$=4.3×10$^6$ $M_\odot$ olarak belirlenmiştir (Ghez ve diğ. 2008).

Becklin ve Neugebauer (1968), Sgr A'nın merkezde olduğu, uzamış bir yakın kızılötesi (NIR) kaynağı keşfetmişlerdir: *Samanyolu'nun nükleer yıldız kümesi (NSC)*. Kaynağın çapı ~5' (≅2.4 pc) olup Galaktik düzlem boyunca uzanır. NSC yalnızca disk galaksilerinin merkezlerinde yaygın olarak gözlenir ve yapısında bir aktif galaktik çekirdek yani bir SKK içerir. NIR bölgesinde yapılan tayf ölçümleri Galaktik NSC'deki parlak yıldızların büyük bir kısmının yaşlı (>5 Gyr) geç tip dev yıldızlar ve kırmızı yığın yıldızları olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte bu bölgede parlak mavi değişenler ve Wolf-Rayet yıldızları gibi büyük kütleli, erken tip yıldızların da bulunduğu keşfedilmiştir. Erken tip yıldızlardan oluşan kuvvetli yıldız rüzgârları, evrimlerinin ileri aşamalarında bulunan kırmızı devlerin atmosferlerinin yay şokları denilen yay şekilli madde atımları yapmasına neden olur. Sgr A*'ın merkezine yakın bölgede (<1″) yıldızların yoğunlaştığı bir genç yıldız kümesi bulunmuştur (Şekil 2.5). Kümenin bu yıldızları yüksek hızlı "S yıldızları" olarak bilinir (Ghez ve diğ. 2008). Bölgenin 20 yıldan daha uzun süreli astrometrik ve tayfsal gözlemlerinden elde edilen verilerin analiz edilmesi sonucunda Sgr A* merkezi etrafındaki yıldızların yörüngeleri oluşturulmuş ve Kepler yasaları yardımıyla Galaksinin merkezinde süper kütleli bir karadelik olduğuna dair önemli bir kanıt gösterilmiştir (Ghez ve diğ. 2008).

Nükleer Yıldız Diski (NSD), merkezden yaklaşık 30 pc dışarıda yer alır ve 200 ile 400 pc'lik uzay hacmindeki yıldız kütle dağılımına etki eder. Kırmızı yığın yıldızları, NSD'ye gömülü haldedir. Yıldız sayımlarından dikey yoğunluk profilinin eksponansiyele yakın olduğu ve yükseklik ölçeğinin $h_{NSD}$~45 pc olduğu bulunmuştur. Laundhart, Zylka ve Mezger (2002) toplam yıldız kütlesini $M_{NSD}$=(1.4±0.6)×10$^6$ $M_\odot$ olarak tayin etmiştir. Bu değer şişkin bölge kütlesinin %10'unu oluşturur. Galaksi merkezini tanımlayan genel parametreler Tablo 2.2'de (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016) verilmiştir.

**Tablo 2.2:** Galaktik merkezi tanımlayan parametreler.

| Özellik | Değer | Birim |
|---|---|---|
| Sgr A*'ın Galaktik koordinatları | (-0.056,-0.046) | derece |
| Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı | 8 | kpc |
| Güneş'in Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzaklığı | 25 ± 5 | pc |
| SKK'nın kütlesi | $(4.2\pm0.2)\times10^{6}$ | $M_{\odot}$ |
| SKK'nın etkin olduğu dinamik yarıçap | 3.8 | pc |
| Sgr A*'a göre Güneş'in açısal hızı | 30.24±0.12 | km $s^{-1}$ $kpc^{-1}$ |
| Sgr A*'a göre Güneş'in teğet hızı | 248±3 | km $s^{-1}$ |
| NSC'nin kütlesi | $(1.8\pm0.3)\times10^{7}$ | $M_{\odot}$ |
| NSC'nin eksen oranı | 0.71±0.04 | |
| NSC'nin ışıma gücü | $(4.1\pm0.4)\times10^{7}$ | $L_{\odot}$ |
| NSD'nin yükseklik ölçeği | 45 | pc |
| NSD'nin kütlesi | $(1.4\pm0.6)\times10^{9}$ | $M_{\odot}$ |




**Şekil 2.5:** ESO VLT'deki NACO odak düzlemi aletiyle yakın kızılötesi bölgede (λλ1.5-4μm) alınan Galaksi merkezinin 1 pc boyutlarındaki görüntüsü[1].

### 2.1.2. Galaktik Şişkin Bölge ve Çubuk

Galaktik şişkin bölgede toplam Galaktik kütlenin dörtte birinin bulunduğu tespit edilmiştir ($M_{şb}$=1.8×10$^{10}$ $M_{\odot}$; Sofue, Honma ve Omodaka, 2009). Galaksi diskinden daha yaşlı olan bu bileşen, Galaksimizin çökerek, yıldız oluşumu meydana gelen, ilk

[1] https://www.eso.org/public/images/eso1622b/

büyük kütleli bileşenidir. Bu nedenle yapısının ve içerisindeki yıldız popülasyonlarının özelliklerinin anlaşılması galaksi oluşum modellerinin geçerliliğinin sınanması bakımından önemlidir. Şişkin bölgenin üç eksenli yapısı Güneş ile galaksi merkezi doğrultusuyla yaklaşık 20° açı yapar ve yarı-büyük eksen uzunluğu 2.5 kpc'tir. Şişkin bölgede tespit edilen Galaktik çubuk $10° < l < 27°$ aralığında ve 45° açıyla konumlanmıştır (Babusiaux, 2012). Yarı-büyük eksen uzunluğu yaklaşık 4 kpc olup, eksen oranları 1:0.35:0.26'dır (Zoccali ve Minniti, 2009). Bu veriler ışığı altında şişkin bölgenin oval yapıda olduğu genel kabul görmüştür. Galaktik çubuğun uzunluk ölçeği 1.5 kpc'tir. Şişkin bölgenin ve Galaktik çubuğun fiziksel özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016).

**Tablo 2.3:** Şişkin bölge ve Galaktik çubuğun temel parametreleri.

| Özellik | Değer | Birim |
|---|---|---|
| Şişkin bölge ile çubuk arasındaki açı | 27±2 | derece |
| Şişkin bölgenin *b/a* oranı | 0.5±0.05 | |
| Şişkin bölgenin *c/a* oranı | 0.26 | |
| Şişkin bölgenin yükseklik ölçeği | 180 | pc |
| Galaktik çubuğun açısı | 29.5±1.5 | derece |
| Galaktik çubuğun yarı uzunluğu | 5.0±0.2 | kpc |
| İnce Galaktik çubuğun yükseklik ölçeği | 180 | pc |
| Süper-ince Galaktik çubuğun yükseklik ölçeği | 45 | pc |
| İnce Galaktik çubuğun yıldız kütlesi | $(7.0\pm0.1)\times10^9$ | $M_\odot$ |
| Süper ince Galaktik çubuğun yıldız kütlesi | $3\times10^9$ | $M_\odot$ |
| Galaktik çubuğun desen hızı | 43±9 | km $s^{-1}$ $kpc^{-1}$ |
| Galaktik çubuğun eş-dönme yarıçapı | 4.5-7.0 | kpc |

En güncel simülasyonlar Galaksimizin içten dışa doğru oluştuğunu ve bu bölgedeki yıldızların yaşının yaklaşık 11 Gyr olduğunu gösterir. Bu sonuç, yapılan gözlemlerle de desteklenmiştir (Bono ve diğ. 2013). Yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemler şişkin bölgedeki yıldız popülasyonlarının metal bolluklarının yaklaşık olarak -1 ile +0.5 dex arasında değiştiğini ve ortalama metal bolluğunun [Fe/H] ≈ +0.2 dex'te geniş bir tepe yaptığını ortaya koymuştur (Zoccali ve diğ. 2003; 2008; Hill ve diğ. 2011). Öte yandan şişkin bölgede, Galaksi merkezindeki SKK, çok genç yıldızlar, küresel kümeler ve devasa boyutlarda molekül bulutları yer alır. Şişkin bölgeden, ince diske geçiş noktası belirlenememiştir. Bono ve diğ. (2013), Galaktik çubuğun iç diskten şişkin bölgeye gaz ve molekül bulutları sürükleyerek buradaki yıldız oluşum oranını yükselttiğini öne sürmektedir.

Şişkin bölgenin oluşumuna ilişkin iki güncel senaryo vardır. Biri, şişkin bölgenin ilkel gazın çekimsel olarak çökmesi ve/ya da hiyerarşik olarak madde topaklarının birleşmesini öne sürer. Bu durumda şişkin bölge Galaktik diskten önce oluşur ve yıldız oluşum zaman ölçeği kısadır. Bunun sonucu olarak yıldızlar yaşlı olmalıdır ve kimyasal bakımdan alfa element bolluklarının demire göre rölatif olarak daha zengin olması beklenir. Bu klasik şişkin bölge karakteristiğidir. Bu görüş renk-parlaklık diyagramında yaşlı yıldızların bulunmasıyla destekleniyordu (Ortolani ve diğ. 1995). Diğer senaryoda ise, diskin seküler evrimi boyunca çubuk sahte bir şişkin bölge oluşturur. Çubuk oluşumundan sonra şişkin bölge dikey doğrultuda ısınarak bugünkü tipik yapısına kavuşur (Babusiaux, 2012).

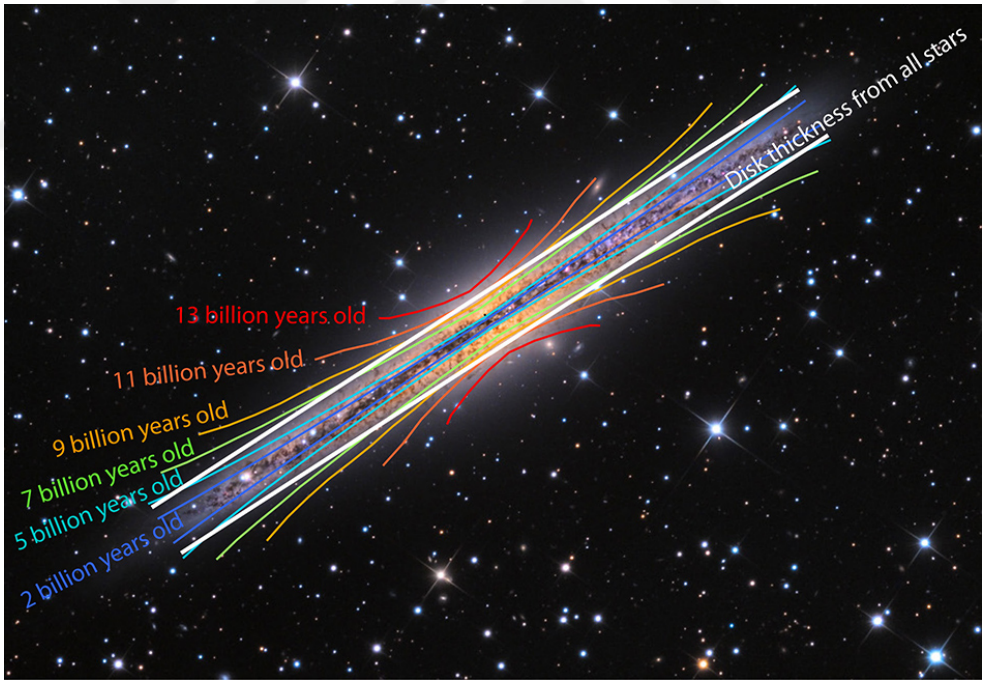
COBE uydusundaki DIRBE alıcısıyla yapılan gözlemler şişkin bölgenin kutu şeklindeki yapısını ortaya koymuştur (Dwek ve diğ. 1995). Daha sonra bu gözlemler 2MASS (Skrutskie ve diğ. 2006) yıldız sayımı haritasıyla doğrulanmıştır. Son dönemde yapılan yıldız sayımı çalışmaları şişkin bölge yıldızlarının büyük bir kısmının k/f şekilli şişkin bölge yapısının parçası olduğunu ve bunun Galaktik çubuğun içteki üç boyutlu kısmını temsil ettiğini göstermiştir. Bu gözlem, şişkin bölgenin gözlenen silindirik dönmesiyle uyumludur. Bu, aynı zamanda uzun süredir varlığı bilinen HI ve CO moleküllerinin boylam-hız ($l$-$v$) diyagramlarında dairesel olmayan hareketleriyle tespit edilmiştir. Bunlar Galaktik çubuğun şişkin bölgede bulunduğuna dair kanıtlardır (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016).

### 2.1.3. Galaktik Disk

Bir galaksinin en önemli bileşeni baryonik açısal momentumun neredeyse tamamını içeren diskidir. Bu nedenle, bir galaksi diskinin nasıl oluştuğunun anlaşılması aslında galaksi oluşum teorilerinin en önemli hedefidir. Galaksi diskinin geçmişinin sorgulanabileceği iki ana ipucu bulunur. Bunlardan biri, yıldızların kinematiği olup diskin ısınma geçmişine dair ipuçları sunarken, diğeri yıldızlararası ortam, yıldızlar ve hareketli yıldız grupları ya da yıldız kümelerine ait kimyasal bollukların bilinmesidir. Özellikle, Galaksimizin disk düzlemi boyunca ölçülen radyal metal bolluğu gradyentinin farklı türden yıldızlar kullanılarak hesaplanması, galaksi oluşumu ve evriminin nasıl gerçekleştiğini gösteren önemli bir kanıttır. Metal bolluğu gradyent hesabının, gazın düşme zaman ölçeği, gaz akışı, yıldız göçü ve hatta Galaksi çubuğu ve

spiral kolların dinamiği gibi çeşitli disk süreçleri ile yakından ilişkisi vardır. Yirmi yılı aşkın süredir Samanyolu diski boyunca hesaplanan bolluk gradyentleri çeşitli türden yıldızların kullanılmasıyla yapılmıştır.

Galaksimizdeki yıldızların yaşlarının diskin iç ve dış kısımlarında farklılık gösterdiği bilinmektedir. Şekil 2.6'da yıldız yaşlarının Galaksi diskinden dışa doğru gidildikçe nasıl değiştiği görülmektedir. Yıldız yaşları disk düzleminden uzaklaştıkça koyu maviden kırmızıya doğru değişmektedir. Şekil üzerinde en genç disk popülasyonu (2 Gyr) mavi çizgi, en yaşlı disk popülasyonu (13 Gyr) ise kırmızı çizgiyle temsil edilmiştir. Galaksi düzlemine dik doğrultudaki bu davranış içten dışa oluşum senaryosunu desteklemektedir. Radyal doğrultuda da yıldız yaşlarının değişimi aynı sırayı takip etmektedir; yani diskin iç kısımlarından dış kısımlarına doğru yıldızlar yaşlanır.




**Şekil 2.6:** Galaksi diskinin kalınlığı ve yıldız yaşlarının değişimi[2].

Son on yılda Galaksi diski hakkında her ne kadar çok şey bilinse de yalnızca birkaç yapısal parametre hassas olarak ölçülebilmiştir. Örneğin diskin toplam yerel yüzey yoğunluğu ve dikey yoğunluk profili yüksek bir hassasiyetle bilinmektedir. Diğer

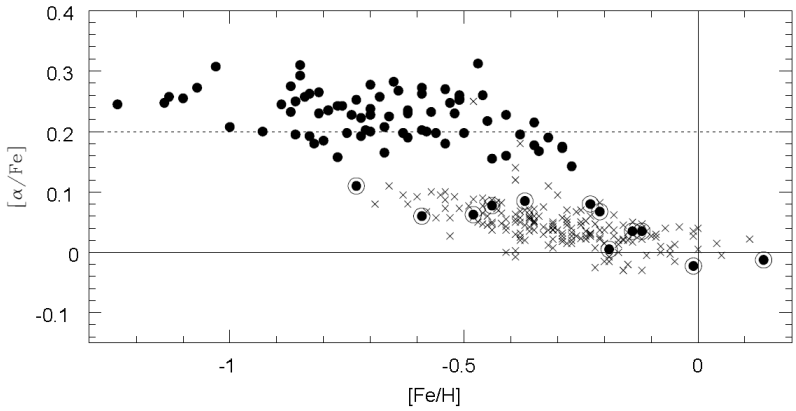
[2] http://phys.org/news/2015-04-riddle-galactic-thinthick-disk.html

galaksilerin fotometrik uzunluk ölçekleri iyi bilinse de Galaksimizin ince ve kalın disklerinin radyal uzunluk ve dikey yükseklik ölçekleri belirsizlikler içerir (Tablo 2.4; Blandhawthorn-Gerard, 2016). İnce ve kalın diskten meydana gelen Galaktik diskin kimyasal ve kinematik bakımdan ne kadar birbirinden farklı olduğu tam olarak bilinmemektedir.

Her ne kadar ince ve kalın disk bileşenlerini ayırmada uzunluk ve yükseklik ölçekleri kullanılsa da iki bileşeni ayırmak konusunda tam bir başarı elde edilememiştir. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalar bu iki bileşenin kimyasal olarak daha kolay ayırt edilebileceğini göstermiştir. Kalın disk yıldızlarının çoğunluğu ince disk yıldızlarından yaşlıdır ve farklı bir kimyaya sahiptir (örneğin; Bensby, Feltzing ve Lundström, 2003; Haywood, 2008; Bensby 2014; Reddy, Lambert ve Allende Prieto, 2006;) Bugünlerde [α/Fe] oranının kalın disk için ince diske göre geniş bir [Fe/H] aralığı için zenginleştiği bilinmektedir. Bu durum yüksek çözünürlüklü ($R$>20,000) tayflarla yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir (örneğin; Fuhrmann, 1998; Prochaska ve diğ. 2000; Hayden ve diğ. 2015; Kordopatis ve diğ. 2015). Reddy ve diğ. (2006), Güneş civarındaki yıldızların [Fe/H]-[$\alpha$/Fe] bolluk dağılımlarını hesaplamıştır (Şekil 2.7). Buna göre [Fe/H] bakımından zengin yıldızlar [α/Fe] bakımından fakirken, [Fe/H] fakir yıldızlar ise [α/Fe] bakımından zengindirler. Benzer durum yıldızların yaşları açısından da geçerlidir. Demir bolluğu açısından zengin olan yıldızlar yaşça genç, fakir olanlar ise yaşlıdır.

**Tablo 2.4:** Galaktik disk parametreleri.

| Özellik | Değer | Birim |
|---|---|---|
| İnce diskin yükseklik ölçeği | 300±50 | pc |
| Kalın diskin yükseklik ölçeği | 900±180 | pc |
| İnce diskin uzunluk ölçeği | 2.6±0.5 | kpc |
| Kalın diskin uzunluk ölçeği | 2.0±0.2 | kpc |
| İnce diskin yıldız kütlesi | $(4\pm1)\times10^{10}$ | $M_{\odot}$ |
| Kalın diskin yıldız kütlesi | $(8\pm3)\times10^{9}$ | $M_{\odot}$ |
| Yaşlı İnce diskin radyal hız dispersiyonu | 35±5 | km $s^{-1}$ |
| Yaşlı İnce diskin dikey hız dispersiyonu | 25±5 | km $s^{-1}$ |
| Kalın diskin radyal hız dispersiyonu | 50±5 | km $s^{-1}$ |
| Kalın diskin dikey hız dispersiyonu | 50±5 | km $s^{-1}$ |
| Galaktik diskin yerel kütle yüzey yoğunluğu ($\|Z\|\leq1.1$kpc) | 70±5 | $M_{\odot}$ $pc^{-2}$ |
| Galaktik diskin yerel kütle yoğunluğu | 0.097±0.013 | $M_{\odot}$ $pc^{-3}$ |
| Galaktik diskin yerel karanlık madde enerji yoğunluğu | 0.49±0.13 | GeV $cm^{-3}$ |




**Şekil 2.7:** Güneş civarındaki yıldızların [Fe/H]-[$\alpha$/Fe] bolluk dağılımı.

Diskin dış kısımlarına doğru gidildikçe bu bileşenin fiziksel uzunluğu ve yapısının detayları son derece belirsizleşmektedir. Yıllar geçtikçe farklı araştırmacılar optik ve kızılötesi gökyüzü taramalarından yıldız diskinin kenarının 10-15 kpc aralığında olduğuna dair kanıtlar sunmuşlardır (Habing 1988; Robin, Creze ve Mohan 1992; Ruphy ve diğ. 1996; Minniti ve diğ. 2011). Yapılan birçok yeni gözlem dış diskin yapısının çok karmaşık olduğunu doğrulamaktadır. Dış disk gözlemine göre hem HI hem de yıldızlar Galaktik düzlemden öteye doğru yavaşça burulur. Burulmaya ek olarak dış diskteki yıldızlar ve gazda alevlenme gözlenir ve bu yüzden alt-yapılanmalar meydana gelir. Carraro (2015), hem genç (HII bölgeleri ve açık kümeler) hem de yaşlı nesneleri (sefeid değişenleri ve pulsarlar) inceleyerek dış diskte alevlenmeyi tartışmış ve kanıtlar sunmuştur.

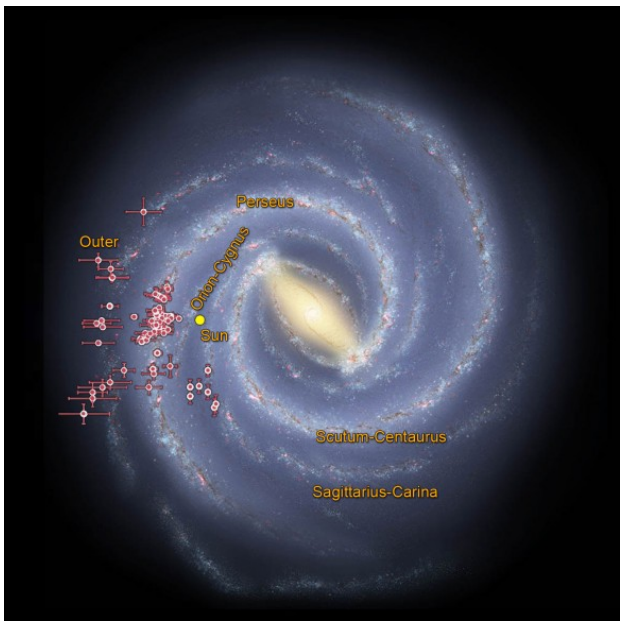
Disk yıldız popülasyonlarına ait hız dispersiyonlarının yıldız yaşları ile arttığı bilinmektedir (Strömberg, 1925; Wielen, 1977). İnce diskte bulunan yıldızların çekimsel alandaki dalgalanmaların etkisiyle hız dispersiyonları artmaya başlar ve düşük yoğunluklu bölgelere doğru hareket etmeye başlarlar, bu da diskin ısınmasına yol açar. Bu etkilerin modellenmesi güvenilir simülasyonlarla bile çok zordur. Pasetto ve diğ. (2012), RAVE taramasını kullanarak (*R, z*) düzlemindeki hız dispersiyonlarının değişimini incelemişlerdir. Beklendiği üzere ince disk yıldızları neredeyse dairesel, düşük dispersiyonlu, eş-dönmeli yörüngelerde dolanırlar.

### 2.1.3.1. İnce Disk ve Spiral Kollar

İnce disk, şişkin bölgeyi saran ve Galaksimizin diğer galaksilerden bakıldığında görünür olmasını sağlayan en önemli bileşenidir ve Galaksideki yıldızların %85'ini içerir. Bu bileşenin yükseklik ölçeği 250-400 pc civarındadır (bkz. Bilir ve diğ. 2006a). İnce diskin ortalama demir bolluğu [Fe/H]=-0.2 dex'tir. Son 10 Gyr boyunca yıldız oluşumu devam ettiğinden bu bileşendeki nesnelerin yaşları geniş bir aralıkta bulunur. Spiral kollar ince diske ait yapılardır ve bunlar HI bulutları, diğer molekül bulutları, HII bölgeleri, ilkel yıldızlar, O ve B tayf türlerindeki yıldızlar, süperdev yıldızlar ve Tip I sefeidlerinden oluşur. O ve B tayf türünden yıldızların aynı buluttan doğduğu ve çekimsel olarak birbirlerine bağlı bulunduğu bazı yapılar vardır; bunlar O-B oymakları olarak bilinir. Bu yıldızlar büyük kütleli olduklarından hızla anakolu terk ederek evrimleşirler. Daha küçük kütleli yıldızlar da bu süreçte anakola gelerek açık kümeleri oluştururlar. Spiral kolları temsil eden bu türden nesneler genç ve metalce zengin yapılar olup yükseklik ölçekleri yaklaşık 100 ile 125 pc aralığında bulunur (Marshall ve diğ. 2006). İlkel Galaksi bulutunun hızlıca çökmesi sonucunda Galaktik merkez civarında yoğunlaşan maddenin yıldız oluşturmaya başlamasıyla yıldız oluşum hızı artar ve süpernova patlamalarıyla ortama yayılarak çevredeki yıldızlararası maddeyi sıkıştırır. Yıldız oluşum bölgeleri büyüdükçe katı bir şekilde dönmeyen Galaksinin neden olduğu diferansiyel rotasyon yıldızlararası maddeyi iç bölgelerden dış bölgelere doğru sürükler. Bu da büyük kütleli O, B tayf türündeki oymakların ve bu oymakları çevreleyen bulutsuların oluşmasına sebep olur. Bu yapı Galaksimizin spiral yapısını oluşturur. Yukarıda anlatılan bu senaryo *kendi kendini besleyen yıldız oluşumu* teoremi olarak bilinir ve Galaksimizdeki spiral yapının oluşumunu açıklamaya çalışır (Mueller ve Arnett, 1976; Gerola ve Seiden, 1978) Spiral kolların oluşumuna yönelik bir başka genel kabul gören *yoğunluk dalga teorisine* göre bu yapının oluşumunda komşu galaksilerle çekimsel etkileşim ya da Galaksimizin dönmesinden dolayı merkezi kısımlarda kütlenin asimetrik bir dağılım göstermesinin tetiklediği spiral yoğunluk dalgalanmaları etkilidir. Bu etkiler sonucunda tüm galaksi boyunca yayılan spiral yoğunluk dalgası, önüne çıkan gazı yavaş yavaş sıkıştırarak tedirginlik oluşturur ve zamanla bu spiral kollara bugünkü şeklini verir (Lindblad, 1960; Lin ve Shu, 1964; 1971).

Spiral kollar, Galaksimizdeki en bol bulunan nötral hidrojen atomunun 21 cm dalgaboyu çizgilerindeki yer değişimleriyle araştırılır. Elektromanyetik tayfın orta kızılötesi bölgesinde gözlem yapan *WISE* uydusundan (Wright ve diğ. 2010) elde edilen verileri kullanarak Camargo, Bonatto ve Bica (2015) diske gömülü 18 kümenin özelliklerinden yeni yıldızların doğduğu 400'den fazla toz ve gaz bulutu olduğunu keşfetmiştir. Çalışmada, Samanyolu galaksisinin spiral kollarını bu yeni yöntemle haritalayarak Galaksinin dört ana kolu olduğu doğrulanmıştır. Bunlar Perseus, Sagittarius, Centaurus ve Cygnus kollarıdır (Şekil 2.8).

İnce diskin çoğu A ile M tayf türleri arasındaki cüceler, alt-devler, devler, gezegenimsi bulutsular ve beyaz cücelerden ibarettir. Bu cisimlere disk düzleminden dik doğrultuda 700 pc'e kadar rastlanır. Güneş civarındaki ince disk cisimlerinin Galaksi merkezi etrafındaki dönme hızları ~220 km $s^{-1}$dir. HI bölgeleri Galaksi merkezinden itibaren yaklaşık 3 kpc civarında görülmeye başlar; bundan dolayı Galaksi merkezine daha yakın mesafelerde HI bölgesi bulunmaz. İnce disk yıldızları Walter Baade'nin (1957) ünlü sınıflandırma şemasına göre Pop I sınıfına girer. Pop I yıldızları, genç yıldızlar olup (≤3 Gyr) neredeyse çember ve yüksek açısal momentumlu yörüngelerde hareket eden, metalce zengin yıldızlardır.




**Şekil 2.8:** Samanyolu'nun spiral kolları ve yeni keşfedilen gaz ve toz bulutlarının temsili[3].

[3] http://earthsky.org/space/new-map-confirms-four-milky-way-arms

İnce disk yıldızlarının Galaksi oluşumunun son evresinde meydana gelen gaz yığılmalarıyla oluştuğu düşünülmektedir. Bu yıldızların yaşları geniş bir aralıkta değişir ve bazı çalışmalarda ince disk yaşa bağlı olarak alt popülasyonlarına ayrılabilir. Gilmore ve diğ.'ne (1989) göre ince disk kimyasal ve kinematik bakımdan kalın disk ve şişkin bölgeden ayrıktır. İnce diskin yapısının incelenmesi için kümede ya da yıldız alanlarında bulunan O-A tayf türü aralığındaki genç yıldızlar ve yıldızlararası ortamın bileşenleri dikkate alınır. Yıldız sayımı metoduyla Galaktik yapıyı inceleyen araştırmacılar ince diskin yükseklik ölçeğini 220 ile 450 pc arasında vermektedir (Bilir ve diğ. 2006a). Fotometrik yöntemlerle Galaktik kutup doğrultularında yıldız sayımları yapan araştırmacılar ince diskin duyarlı yükseklik ölçeğini tayin etmelerine karşın bu bileşenin uzunluk ölçeği söz konusu olduğunda hassas değerleri elde edememişlerdir. Radyal doğrultudaki yıldız sayımının yapılabilmesi için yakın kızılötesi bölgede gözlemlere ihtiyaç duyulur çünkü Galaktik düzlemde yoğunlaşan yıldızlar yıldızlararası ortamın neden olduğu sönümlemeden etkilenirler. Bu konuda literatüre kazandırılan en güncel bilgilerden biri de Yaz Gökçe ve diğ.'ne (2015) aittir. Araştırmacılar Galaktik enlemi -0°.5 ile +0°.5 ve Galaktik boylamı 90° ile 270° aralığında yer alan eş büyüklüklü 19 yıldız alanını 2MASS ve *WISE* fotometrik verileriyle analiz etmişlerdir. Yıldız alanlarından elde edilen uzunluk ölçeklerinin Galaktik boylamın bir fonksiyonu olarak 1500 ile 2200 pc aralığında değiştiğini göstermişlerdir. $l$=90° ve $l$=270° aralığındaki uzunluk ölçekleri 1500 pc civarındayken, Galaksi merkezinin zıt yönündeki yıldız alanından ($l$=180°) uzunluk ölçeği 2200 pc hesaplanmıştır. Galaksi merkezinin zıt doğrultusundaki alandan elde edilen uzunluk ölçeği değeri, radyal doğrultunun tanımına uygun olarak, bu parametrenin ölçülmesi için en büyük mesafeyi verdiğinden çalışmada elde edilen bu değer ince diskin "gerçek" uzunluk ölçeğini $h$~2200 pc verir. Bu sonuç, geri tayf türündeki anakol yıldızlarını SDSS fotometrisi yardımıyla analiz eden Bilir ve diğ.'nin (2006b) sonuçlarıyla ($1500 < h < 2300$ pc) da uyum içerisindedir.

### 2.1.3.2. Kalın Disk

Galaksimizin kalın disk bileşeni ilk kez Gilmore ve Reid'ın (1983) güney Galaktik kutup doğrultusundaki yıldızların fotometrik ölçümlerden hesaplanan sayılarının modellenmesiyle ortaya konmuştur. Kalın disk daha içteki ince diski sarar ve ince diskin ötesine kadar uzanır. Bu bileşen bir galaksinin görüntüsüne bakıldığında diskin kabarık göründüğü, sınırların bulanıklaştığı bölge olarak tanımlanabilir.

Kalın diskin keşfinden bugüne ince diskten kinematik ya da kimyasal bakımdan ayrık olup olmadığı; ne tür mekanizmalarla oluştuğu sürekli sorgulanmaktadır. Kalın disk, ince diskten daha yaşlı yıldızlardan oluşmuş olsa da halo ya da şişkin bölge ile kıyaslandığında daha genç bir bileşendir. Ayrıca geçmişte yapılan bazı çalışmalarda kalın diskin, ince disk ile halo arasında bir geçiş bölgesi olduğu öne sürülürken, daha güncel çalışmalar ince ile kalın disk arasında ve kalın disk ile halo arasında geçiş bölgelerinin bulunduğunu birçok çalışmada gösterilmiştir (Edvardsson ve diğ. 1993; Bartasiute, 1995; Fuhrmann, 1998, Nissen, 2003; Recio-Blanco ve diğ. 2014; Hawkins ve diğ. 2015). Kalın disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında basık yörüngelerde dolanan, yaşlı, Ara Pop II yıldızları olarak tanımlanır. Kalın diskin yükseklik ölçeği 1-1.5 kpc arasındadır. Güneş civarındaki yıldızların yaklaşık %6-8'inin kalın disk yıldızı olabileceği hesaplanmıştır (Bilir ve diğ. 2008). Bu yıldızların küçük bir kesri Güneş komşuluğundan geçtiğinden, kalın disk yıldızlarının sayıca fazla olduğunu görebilmek için yeterince derin fotometrik ve tayfsal gökyüzü tarama programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kalın diskin metal bolluğu dağılımı -0.6 dex'te maksimumdan geçer ve ince diskin yükseklik ölçeğinin yaklaşık üç katından büyüktür. Bununla birlikte, kalın diskin dönme hızı ince diskten daha düşüktür (~30-50 km $s^{-1}$ kadar geride kalır; $V_{rot}$ ~180 km $s^{-1}$). Kalın diske hâkim olan yıldız popülasyonları K ve M tayf türünden cüce yıldızlar, Mira ve RR Lyrae türü değişen yıldızlardır. Ayrıca bu popülasyonun incelenmesinde beyaz cüceler, gezegenimsi bulutsular ve küresel kümelerden faydalanılmaktadır. Bu bileşendeki yıldızların yaşı yaklaşık 12 Gyr'dır. Kalın diskin keşfinden bu yana ince disk ve halo bileşeninden farklı kinematik ve kimyasal özelliklere sahip olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Chiba ve Beers 2000; Gilmore ve diğ. 2002; Soubiran ve diğ. 2003; Majewski 1993). Kalın disk bileşeninin oluşumunun bilinmesi, sadece diğer bileşenlerin değil Galaksimizin oluşumu ve evrimine dair önemli bilgilere ulaşılmasına yardımcı olacaktır. Kalın diskin oluşum mekanizması onlarca yıldır tartışılmaktadır. Literatürde, yaşlı disk yıldızlarının radyal göç ve/ya da alevlenmenin birleşiminden kaynaklanan etkilerle kalın diski nasıl oluşturduğunu açıklayan çok sayıda model bulunmaktadır. Bu yüzden kalın diskin geçmişi ince diskin geçmişine bağlanmaktadır. Fakat ortalama metal bollukları bakımından iki bileşen farklılık gösterir. Kalın diskin keşfinden kısa bir süre sonra Jones ve Wyse (1983) ince diskin Galaktik potansiyel virial dengesine ulaşmadan yani

kinetik ve potansiyel enerji arasındaki dengeye ulaşılmadan oluştuğunu ve bunun kalın diskin oluşumuna zemin hazırlayan şiddetli gevşeme ile düzleşmiş olabileceğini önermiştir. Daha sonra, Burkert ve diğ. (1992) kalın diskin yıldız oluşumunun eşlik ettiği hızlı ve dağıtıcı çöküşün sonucu olarak oluştuğunu göstermiştir. Bu alanda popüler olan ilk model, yeni oluşan ince diskin epey güçlü ve kütleli bir uydu ile birleşmesi sonucunda ısınması olmuştur. Söz konusu uydunun Galaktik disk kütlesinin yaklaşık %20'si kadar kütleli olması gerektiği hesaplanmıştır (Quinn ve diğ. 1993; Velazquez ve White, 1999). Ayrıca kalın disk, ağırlıklı olarak kalınlaşmış diskteki yıldızlardan oluşurken, bazı yıldızlar da etkileşen uydu galaksilerden bu bölgeye taşınmıştır. Yakın zamanda bu model kozmolojik çerçevede değerlendirilerek Galaksimizin çok sayıda uydu galaksi ile birleşip, yığışma olaylarıyla ısındığı durum da dikkate alınmıştır (Hayashi ve Chiba, 2006; Kazantzidis ve diğ. 2008; Villalobos ve Helmi, 2008). Bununla beraber ısınma sürecine en büyük katkının büyük kütleli uydu galaksilerden geldiği vurgulanmıştır.

Kalın disk yıldızlarının kimyasal olarak ince diskten ayrık olduğunun belirlenmesi çalışmalarında her iki diskin rölatif yoğunluğu ve yükseklik ölçeklerinin farklı tanımlanmalıdır. Bensby ve diğ. (2010), Güneş çemberinde iki modlu bir [$\alpha$/Fe] bolluk dağılımı olduğunu belirlemişlerdir. Bu durum zenginleşmemiş [$\alpha$/Fe] bolluklu popülasyonun görüldüğü dış diskten farklıdır. Bovy ve diğ. (2012b), SEGUE taramasındaki cüce yıldızları kullanıp tayfsal olarak tanımlanmış tek bolluklu popülasyonlara bölerek kısa ve uzun, uzunluk ölçekleri arasında bir geçiş bölgesi bulmuşlardır: Buna göre kısa uzunluk ölçeği için yüksek [$\alpha$/Fe] ve düşük [Fe/H] bollukları ile 1000 pc'lik yükseklik ölçeği ve uzun uzunluk ölçeği için düşük [$\alpha$/Fe] ve yüksek [Fe/H] bollukları ile 400 pc'ten küçük yükseklik ölçeği. Daha geniş çaplı APOGEE taramasından belirlenen yaklaşık 70,000 kırmızı dev yıldız incelenerek durumun daha karmaşık olduğu ortaya konmuştur (Bovy ve diğ. 2015; Hayden ve diğ. 2015). Analizler yüksek [$\alpha$/Fe] ve düşük [Fe/H] bolluklu örneğin Galaksi merkezinden 11 kpc'e kadar uzandığını, düşük [$\alpha$/Fe] ve yüksek [Fe/H] bolluklu örneğin ise Galaksi merkezinden 15 kpc'e kadar uzayabileceğini göstermiştir. Bu da iç diskin düşük [$\alpha$/Fe] bolluğu bakımından baskın olduğunu, dış diskin ise yüksek [$\alpha$/Fe] bolluğu bakımından baskın yıldızlardan oluştuğunu göstermektedir. Bu da diskte bir radyal metal bolluğu gradyentinin oluşmasını gerektirir.

### 2.1.4. Galaktik Halo

Yıldız halosu, galaksi diskinin çok ötesine kadar uzanır. Halo popülasyonu en yaşlı (~13 Gyr) ve metalce en fakir (⟨[Fe/H]⟩~-1.5 dex) yıldızlardan oluşur. Haloda küresel kümeler, metalce fakir alt-cüceler ve RR Lyrae yıldızları bulunur. Halo yıldız diskini sararak, diskin yarıçapından kat kat uzak mesafelere kadar uzanır, fakat içerisindeki yıldız miktarı Galaksi kütlesinin yalnızca %1'i kadardır (Tablo 2.5; Bland-hawthorn ve Gerard, 2016). Galaksimizin halosu, iç ($R_{gc} \leq 8$ kpc) ve dış halo ($R_{gc} > 8$ kpc) olarak ikiye ayrılır. Haloda yıldız yoğunluğu çok düşük olduğundan Galaksimizin görünür diskine bir katkısı yoktur. Galaksimizin en dış bileşenindeki yıldızların dönmesi ya çok yavaştır ya da dönmediği kabul edilmektedir. Ayrıca bu popülasyonda bulunan yıldızlar çok basık yörüngelerde dolanırlar (Ruchti, 2010) Galaksimizin üç tür halosu vardır: i) Yıldız halosu, ii) karanlık madde halosu ve iii) sıcak gaz halosu. Bütün bu yapılar Galaktik dönme eğrisiyle ilgilidir. Yıldız ve karanlık madde halosu diski çevreleyen üç boyutlu yapılar olarak aynı özellikleri paylaşırlar ve yığışan madde ile büyürler. Öte yandan bu iki bileşen hem yapısal hem de oluşum geçmişleri bakımından farklıdır. Gaz halosu, Galaksinin baryonik kütlesinin depolandığı çok önemli bir bölge olup iç ve dış akışlar sayesinde çevresiyle etkileşime geçer. Her üç halo bileşeni de aynı çekimsel potansiyeli paylaşırlar. Çekimsel potansiyele orta ölçekteki yarıçapta ($R_o$=8 kpc) Galaktik şişkin bölge, disk ve karanlık halo bileşenleri katkıda bulunurken, büyük yarıçaplarda (~100 kpc) ise karanlık madde şekillendirir. Galaksimizde büyük ölçekteki çekimsel potansiyelin ortaya konabilmesi için Galaktik halo ve uydu galaksilerinin araştırılması önemlidir (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016).

**Tablo 2.5:** Galaktik halonun genel özellikleri.

| Özellik | Değer | Birim |
|---|---|---|
| İç halo düzleşmesi | 0.65±0.05 | |
| Dış halo düzleşmesi | 0.8±0.1 | |
| Toplam halo kütlesi | $(4 - 7)\times10^{8}$ | $M_{\odot}$ |
| Halonun küresel hız elipsoidi | (141,72,85)(±5) | km $s^{-1}$ |
| Halonun ortalama dönme hızı | 40 | km $s^{-1}$ |
| Galaksideki toplan baryon kütlesi | $(8.8\pm1.2)\times10^{10}$ | $M_{\odot}$ |
| Galaksideki baryon kütlesi kesri | %6±1 | |
| Galaksinin Virial kütlesi | $(1.3\pm0.3)\times10^{12}$ | $M_{\odot}$ |

Yalnızca karanlık maddeyi içeren simülasyonlarda halonun şekli düzleşmiş, yayık, üç eksenli ve ortalama eksen oranı $\langle c/a \rangle$=0.5±0.1 olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplara baryonlar dâhil edildiğinde haloların daha küresel olduğu ve tüm yarıçaplarda

kutuplardan basık hale geldiği görülmüştür. Fakat bunun en çok iç kısımlarda olduğu tespit edilmiştir. Samanyolu'nda karanlık halonun şekli üzerine getirilen kısıtlamalar, Sgr cüce galaksisinin yörüngesi, gelgit akıntıları, SDSS kinematiği, HI tabakasının alevlenmesi ve dönme eğrisi ve dikey ivmelenme ölçümlerinin birleşimlerine getirilen sınırlamalara dayanır. Sgr cüce galaksisinin yörüngesi, Galaktik karanlık halonun boyutlarının 20 ile 100 kpc arasında olduğuna işaret eder. Sgr cüce galaksisinden kaynaklanan yıldız akıntısının gökyüzündeki geometrisine göre kutuplardan basık ve küresele yakın şekilli bir halo olması gerektiği bulunmuştur. Öte yandan bakış doğrultusu hızları, halonun şeklinin yine basık olduğuna dair fikirler sunmuştur. Böylelikle Samanyolu'nun halosu için üç eksenli bir model öne sürülmüştür. Bu bulgulardan halonun disk düzlemindeki kısa ekseninin neredeyse basık olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu yüzden çoğu araştırmacı dış halo için küresel model kullanmaktadır.

Samanyolu'nun *yıldız halosu* toplam Galaksi kütlesinin %1'ini içeriyor olup, Galaksimizin oluşum geçmişinin anlaşılmasında önemlidir. Halo, ilk kez, Güneş'e yakın yaşlı, yüksek hızlı, metalce fakir yıldızların popülasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu bakımdan küresel kümelere benzemektedir. Halo yıldızlarının büyük, rastgele hareketleri ve sferoid ile küresel arasında değişen uzay dağılımları olduğu tespit edilmiştir. Eggen, Lynden-Bell ve Sandage'in (ELS; 1962) çalışmalarını takiben halo ile ilgili klasik bakış açısı gelişmiştir. ELS modeline göre metalce fakir buluttan oluşan yaşlı yıldızların bugünkü halo popülasyonunu oluşturduğu, bunu takiben Searle ve Zinn (SZ; 1978) halodaki küresel kümelerin Galaksi merkezine uzaklıklarından bağımsız olarak geniş bir metal bolluğu aralığında değiştiğini gözlemleyerek halonun birbirinden bağımsız çöken kalıntılardan oluştuğu sonucuna varmışlardır. Büyük gökyüzü tarama programlarından elde edilen verilere göre yıldız halosu çok sayıda bileşen ve çözülememiş alt bileşenlerden oluşan karmaşık bir yapıdır ve çekimsel alan içerisinde gelgit etkileriyle parçalanan küçük galaksilerden oluşan madde yığışmasına maruz kalmaktadır. Bu durum hiyerarşik galaksi oluşum modellerinin (*bkz.* Bölüm 2.2.2) öngörülerini doğrular niteliktedir. Halodaki uzun zaman ölçekleri yüzünden gelgit kuyrukları, kabuklar ve yığışan cüce galaksilerden kaynaklanan aşırı yoğun bölgeler milyarlarca yıl boyunca gözlenebilir olmaktadır; böylelikle halo popülasyonu Samanyolu'nun yığışma geçmişinin fosil kayıtlarını tutar denilebilir (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016).

Kozmolojik simülasyonlar Samanyolu'nun farklı boyutlarda en az 100 uydu galaksinin yığışmasına maruz kaldığını göstermiştir. Bu galaksiler, Samanyolu'nun gelgit alanı tarafından parçalanırlar, bunun da yıldız halosunda yeni yapılanmalara sebep olduğu düşünülmektedir. Modellere göre aynı kütledeki karanlık haloya sahip galaksilerde yıldızlardan fırlatılan ve kabuk olarak nitelendirilen madde yığınları ile çekimsel etkileşimlerin bir sonucunda oluşan gelgit akıntılarına bağlı olarak dış haloda düzensiz yoğunluk dağılımları olduğu öngörülmüştür. Bu modellerde halonun büyük bir kısmı ~10 Gyr önceki zamanlarda oluşmuştur. Yıldız halosunun büyük bir kısmıysa daha erken zamanlarda yığışan birkaç büyük kütleli galaksinin parçalanmasından oluşur. Dış halo, iç halodan daha yakın zamanda oluşmuştur ve halo özelliklerinin evrimleşerek yığışma geçmişini yansıttığı bulunmuştur. İç halonun bir kısmının Galaksinin ana yapısı içerisinde oluştuğu düşünülmektedir. Son dönemde yapılan simülasyonlar, erken Galaktik diskte oluşan yıldızların bir kısmının iç haloya fırlatılmış olabileceğini ve varolan halo yıldızlarının serbest düşen galaksilerden sıyrılan gazlardan oluşmuş olabileceğini göstermektedir (Bullock ve Johnston, 2005; Font ve diğ. 2006; De Lucia ve Helmi, 2008; Cooper ve diğ. 2010; Pillepich ve diğ. 2014).

Galaksi diskini çevreleyen yaygın sıcak plazmanın varlığı, Spitzer'in (1956) HI bulutlarının bir dış ortam tarafından sınırlandırıldığını keşfetmesinden bu yana tartışılmaktadır. Bu, Samanyolu'nun *sıcak gaz halosu* olarak bilinir. Fakat Galaktik düzlemde ne kadar gaz bulunduğu ve bunun ne kadarının haloya kadar uzandığı belirsizdir. Uzamış bir koronanın varlığına dair güçlü kanıtlar yakındaki büyük kütleli disk galaksilerinin etrafındaki sıcak gaz halolarının incelenmesinden gelmektedir. Galaktik korona araştırmaları ~270 kpc yarıçaplı bölgede yer alan cüce galaksilerde gaz içeriğinin bulunmadığına dair önemli ipuçları sağlamıştır. Bu hesaplamalara LMC ve SMC dâhil edilmemiştir. Sıcak Galaktik halonun iki ana bileşeni vardır: i) X-ışınlarında gözlenen, eksponansiyel bozunan, yükseklik ölçeği birkaç kpc olan, yüksek metal bolluklu bileşen ($Z > 0.3Z_{\odot}$) ile ii) uzamış (>100 kpc), daha yaygın, düşük metal bolluklu bileşen (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016).

Samanyolu'nun etrafında bir *karanlık madde halosu* olduğuna dair bir takım teorik hesaplamalar ve gözlemler yapılmıştır. Galaksinin toplam kütlesinin hassas ölçümü için Soğuk Karanlık Madde (CDM) paradigmasının Galaksi anlayışımızla uyuşması

önemlidir. Bunun için karanlık madde kütlesi bilinmelidir. Bununla birlikte aslında karanlık halonun şekli hala bilinmemektedir.

## 2.2. GALAKSİMİZİN OLUŞUM SENARYOLARI

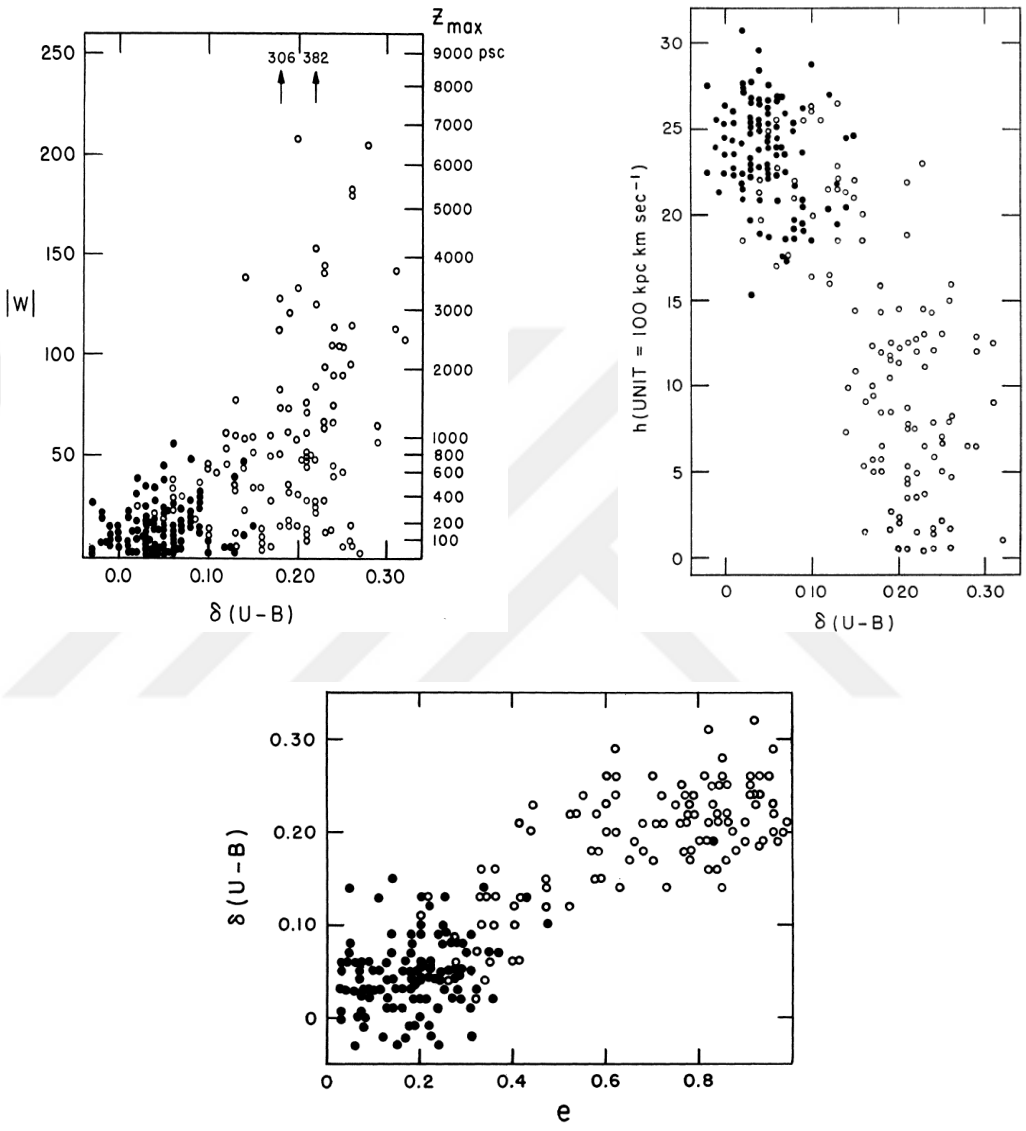
Son 20 yılda, gözlemsel ve teorik çalışmalardaki ilerlemeler sayesinde Galaksimizin bileşimini, oluşumunu ve evrimini evrensel bir çerçevede anlamaya başladık. Tarihsel olarak Samanyolu'nun yıldız halosunun erken zamanda oluşumu için iki farklı model bulunmaktadır. Aşağıda Galaksimizin oluşumunun ve geçmişinin anlaşılmasında önerilen bu iki model özetlenmiştir.

### 2.2.1. ELS Modeli

Roman'ın (1955) yüksek hızlı yıldızlar kataloğundaki cisimlerin fotometrik ve kinematik parametrelerini analiz etmesiyle, bu yıldızların morötesi artığına bağlı olarak uzay hızlarının monoton olarak arttığını bulması Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (ELS; 1962) çalışmasının motivasyon kaynağı olmuştur. Bu nedenle ELS (1962), uzay hızı vektörleri bilinen 221 anakol yıldızının yörünge parametrelerini tayin ederek yıldızların morötesi artığı ($\delta(U\text{-}B)$) ile yörünge basıklığı ($e$), Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzay hızı ($W$) ve yörüngesel açısal momentumu ($h_{ELS}$) arasında bir uyumun olduğunu bulmuştur. Bu ilişkiler Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekilde içi dolu ve boş daireler sırasıyla verilerin Roman'ın (1955) iki farklı yüksek hızlı yıldız kataloğundan alındığını göstermektedir.

ELS (1962), Güneş komşuluğundaki yıldızların metal bollukları ve yörünge basıklıkları arasında güçlü bir ilişki bulmuşlardır. En yaşlı yıldızların son derece basık yörüngelerini açıklayabilmek için bu yıldızların oluştuğu zamanda Galaksinin dinamik dengede olmadığını fakat çok daha geniş homojen bir sferoitten, ilkel galaksinin, hızlı çekimsel çöküşle (~$10^8$ yıl) meydana geldiğini öne sürmüşlerdir. Bu modele göre Galaksi dinamik dengeye ulaştıktan ve dönme bakımından desteklendikten sonra metalce zengin diskte yıldız oluşumu artar; böylece metalce zengin yıldızların disk yıldızlarına benzeyen yörüngeleri açıklanmış olur. Bu senaryoya *yekpare çökme* denir. Her ne kadar ELS'nin (1962) yörünge basıklığı ve metal bolluğu arasında bulduğu ilişki hem disk hem de halo yıldızlarını içeren örnekler için deneysel olarak doğrudan elde etmiş olsalar

bile, birçok araştırmacı daha sonra halo örnekleri için bu durumun geçerliliğini sorgulamıştır.




**Şekil 2.9:** ELS'nin (1962) incelediği 221 anakol yıldızı için morötesi artığının, $|W|$ uzay hızı, yörüngesel açısal momentum ($h_{ELS}$) ve yörünge basıklığı ($e$) ile değişimi.

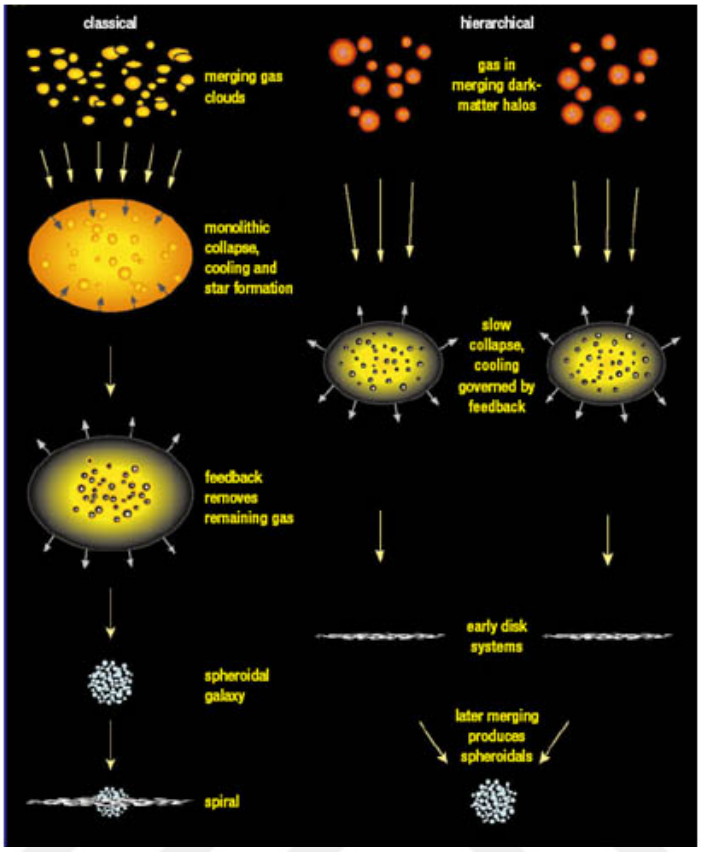
En basit yekpare çökme senaryosunda, sistemden enerji uzaklaştıracak şekilde kendi halosunu inşa eden izole ve birbiçim karanlık madde parçacıkları, baryonik madde ile çökerek sistemden enerji yayınlar. Böylece merkezde bir karanlık madde halosu meydana gelir ve sonunda baryonik diske dönüşür.

ELS'nin (1962) bu çalışması aslında Samanyolu'nun geçmişinin araştırılmasında yıldızların dinamik ve kimyasal özelliklerinin ne kadar önemli olduğunu vurgulayan bir çalışmadır ki yıllar sonra bu iki farklı parametre uzayının birleşiminden kemo-dinamik modelleme yöntemleri geliştirilecektir. Bir yıldızın kimyasal yapısı, oluştuğu yer ve zamandaki yıldızlararası ortamın kimyasının izlerini taşırken, yörüngesi yıldızın oluştuğu çevre ve devam eden evrimi esnasında Galaksinin çekimsel alanındaki ardarda meydana gelen dalgalanmalardan etkilenir. Burada yıldızın oluşabileceği çevre olarak Galaksi merkezi etrafında çember yörüngede dolanan gaz, yığışmakta olan gaz ve bir uydunun gaz diskinin içerisinde olabileceği varsayılırken, Galaktik çekim alanındaki dalgalanmaların olası sebepleri arasında molekül bulutları, spiral yapı, uzun çubuk, halo alt-yapıları vb. etkiler dikkate alınmalıdır. Bu nedenle yıldızların kimyası ve kinematiği arasındaki ilişkiler, nükleosentez ve dinamik evrimin birlikte nasıl değiştiklerinin göstergeleridir (Kordopatis ve diğ. 2015b).

### 2.2.2. SZ Modeli

Bir ilkel galaksi halosunun yekpare çöküşünün hızlı oluşu Searle ve Zinn (SZ; 1978) tarafından sorgulanmıştır. SZ modeli (1978) dış halodaki küresel kümelerin dağılımında herhangi bir bolluk gradyenti olmadığını fakat yaşta önemli bir saçılma olduğunu bulmuşlardır. Çalışmalarında ulaşılan en önemli sonuç olan bolluk gradyentinin bulunmaması, hızlı serbest düşme evresinde Galaksinin çökerken küme oluşumu ile uyumlu olsa da, bolluk ve yaş dağılımlarını yekpare çökme modeliyle uyumlu olarak üretmek mümkün değildir (Klement, 2008).

Bu yüzden SZ (1978) modelinde yavaş ($3\times10^9$ yıl) ve daha karmaşık bir sürecin meydana gelerek Samanyolu galaksisinin yavaş yavaş çok sayıda küçük ilkel galaktik parçaların birleşmesiyle oluştuğu önerilmiştir. Buna *bottom-up senaryosu* denir çünkü galaksiler daha küçük parçaların üst üste binmesiyle oluşurlar. Samanyolu gibi disk galaksilerinin nasıl oluştuklarının anlaşılmasında kozmolojik prensipler ve karanlık maddenin doğası ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Şekil 2.10'da ELS (klasik model) ve SZ (hiyerarşik model) Galaksi oluşum senaryolarının şematik gösterimi verilmiştir.




**Şekil 2.10:** Samanyolu galaksisinin oluşumu için önerilen modellerinin temsili şekilleri: *sol:* ELS (1962) ve *sağ:* SZ (1978) modelleri.

### 2.2.3. Soğuk Karanlık Madde Paradigması (ΛCDM)

Karanlık madde, Evrendeki en baskın madde formudur ve çekimsel çökme boyunca galaksi oluşumunda önemli bir rolü vardır (Press ve Schechter, 1974; White ve Rees, 1978). Kozmolojide soğuk karanlık madde (*cold dark matter*; CDM), parçacıkların rastgele hızlarının ışık hızıyla kıyaslanabilir olduğu bir çeşit karanlık madde formudur. Karanlık maddenin bu formu Evrenin ilk zamanlarındaki düzgün dağılımından bugün gördüğümüz gibi galaksilerden, galaksi kümelerinden oluşan yapıya nasıl dönüştüğünün anlaşılması için kullanılmıştır.

CDM yaklaşımı içeren modeller, günümüzdeki galaksilerin erken evrende büyük patlamadan sonra varolan küçük yoğunluk dalgalanmalarının çekimsel çöküşü esnasında oluşabileceğini gösterirler. Kozmik maddenin ortalama yoğunluğu Evren genişledikçe azalırken, belirli büyüklükteki bazı yoğunluk artışlarının olduğu yerler kendi çekimsel etkilerinin sonucu olarak daha belirginleşmiştir. Bu ilkel sistemler

çevreden daha fazla madde çekerler ve gittikçe daha da büyüyen yapılara dönüşerek bir zamanlar kabaca birbiçim dağılmış olan maddedeki topaklanmayı arttırırlar. Hiyerarşik senaryodaki bu birleşme ağaçlarından uzayan parçalar günümüzdeki galaksilerdir (Katz, 1992; Cole ve diğ. 1994; Mo ve diğ. 1998; Steinmetz ve Navarro, 1999; Bekki ve Chiba, 2001; Steinmetz ve Navarro, 2002). Bu simülasyonlarda yıldızların uzay ve kinematik dağılımları yeterince yüksek çözünürlükte olmadığından, farklı galaksi bileşenlerinin oluşumu ve özelliklerini kabaca açıklayabilirler (Klement ve diğ. 2008). Modeller Evrenin enerji yoğunluğunda baskın olan enerjinin karanlık enerji olduğunu ve bunun kozmolojik sabit, Λ, gibi davrandığı ve Evrenin ivmelenerek genişlemesini açıkladığını varsayar. Buradan öngörülen "düz evrende" karanlık enerjiye atfedilen enerji yoğunluğu $\Omega_{\Lambda}$~0.7'dir. Geriye kalan enerji yoğunluğu baryonik madde ($\Omega_b$~0.07) ve karanlık maddeden ($\Omega_{dm}$~0.23) ibarettir. Soğuk karanlık maddenin dağılımındaki dalgalanmalardan, baryonik maddenin çökerek Evrendeki yapıların oluştuğu karanlık madde haloları oluşur. Hiyerarşik kümelenme disk galaksilerinin oluşurken küçük cüce-benzeri galaksilerle ciddi birleşme ve yığışma süreçlerine maruz kaldıklarını öngörmektedir. Bu cüce-benzeri galaksilerin de erken evrendeki yerelleşmiş aşırı yoğun bölgelerin çökmesiyle oluştukları öngörülmüştür (Ruchti, 2010). CDM kozmolojik standart modelin bir parçası olmuştur: *ΛCDM güç kanunu modeli*. Bu model kozmik mikrodalga arkaalan ışınımını (Spergel ve diğ. 2003; 2007), galaksilerin büyük ölçekli dağılımlarını (Springel ve diğ. 2005), süpernova gözlemlerini (Riess ve diğ. 1998; Perlmutter ve diğ. 1999) ve kümelerdeki baryon kesri gözlemlerini tanımlayabilen bir modeldir. Bu simülasyonlardan elde edilen en temel sonuç şudur: Kalın disk hiyerarşik birleşmenin erken evresi boyunca yığışan gazdan oluşurken, ince disk büyük birleşme süreçleri sona erdikten sonraki sakin evrede oluşur.

Galaksimizin en baskın bileşeni disktir. Disk, yarıçapı 100 kpc'e kadar uzanan bir küre içerisindeki baryonların çoğunluğunu içerir. Bu yüzden son derece tipik bir galaksi olan Samanyolu'nun ΛCDM paradigmasına göre oluşumunun anlaşılmasında, Galaktik disk yapısının ve işleyişinin bilinmesi gerekir. Spitzer ve Schwarzschild (1953), Pagel ve Patchett (1975) ve Matteucci ve Francois'in (1989) çalışmalarına göre çember yörüngede dolanan yıldızlardan oluşan ve merkezsel kuvvetle desteklenen bir diskin üzerine soğuk gazın yığışması gerektiği ortaya konmuştur. Bu süreç bir de ölen yıldızlar ile birleşince şu senaryo ortaya çıkar: Ölen yıldızlar, henüz yıldız oluşumu başlamamış

olan yıldızlararası gazı metalce zenginleştirirler ve Galaksinin çekimsel alanındaki dalgalanmalar da çember yörüngede dolanan yıldızların Galaksi düzlemi üzerinde daha basık yörüngelerde hareket etmelerine neden olur.

Galaksimizdeki yıldızların kimyasal bolluk dağılımları kullanılarak Galaksimizin oluşum senaryolarına sınırlamalar getirilir. Kimyasal elementlerin dağılımı galaksi oluşumu incelenirken iyi bir göstergedir; özellikle F, G, K tayf türlerindeki anakol yıldızlarının atmosferleri hemen hemen tüm yaşamları boyunca çok büyük değişim geçirmezken, bu yıldızların uzaysal dağılımları ve kinematik özellikleri çeşitli etkilere maruz kalarak değişir. Yıldızların metal bollukları diske inen ve diskten uzaklaşan gaz akıntılarına ve yaşlı popülasyonların ortamı metalce zenginleştirmesine karmaşık bir şekilde bağlıdır. Önemli bir özellik ise elementlerin bolluk oranlarından kimyasal zenginleşmenin hızının hesaplanabilmesidir. Örneğin, α-elementleri bakımından hızlı zenginleşme kısa zaman ölçeğinde meydana gelen SN Tip II ile ilişkiliyken, demirce zenginleşme oldukça uzun bir zaman gecikmesiyle meydana gelen SN Tip Ia ile gerçekleşir. Bu nedenle yıldız popülasyonlarının element bollukları düşmekte olan gaza ve yıldız oluşum geçmişine bağlıdır. Bunun sonucu olarak farklı yıldız oluşum geçmişine sahip iki ayrı konumda kimyasal bolluklar ve akabinde metal bolluğu gradyentleri farklı olacaktır. Samanyolu'ndaki yıldızların gözlemleri, Galaksi diskinin çok sayıda kimyasal ve kinematik özelliklerinin keşfine yol açmıştır. Güneş komşuluğundaki yıldızların metal bolluğu dağılım fonksiyonları incelenerek kalın disk (Yoshii, 1982; Gilmore ve Reid 1983), metal bolluğu gradyentleri (örneğin; Hartkopf ve Yoss 1982; Cheng ve diğ. 2012; Bilir ve diğ, 2012a; Anders ve diğ. 2014; Hayden ve diğ. 2014; Schlesinger ve diğ. 2014; Plevne ve diğ. 2015), ve G-cücesi problemi (van den Bergh 1962; Pagel ve Patchett, 1975) gibi konuların üzerine gidilmiştir. Önceki dönemlerde araştırmacılar Güneş komşuluğundaki galaksi diskinde Sefeid değişenleri, HII bölgeleri gibi çeşitli nesneleri kullanarak dar bir yaş aralığında yalnızca birkaç yüz cismi hassas bir şekilde analiz edebilmişlerdir.

## 2.3. GALAKSİMİZİN KİMYASAL EVRİMİ

Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi Galaksimizdeki yıldızlar ve yıldızlararası gaz, bulundukları çevre ve oluşum geçmişlerine göre şekillenen kimyasal element bollukları

bakımından zengin bir çeşitlilik gösterir. Galaktik Kimyasal Evrim (GCE; Galactic Chemical Evolution) modelleri de Evrenin erken zamanları hakkında bilgiler içeren kimyasal element bolluk gözlemlerini kullanarak galaksi oluşum mekanizmalarını sınar ve yıldız sistemlerinin nasıl oluştuğuna dair fikir sahibi olmamızı sağlar.

Galaksilerin kimyasal evrim modelleri şu gerçekleri dikkate alır:

- Gaz ve metallerin yıldızları oluşturmak üzere çöktüğü,
- Yeni elementlerin bu yıldızlar içerisinde sentezlendiği,
- Yıldızlar kütle kaybedip, öldükten sonra metalce zenginleşmiş gazın ortama bırakıldığı.

Fakat bu modeller yapılırken dikkate alınması gereken bazı ek unsurlar vardır. Örneğin, dış sistemden (bir uydu galaksi vb.) devamlı olarak gaz yığılmasının etkileri. En gelişmiş modeller kendisiyle tutarlı olacak şekilde sistemin dinamiğini dikkate alarak oluşturulurken, bu modeller yarı ya da tam kozmolojik ölçekte tasarlanabilir.

Büyük Patlama teorisine göre bu patlamadan sonraki ilk üç dakika içerisinde meydana gelen nükleosentez sonucu Evrendeki ilk elementler (kısaltmaları ve yüzdeleri) oluşmuştur: H (0.75), $He^4$ (0.25), $He^3(10^{-5})$, $Li^7$ $(10^{-9})$, $D(10^{-4})$. Evrenimizin oluşumundan yaklaşık 300,000 yıl sonra, hidrojenin yeniden birleşmesiyle atomlar fotonları serbest bırakır. Bu evre kozmolojide hidrojenin rekombinasyon epoğu olarak bilinir. Böylelikle, aydınlanan Evrenimiz yaklaşık bir milyar yaşına gelene kadar yıldız oluşturacak ve bu süreçte büyük kütleli, metalce fakir Popülasyon III yıldızları hızlı ve şiddetli geçen ömürleriyle Evreni oksijen başta olmak üzere alfa elementleri ve demir bakımından zenginleştireceklerdir. Periyodik tabloda demir elementine kadar olan tüm elementler yıldızların merkezlerinde meydana gelen füzyon reaksiyonlarıyla oluşur, ancak demirden sonraki elementlere sıra geldiğinde nükleer reaksiyonların yönü değişir ve yıldız bu elementleri füzyon ile üretemez. Geriye kalan elementler özellikle büyük kütleli tek yıldızların merkezlerinde tekilliğin oluşması esnasında meydana gelen çekirdek çökmeli süpernova patlaması esnasında açığa çıkan çok büyük miktardaki enerjiyle yıldızın uzaya savrulan kabuğunda oluşurlar. Evrende yıldızlar çok geniş bir kütle aralığında oluşabilir, bu da onların yaşantılarının ve yıldızlararası ortama olan katkılarının farklı farklı olmasına sebep olur. Yıldızların yine kütlelerine göre sakin

(beyaz cüce oluşumu) ile çok şiddetli (süpernova) arasında değişen sonları vardır. Süpernovalar çok çeşitli türlerde olabilir, bu durum büyük kütleli ($M \geq 10\ M_{\odot}$) tek yıldızlar için çekirdek çökmeli Tip II, Ib, Ic gibi süpernovalar ile olurken, çift yıldız sistemlerinde Roche lobunu doldurmuş bileşen yıldızdan baş yıldızın etrafındaki yığışma diskine akan maddelerin termonükleer patlamasıyla Tip Ia süpernovaları meydana gelir. Büyük kütleli tek yıldızların bahsi geçen süpernova patlamalarıyla Evreni $\alpha$-elementleri ve bir miktar demir elementiyle zenginleştirmesi rölatif olarak hızlı olurken (~$10^7$ yıl), bir çift sistemin Tip Ia süpernovasına dönüşerek yıldızlararası ortamı demirce zenginleştirmesi çok uzun zaman (~$10^9$ yıl) gerektirmektedir. Evren yaklaşık bir milyar yaşında olduğunda varolan maddeler ilk galaksileri oluştururlar ve her bir galaksinin, oluşan sonraki yıldız nesilleriyle, uzun zaman aralıklarında değişimlere uğrayan kimyasal evrim hikâyesi başlar.

### 2.3.1. Galaktik Kimyasal Evrim Modelleri

GCE modelleri oluşturulurken modelin bir tabana ihtiyacı olduğundan bir takım fonksiyonlar tanımlanmalıdır. Bunlar şöyle sıralanabilir: *başlangıç koşulları, yıldızların doğum oranı fonksiyonu, yıldız nükleosentezi, gaz akışları*.

Başlangıç koşulları, açık ya da kapalı bir GCE modeli tasarlanıp tasarlanmadığına karar verilen aşamadır. Bu, başlangıçtaki ilkel gazın zamanla evrimleşmediği ya da kimyasal yapının zenginleştiği varsayımlarının yapılması olarak yorumlanabilir.

Yıldızların doğum oranı fonksiyonu ($B(m,t)$), aslında yıldız oluşum oranı (SFR) ile başlangıç kütle fonksiyonlarının (IMF) çarpımından elde edilen matematiksel bir formdur:

$$B(m,t) = \Psi(t).\phi(m) \tag{2.1}$$

SFR, birim zamanda kaç Güneş kütlesi kadar madde yıldıza dönüşüyor sorusunu yanıtlarken yalnızca zamana bağlıdır ($\psi(t)$). IMF, yıldızların doğduğu molekül bulutundaki kütlenin dağılımını belirler ve bu yüzden yalnızca kütleye bağlıdır ($\phi(m)$). Bu iki fonksiyonun farklı parametrelere bağlı olarak değişimi de yapılan en büyük varsayımlardan biridir. SFR'nin en yaygın kullanılan şekli Schmidt (1959) kanunu

formundadır. SFR, gaz yoğunluğunu $k$ kuvvetiyle orantılı vermektedir. Kennicutt (1998), disk galaksilerinde $k$ için 1.4±0.15 değerini önermiştir. Bu fonksiyon hesaplanırken gaz sıcaklığı, akmazlık (ya da vizkozite) ve manyetik alan unsurları dikkate alınmamıştır: $\psi(t) = \upsilon\sigma_{gaz}^{k}$. Bu ifadede $\sigma_{gaz}^{k}$, gazın yüzey kütle yoğunluğu ve $\upsilon$ birim gaz kütlesindeki SFR'dir. IMF, bir (*m, m+dm)* kütle aralığında doğan yıldızların sayısını verir. IMF'in gözlemsel olarak Güneş civarı için ölçülmesi mümkündür; bunun için yıldızların parlaklıklarının fonksiyonu olarak dikkate alınması gerekir. Fakat, Güneş civarının ötesi için bu ölçüm çok kolay değildir. Galaksimizde merkezden 4 kpc mesafede bulunan bir halka içerisindeki yıldız oluşumunun en yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. SFR'ye pek çok fiziksel süreç katkıda bulunur: *toplam yüzey yoğunluğu, gaz yoğunluğu, gaz basıncı, sıcaklık, kimyasal yapı, Galaktik dönmenin etkisi, spiral şoklar, manyetik alanlar, bulutlar arasında meydana gelen çarpışmalar* (Matteucci, 2012).

Yıldız nükleosentezi, farklı kütledeki yıldızların ürettiği kimyasal elementlerin kütlesi olarak tanımlanabilir. Yıldızların açığa çıkardığı maddeler yeni oluşmuş elementler olabileceği gibi oluşumu esnasında yıldızın yapısında bulunan elementlerden de kaynaklanabilir ve bunlar hiçbir işleme maruz kalmaksızın yıldızlararası ortama geri bırakılabilirler. Farklı oluşum yerlerinde meydana gelen farklı kütleli yıldızlardan yıldızlararası ortama geri kazandırılan element miktarı hem yıldız kütlesinin hem de yıldızın oluştuğu kaynağın metal içeriğinin bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Açığa çıkması beklenen tüm nükleosentez ürünleri yıldızlarda meydana geldiği düşünülen tüm ana nükleer reaksiyonlar dikkate alınarak yapılan hesaplamalarla belirlenir. Fakat IMF'ye katkıda bulunan çok fazla unsur vardır: yıldızların içerisinde meydana gelen karışımlar, kütle kaybı, yıldızların patlama mekanizmaları, nükleer reaksiyon oranları, yakın çift sistemlerin evrimi, başlangıçtaki kimyasal yapı gibi. Yine de bu liste, genel olarak bakıldığında *başlangıç kütlesi, kimyasal yapı, yıldızın yaşantısı boyunca kaybettiği kütle ve yakın çift sistemlerin etkilerine* indirgenebilir.

Tablo 2.6'da Evren'in başlangıçtaki element oranlarının zamanla değişimine sebep olacak yeni elementlerin hangi tür yıldızlarda üretildiğinin, bu yıldızların teorik olarak

bulundukları kütle aralıklarının ve demirden daha ağır elementlerin ana üretilme mekanizması olan yıldız sonlarının bir listesi verilmiştir.

**Tablo 2.6** Elementler ve üretildikleri yıldız türleri.

| Yıldız Türü | Kütle | Üretilen Element | Yıldızların Sonları |
|---|---|---|---|
| Kahverengi cüce | $M/M_{\odot} \leq 0.1$ | H yakamayan yıldızlar olduklarından yalnızca gazı hapsederler. | - |
| Düşük ve orta kütleli | $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 8$ | $^{4}$He, $^{12}$C, $^{14}$N, CNO izotopları *s-işlevi* elementleri (A>90) | Gezegenimsi bulutsu |
| Büyük kütleli | $8 \leq M/M_{\odot} \leq 40$ | Alfa, demir-pik, *s- işlevi* (A<90) ve *r- işlevi* elementleri | SN Tip II<br>SN Tip Ib/c |
| Çok büyük kütleli | $M/M_{\odot} > 100$ | $^{8}$O | SN Tip Ic |
| Çift yıldız sistemleri | - | $^{26}$Fe | SN Tip Ia |
| Çift nötron yıldızı sistemleri | - | *r-işlevi* elementleri | GIP/HN |

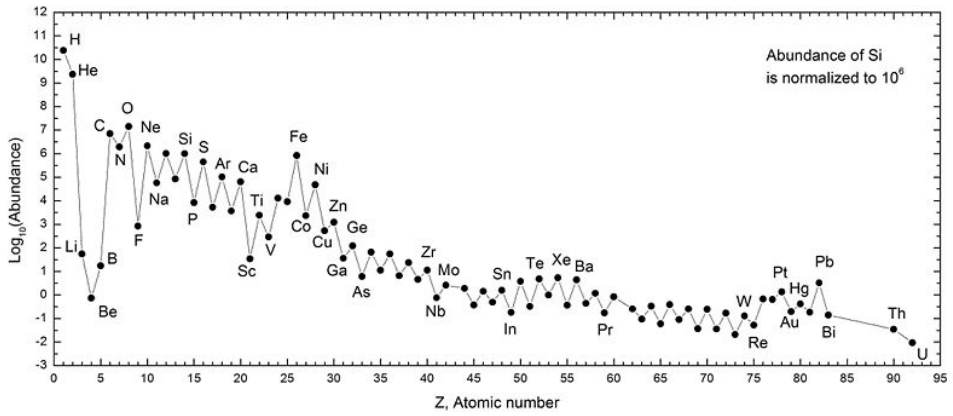
Yıldızların detaylı element bolluğu analizleri ilk yıldız oluşum dönemi ve zenginleşme olaylarına dair zaman ölçeklerini barındıran eşsiz izleri taşırlar. Bu izlerle Galaksimizin kimyasal geçmişini ortaya koymak için önemli detaylar elde edilebilir. Samanyolu diskinin, ilk önce yoğun olarak, neredeyse durgun sayılabilecek yanma reaksiyonları geçiren büyük kütleli ve dolayısıyla kısa ömürlü yıldızların SN Tip II olarak patlamalarıyla metalce zenginleştiği düşünülmektedir. Yıldızlararası ortama yakın bir çift yıldız sisteminin evrimleşerek SN Tip Ia'lar ile katkı yapmaları daha uzun sürer. Bu nedenle Galaksimizde Güneş civarındaki yıldızlarla yapılan çalışmalar SN Tip Ia'larla zenginleşme başladıktan sonra çok sayıda düşük kütleli ve düşük $[\alpha/\mathrm{Fe}]$ bolluklu yeni yıldızlar olduğunu göstermiştir. Yıldızlarda üretilen elementler farklı süreçlerle meydana gelir:

*$\alpha$-elementleri*, aslında sentezlenme süreci esnasında helyumun yani $\alpha$ çekirdeğinin reaksiyonlarda katalizör olarak kullanılmasıyla oluşan yeni elementleri ifade eder. Bunlar aynı zamanda hafif, çift atom numaralı elementlerdir.

*Nötron Yakalama Elementleri,* beta bozunumu süresine göre iki türe ayrılırlar. Birincisi, hızlı yakalamayı temsil eden *r-işlevi*dir. *r*-işlevi birden fazla nötronun hızlıca yakalanmasıyla hidrojence zengin kararsız çekirdekler üretmesiyle oluşur; söz konusu çekirdekler daha sonra beta bozunumu geçirirler. İkincisi ise yavaş yakalamayı temsil eden *s-işlevi*dir. *s*-işlevi tek bir nötronun yakalanarak kararlı bir çekirdek oluşturması ya da başka bir nötron daha yakalamadan önce kararlı bir çekirdeğe dönüşmek için beta

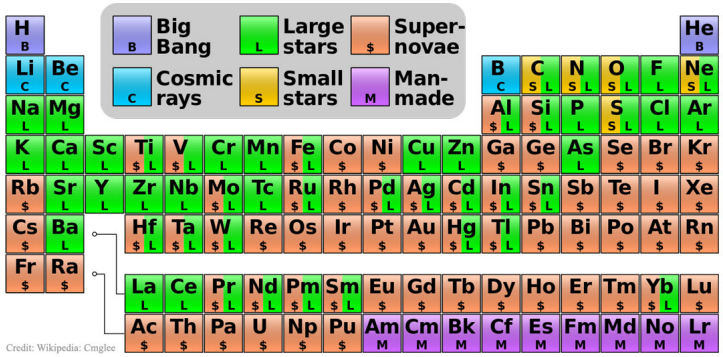
bozunumu(ları) geçirmesi anlamına gelir. Bu işlev, birincil olarak kabuk yanması yapan orta ve düşük kütleli asimptotik dev kolundaki yıldızlarda meydana gelir. *s*-işlevi elementlerinin büyük bir çoğunluğu $\alpha$ ve *r*-işlevi elementlerinden çok daha sonra üretilmişlerdir.

*Demir-pik elementleri,* Şekil 2.11'de demir (Fe) elementinin tepe yaptığı bölgede, demirin yakınında yer alan element grubudur (V, Cr, Mn, Fe, Co ve Ni). Bu elementler SN Tip Ia'larda açığa çıkan elementler olup, çekirdek çökmeli SN Tip II'lerde O, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca ve Ti gibi $\alpha$-elementleri ve bir miktar demir pik elementi oluşur.




**Şekil 2.11:** Logaritmik element bolluğunun atom numarasına göre değişimi.

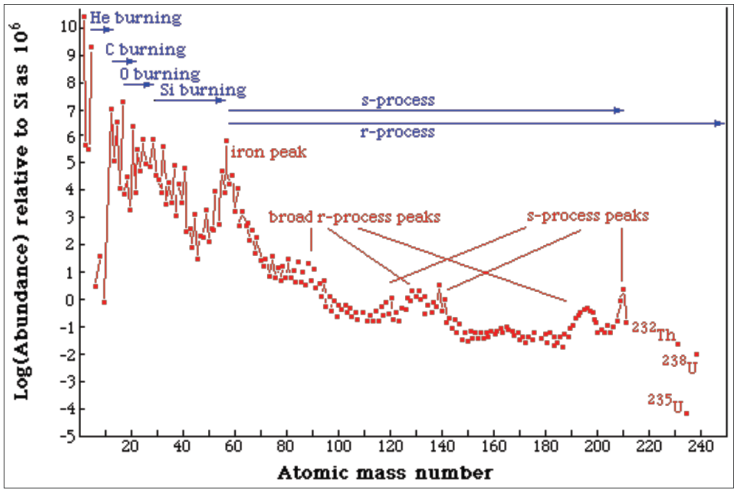
Periyodik tablodaki tüm elementlerin atomik kütle numarasına göre logaritmik bolluklarının dağılımı Şekil 2.11 ve 2.13'te verilirken, bu elementlerin yukarıda bahsedilen hangi işlevlerle sentezlendiği de Şekil 2.13'te gösterilmiştir.




**Şekil 2.12:** Elementlerin periyodik tablosu. Farklı renkler elementlerin sentezlenme süreçlerini temsil etmektedir[4].

[4] http://apod.nasa.gov/apod/ap160125.html

Şekil 2.12'de Büyük Patlama esnasında üretilen elementler mor (B), kozmik ışınlarla sentezlenen elementler mavi (C), büyük (L) ve küçük (S) kütleli yıldızlarda üretilen elementler sırasıyla yeşil ve turuncu, süpernova patlaması esnasında üretilen elementler kırmızı renk ($) ve bilimadamların laboratuvar ortamına ürettiği elementler pembe renkle (M) gösterilmiştir.



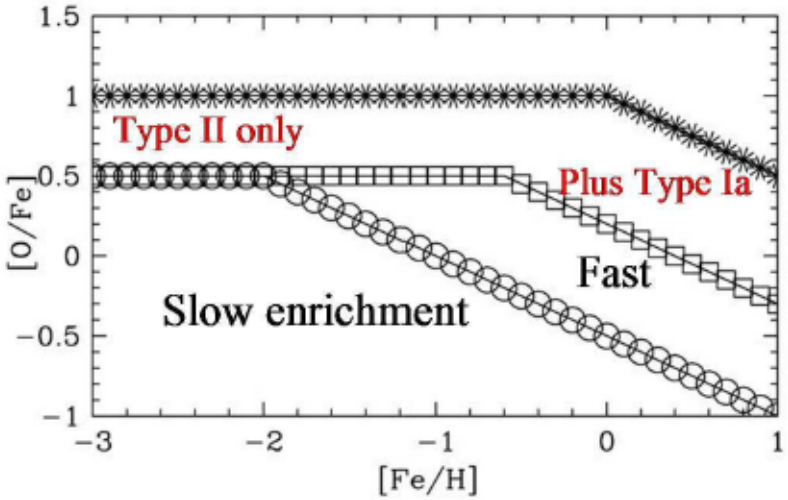

**Şekil 2.13:** Artan kütle numarasıyla birlikte her bir elementin üretildiği süreçler[5].

Yıldızlarda elementlerin üretimi ardışık olarak yıldızın kütlesi büyüdükçe gelişir. Bu şekilde meydana gelen reaksiyonlar yanma olarak nitelendirilirler ve bu yanma reaksiyonları hidrojen yanmasından, silisyum yanmasına kadar devam eder. Daha sonra yıldızın asimptotik kol ve akabinde süpernova patlaması esnasında ürettikleri nötron yakalama ve demir-pik elementleri gelir. Elementlerin üretildikleri bu süreçler Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

Yıldızlardaki kimyasal bolluk bilgilerini kullanarak Galaksimizin hangi oluşum aşamasında ne tür zenginleşmeler yaşadığını bu bolluk analizlerinden üretebileceği gibi α-elementlerinin demire ve demirin hidrojene oranlanmasıyla yıldız oluşum patlamasından sonra yıldızların ne zaman oluştuğu ve başlangıçtaki kütlesinin ne kadar olduğuna dair bilgiler de elde edilebilir. Bu duruma bir örnek teşkil etmesi açısından Şekil 2.14'te, Güneş civarındaki yıldızların oksijen bolluğunun demir bolluğuna oranı ([O/Fe]) ile (sabit bir gecikme zamanında) farklı yıldız oluşum bölgelerindeki yıldızların metal bollukları ([Fe/H]) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekilde SN Tip

[5] http://www.sheffield.ac.uk/polopoly_fs/1.464676!/file/Topic5.pdf

IIlerin katkısı iç içe geçen çemberlerle, SN Tip Ia'ların katkısı ise iç içe geçen dörtgenlerle gösterilmiştir. Her iki bileşenin ortak katkısı ise içi dolu yıldızlarla temsil edilmiştir.




**Şekil 2.14:** [Fe/H]-[O/Fe] diyagramı (Wyse ve Gilmore, 1993).

SN Tip II'ler oluşumları itibariyle kısa ömürlü yıldızlarca üretildiklerinden kısa zaman ölçeklerinde aktif olurken (~$10^7$ yıl), SN Tip Ia'lar daha uzun zaman ölçeklerinde (~$10^9$ yıl) aktif olurlar. Bu nedenle şekilde SN Tip II'lerin demirce zenginleşmeye katkısı yavaş, SN Tip Ia'nın katkısı ise hızlıdır. SN Tip Ia zenginleşmeleri baskınlaştıkça, metal bolluğu bölgedeki yıldız oluşumu hakkında bilgi verir. Galaksimizde bulunan elementlerin bu gibi diyagramlardaki genel eğilimleri ile uydu galaksilerdeki benzer eğilimler kıyaslanarak geçmişteki muhtemel yığışma olaylarının incelenmesi sağlanabilir (Ruchti, 2010).

Metal bolluğu açısından yıldızlar incelendiğinde düşük metal bolluklu yıldızların kütle kayıpları da küçüktür. Birincil elementlerin fırlatılan maddeler içerisindeki dağılımı yıldızın hidrostatik evrimiyle ilişkilidir. Fakat bu dağılım yıldızın evriminin sonlarında meydana gelen derin tabaklar ile karışımların oluştuğu patlamalı nükleosentez esnasında değişebilir. C, He ve O'nun üretimi her ne kadar yıldızın başlangıçtaki kimyasal yapısına bağlı olmasa da özellikle büyük kütleli yıldızlarda oluşum aşamasında yıldız metalce ne kadar zenginse, kütle kaybı da o kadar artacaktır. N ve Ne gibi ikincil elementlerin üretimi, yıldızların başlangıçtaki kimyasal bolluğuna bağlıdır. Tek atom numaralı Na ve Al gibi elementlerin üretimi nötron artığına ve dolayısıyla kimyasal

yapıya bağlıdır. Metalce zengin ($Z_{el} \geq 0.02$) ve başlangıç kütlesi M/$M_{\odot}$=35'den büyük olan yıldızlar evrimleri boyunca şiddetli kütle kayıpları yaşarlar. Yaşantılarının son aşamasında yıldızın çekirdeği çökmeden önce meydana gelen yıldız rüzgârları yoluyla önemli miktarda He ve C kaybederler. Bu yüzden son aşamada genellikle He ya da C, O çekirdekleri kalır ki burada kütle az olur ve fırlatılacak olan katmanlarda da çok az ağır element kalır. Başlangıç kütlesi $M/M_{\odot}$ > 3-5 olan yıldızlar merkezlerindeki yeni yakıt yakılana kadar "tırmanma" denilen derin karışım dönemlerinden geçerler. Kırmızı dev kolundayken bu yıldızlarda dış konvektif bölge $^{12}$C'nin $^{13}$C ve $^{14}$N'ye dönüştüğü bölgeye kadar ulaşır. Yıldız asimptotik dev koluna (AGB) geldiğinde kabukta He yanması başladıktan sonra konvektif zarf He çekirdeğe kadar ulaşarak yüzeye He ve N taşır. Bu nedenle yıldızın yüzeyindeki N ve He bollukları artarken, C ve O bollukları azalmış olur. AGB evriminin sonlarında H ve He yanması olan kabuklar arasında bir yanma nöbetleşmesi meydana gelir; yani sırayla yanarlar. Bu durum literatüre "ısısal atım" olarak geçmiştir. Isısal atımlar He, C ve *s*-işlevi elementlerinin yıldızın yüzeyine taşınmasını sağlar. Ayrıca H-yanması olan kabukta CNO reaksiyonlarıyla $^{12}$C'nin bir kısmı $^{14}$N'ye dönüşür. Bu esnada yıldız, rüzgârlarla sürekli olarak kütle kaybeder. Rüzgârlar yıldız genişleyip soğudukça artar ve sonunda yıldız toplam kütlesinin %50'sinden fazlasını kaybedebilir. Yıldızın bir yıldız olarak ömrünün bu son aşamasındaki rüzgâr ve uzaya saçılan maddeler Galaktik kimyasal evrimi etkiler (Mushotzky, 2011).

*Gaz akışları,* dikey ve yatay doğrultularda olabilir. Dikey akışlar Galaksi diskine dik doğrultuda içe ve dışa, yatay akışlar ise Galaksi düzlemine göre radyal doğrultuda olan akışlardır. İçe doğru olan akışlar sabit oranda ya da zamanla eksponansiyel azalma varsayımıyla gerçekleşen gaz yığışmaları olarak değerlendirilirken, bu olayın asıl etkisi metal içeriğini azaltmasıdır. Dışa doğru gaz akışları aynı zamanda Galaktik rüzgârlar olarak yorumlanabilir. Bu olayın etkisi ise yıldız oluşumu için galaksinin içerisindeki gaz rezervlerini azaltarak metal yoğunluğunun azalması olarak yorumlanabilir (Matteucci, 2012)

GCE modellerinde de yapılan bir takım özel varsayımlar vardır: IRA, IMA, DPA. *Anlık Geri-dönüşüm Yaklaşımı* anlamına gelen IRA varsayımında kütlesi 1 $M_{\odot}$'ten daha büyük yıldızların hemen öldüğü, fakat 1 $M_{\odot}$'ten daha küçük olan yıldızların ise sonsuza

kadar yaşadığı varsayılır. Bu yaklaşım GCE modellerinin analitik olarak çözülmesini mümkün kılsa da C, N ve Fe gibi uzun zaman ölçeğinde üretilen elementlerin katkıları açısından yetersizdir. *Anlık Karışım Yaklaşımı* anlamına gelen IMA varsayımında ise yıldızların ölümü esnasında uzaya fırlatılan maddelerin yıldızlararası ortama anında karıştığı dikkate alınır. *Gecikmiş Üretim Yaklaşımı* olan DPA'da Fe gibi elementler yıldız oluşumundan sonra tek seferde ortama bırakılır ve hemen döngüye girer (Matteucci, 2012).

### 2.3.2. Kutu Modelleri

Kutu modelleri tek boyutlu analitik modellerdir. En ilkel GCE modellerini temsil ederler.

#### 2.3.2.1. Kapalı Kutu Modeli

McWilliam'ın (1997) önerdiği bu modelin temel varsayımı Galaktik evrimin kapalı bir sistemde meydana geldiğidir. Yıldızlararası gazdan çok sayıda yıldız nesli doğar ve her bir nesilde gazın bir kısmı metale dönüşür ve sonunda tekrar ortama geri bırakılır. Küçük kütleli yıldızların ömürleri uzun olduğundan bu tür yıldızlar oluştuğunda gaz hapsolur ve artık Galaktik evrime etki etmez. IMA varsayımı kullanılarak her bir yıldız neslinin yeni sentezlediği metallerin yıldızın bulunduğu bölgeye karıştığı varsayılır. Böylelikle bu modelde metal bolluğu daima zamanla artar ve bölge tüm zamanlarda homojen kalır. Yıldızlararası ortamdaki gazın metal bolluğu, geri bırakılan gazın kesri ve açığa çıkan metal tarafından belirlenir. Bu model Samanyolu'nun şişkin bölgesindeki dev yıldızların metal bolluğu gözlemleri ile sınanmış ve sonuçlar diğer gözlemlerle de uyuşmuştur. Fakat benzer bir analiz Galaksi diski için yapıldığında Güneş civarındaki tüm yıldızların yarısı için element bolluğunun $Z_{el} < 0.25Z_{\odot}$ olduğu bulunmuştur. Fakat Güneş civarındaki F-G anakol yıldızlarının yalnızca %2'si bu değerleri sağlamaktadır. Teori ve gözlemler arasındaki bu uyuşmazlık *G Cüce Problemi* olarak bilinir. Ayrıca model farklı bolluklardaki yıldızların karşılaştığı G cüce problemine de sahiptir. G tayf türünden yıldızların anakol ömürleri Evrenin yaşına eşit ya da daha uzun olduğundan, bu yıldızlar hala oluştukları bulutun ve bölgenin kimyasal yapısını taşıdıkları için kimyasal evrim geçmişinin kayıtlarını tutarlar.

#### 2.3.2.2. Sızıntılı Kutu Modeli

Bu modelde iç ve dış akışlar hesaplara katılır. Kapalı kutu modelinin analitik yapısına iç ve dış akışları temsil eden terimler eklenerek düzenlenen denklemlerin çözülmesiyle oluşturulur. Denklemlerde sistemin toplam kütlesi, varolan gaz kütlesine eklenen metal oranı parametrelerindeki değişimler sonucu meydana gelen en büyük değişiklik yıldızlararası ortama geri dönüşen metal oranını temsil eden parametrenin formu olur. Bu model oluşturulurken kutuya giren ve çıkan gaz akışlarının yıldız oluşum oranı ile orantılı olduğu varsayımı yapılır.

#### 2.3.2.3. Yığışan Kutu Modeli

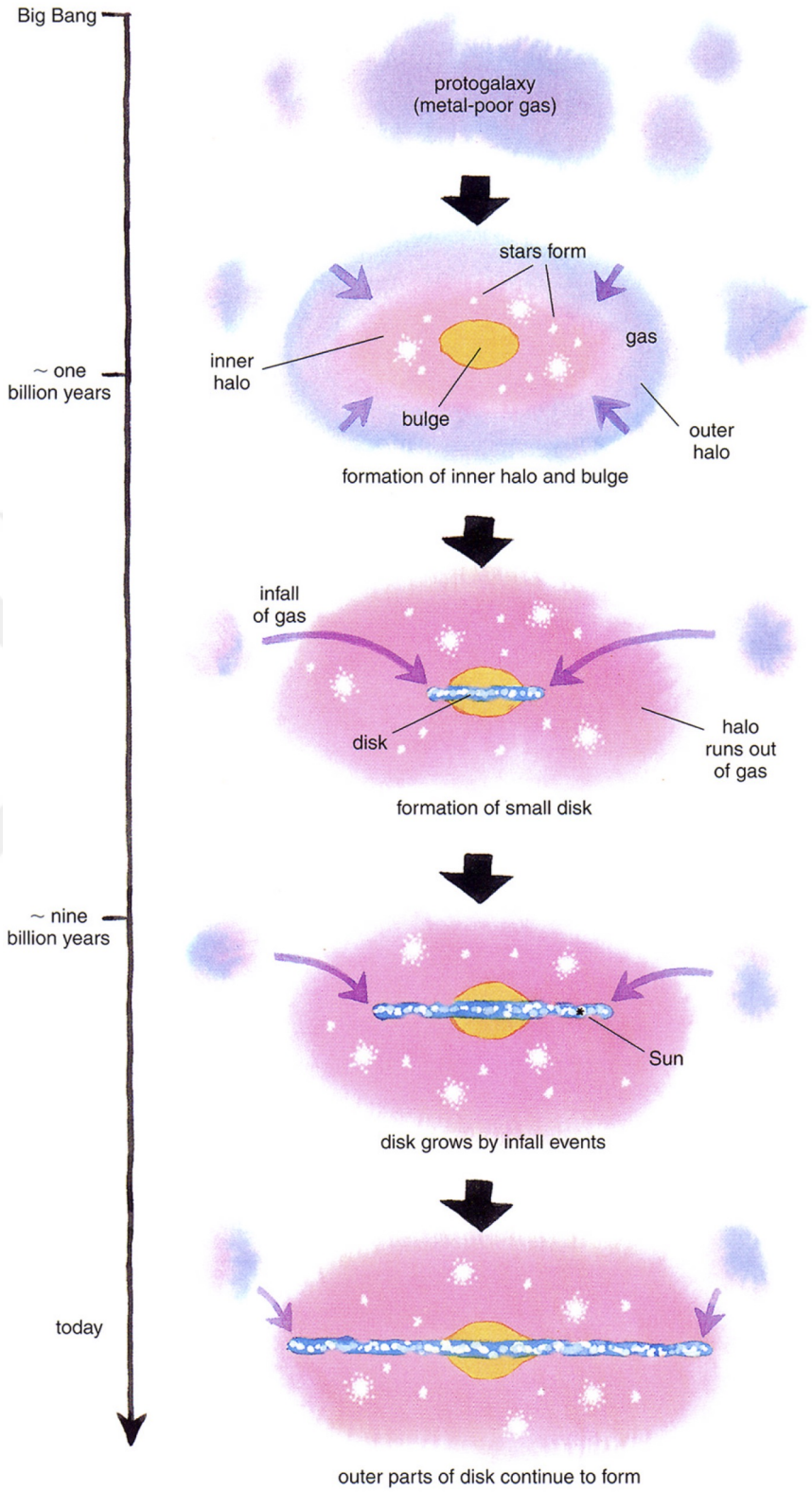
Modelde kutuya metalsiz gazın yığıştığı durum varsayılır. Bu modelin matematiksel alt yapıda yaptığı tek değişiklik kutudaki kütle korunumu ifadesidir. Kutudaki gaz kütlesinin sabit olduğu varsayımı altında en basit çözüm elde edilir. Yığışan kutu modeli gözlemlerle en uyumlu olan modeldir.

### 2.3.3. İkili Çökme Modeli

Chiappini, Matteucci ve Graton'un (1997) önerdiği bu model, Galaksimizin temel bileşenlerini oluşturan iki ana çökme dönemi olduğunu varsayar. İlk çökme esnasında halo, şişkin bölge ve kalın diskin büyük bir kısmı oluşurken, ikinci çökme ince diski oluşturur. İlk çökme esnasında halodaki yıldız oluşumu, metalce fakir ilkel buluttaki gaz yoğunluğu belirli bir eşik değere ulaşana kadar devam eder. Halodaki gazın tükenmesiyle yıldız oluşumu durur. Yıldızlardaki nükleer evrimin etkin hale gelmesiyle de büyük kütleli metalce fakir yıldızlar hızlı bir şekilde yakıtlarını tüketerek süpernova patlaması geçirirler ve yıldızlararası ortamı metalce zenginleştirirler. Halodan kaybolan bu gaz Galaksi merkezine doğru akarak birikir ve Galaksinin şişkin bölgesinin oluşumuna yol açar. Halo ve şişkin bölgenin oluşmasıyla ikinci çökme dönemi başlar ve ince diskin oluşumu tetiklenir. Bu süreçte Galaksimizin dış halosu farklı element bolluklarındaki küçük cüce galaksilerin birleşimiyle oluşumuna devam eder. Ayrıca cüce galaksilere ait büyük açısal momentumlu metalce fakir gaz akıntıları da galaksimizin ince diskine akarak, ince diskin radyal doğrultuda uzamasına neden olur. Galaksinin merkez bölgesi daha dinamik olduğundan yıldız oluşum hızı daha büyüktür ve bölge hızlı bir şekilde metalce zenginleşir. Bu da Galaksi merkezinden, Galaksi

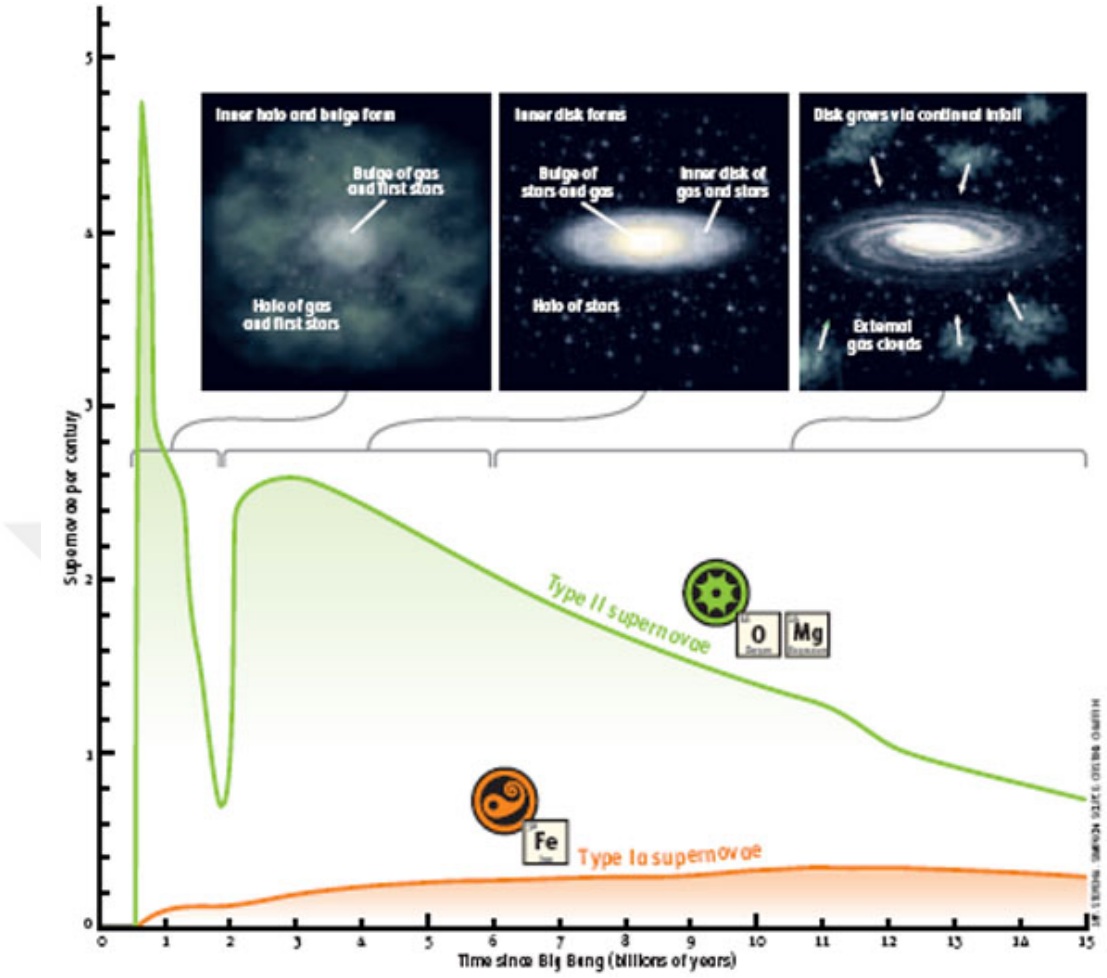
diskinin dışına doğru ilerledikçe bir radyal metal bolluğu gradyentinin oluşmasına yol açar. İkili çökme modelinin şematik açıklaması Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

Şekil 2.16'da ikili çökme modeli ile Samanyolu galaksisinin nasıl şekillendiği şematik olarak gösterilmektedir. Şeklin sol üst panelinde iç halonun ELS modelinde önerilenden daha uzun bir sürede (0.8-1 Gyr) gazın yekpare çökmesiyle oluştuğu görülmektedir. Bu ilk çökme evresinde iç halo oluşurken 0.1-0.5 Gyr sürede şişkin bölge oluşur. Bu süreçler meydana gelirken bir yandan da kalın diskin bir kısmı oluşmaya başlar. Modelde, kalın disk ve dış halo yığışarak oluşur. Orta panelde ince diskin şişkin bölge etrafında oluştuğu ikinci çökme evresi görülmektedir. İnce disk içten dışa doğru oluştuğundan diskin dış kısımlarının oluşumu çok zaman alır (~8 Gyr). Şekil 2.16'da bu paneller aynı zamanda SN Tip II ve SN Tip Ia oranlarının zaman içerisindeki değişimleriyle eşleştirilmiştir. Bu şekle göre halo ve şişkin bölgenin oluştuğu erken evrelerde SN Tip II (ya da SN Tip Ib/c) baskındır ve ortam ağırlıklı olarak $\alpha$-elementleri ve demirce zenginleşir. Oluşması daha uzun süren SN Tip Ia'lar ancak 1 Gyr'dan sonra katkı yapmaya başlar ve ortamdaki gazı kalın disk ve ince disk oluşma aşamalarında demirce zenginleştirir. SN Tip II'yi temsil eden eğrinin bir minimumdan geçmesinin nedeni yıldız oluşum oranı için belirli bir eşik değerin kabul edilmesindendir. Bunun anlamı ilk çökme aşamasında oluşan yıldızların büyük bir kısmı yaklaşık 2 Gyr sürede evrimleşip SN Tip II türü patlamalarla maddelerini yıldızlararası ortama geri kazandırmıştır. Daha sonra gazca zenginleşen ortamda yeni bir yıldız oluşum patlaması meydana gelerek ikinci ve daha yavaş süren çökme dönemi başlamıştır. Bu model gözlemsel olarak Güneş civarındaki G tayf türünden cüce yıldızların dağılımlarını elde edebilmeyi başarmıştır (Matteucci, 2008).




Şekil 2.15: İkili çökme modelinin şematik gösterimi[6].

[6] http://www.astro.caltech.edu/~george/ay20/Chiappini-MilkyWay.pdf




**Şekil 2.16:** İkili çökme modelinde SN Tip II ve Tip Ia'nın etkisi (Matteucci, 2008).

### 2.3.4. Kemo-Dinamik Modeller

Galaktik arkeolojinin asıl amacı temel Galaktik bileşenlerin oluşumu ve evriminin anlaşılmasıdır. Bunun için son derece gelişmiş kemo-dinamik modellemelere ihtiyaç duyulur. Galaksimizin oluşum ve evrimiyle ilişkili süreçleri ortaya çıkarmak için büyük ölçekli tayfsal gökyüzü tarama programlarından elde edilen kemo-kinematik bilgiler kullanılır. Model ile kemo-kinematik parametreler kıyaslanarak niceliksel öngörüler yapılır. Bunun için yıldızlara ait üç parametre hassas bir şekilde bilinmelidir: *özhareket, uzaklık ve yaş.* Modellerde diskteki asimetrik yapılar (merkezi çubuğun pertürbasyonu, spiral kollar ve düşüşteki uydu galaksiler vb.) ve dengede olmayan süreçler kendi içinde tutarlı olacak şekilde hesaplara katılır. Kemo-dinamik modeller, klasik modellerin aksine yukarıdaki bölümlerde bahsi geçen kimyasal zenginleşme ve yıldız oluşumundan etkilenmeyen, yakın zamanda geliştirilmiş hibrit bir tekniktir. Bu modellerde bir dizi

kemo-kinematik ilişki dikkate alınır. Kemo-dinamik modeller, özünde GCE modeli dikkate alınarak hazırlanan Galaksi oluşum simülasyonlarıdır. Bu hibrit modeller, kozmolojik çerçevede hazırlanan ve yarı-analitik kimyasal evrim modelini kullanırlar. Böylece disk oluşumu ve evrimi hakkında bilgi öğrenilebilir. Fakat en büyük zorluk, Samanyolu'nun bugünkü durumunu temsil eden gözlemsel değerlerle uyumlu bir simülasyon üretebilmektir (Chiappini ve diğ. 2015; Minchev, Chiappini ve Martig, 2016).

Yıldızların kimyasal bolluk ve yaşları radyal göç süreciyle bozulmayan bilgileri taşır. Fakat saf kimyasal evrim modeli, gözlemsel olarak seçilen yıldız örneğinin belirlenmesinde farklı yıldız popülasyonları tarafından karışmalar olduğu takdirde yanıltıcı sonuçlar üretebilir. Bu da kimyasal parametreler ve yaş-metal bolluğu ilişkisi, metal dağılım fonksiyonu, bolluk oranları ile metal bolluğu, radyal metal bolluğu gradyenti gibi parametreler arasındaki ilişkileri etkiler.

Kemo-dinamik simülasyonlarda radyal göç yani yıldızların oluşup doğdukları yerlerden çok uzaklara gitmesi, üzerinde çok durulan bir etkidir. Literatürde 1970'li yıllardan beri yıldızların radyal doğrultuda göç ettiklerine dair gözlemsel ipuçları bulunmaktadır. Grenon (1972, 1980), Güneş civarında metalce aşırı zengin (SMR yıldızları; [Fe/H]>+0.2 dex) ve yaşlı yıldız popülasyonu tespit etmiştir. Bu çalışma, Haywood'un (2008) GCS verilerini yeniden analiz etmesiyle çok daha geniş bir bölgede, ince diskin düşük ve yüksek metal bolluğu kuyruklarının yörünge özellikleri bakımından dış ve iç Galaktik disk kökenli yıldızlarca kuşatıldığını göstermesiyle desteklenmiştir (Minchev, Chiappini ve Martig, 2016). Yıldızların doğdukları yerden uzaklara gidebilmesi kavramı netlik kazandıktan sonra kemo-dinamik modelleme yapılarak Galaksinin asıl oluşum basamaklarını anlama çalışmaları daha da hız kazanmıştır. Disk galaksilerinin oluşumunun incelendiği N-cisim simülasyonlarından diğer galaksilerde de radyal göçün çok yaygın olarak meydana geldiği tespit edilmiştir. Güneş civarındaki yıldızlararası ortamda bulunan HII bölgeleri ve genç disk yıldızlarının metal bolluklarının incelenmesinden, geçen 3-4 Gyr'dan beri Galaksimizin metal bolluğunun çok artmadığı görülmüştür çünkü bu zaman diliminde Güneş civarındaki galaktosentrik yarıçapta yıldız oluşum oranının düşük olmasından dolayı tespit edilen bu metalce zengin yaşlı yıldızların Galaksinin iç kısımlarından geldiği görülmüştür. Samanyolu ince diski için

kullanılan kimyasal evrim modelleri yıldızlararası ortamda günümüzde ölçülen bolluklarla uyumludur fakat [Fe/H]>+0.2 dex'ten metalce daha zengin yıldızları öngörememektedir (Chiappini, Matteucci ve Graton, 1997). Kinematik açıdan değerlendirildiğinde, radyal göç eden yıldızların uzay hızları ve hız dispersiyonları oluştukları bölgenin Galaktik koşullarını yansıtmaz çünkü bu yıldızların yörüngeleri ısınarak açısal momentumları değişmiştir.

## 2.4. RADYAL HIZ DENEYİ

Radyal Hız Deneyi (RAVE; *RAdial Velocity Experiment*), Samanyolu'nun içindeki konumumuzdan itibaren detaylı şekilde Galaksimizin oluşumu ve evrimini incelememize imkân tanıyan bir gökyüzü tarama programıdır (Steinmetz ve diğ. 2006). RAVE gözlemleriyle ölçülmek istenen en önemli parametre Samanyolu'nun ince disk, kalın disk ve halo bileşenlerindeki yıldızların hareketlerini ortaya koymak amacıyla elde edilen radyal hızdır. Radyal hız ($\gamma$), başka bir deyişle bakış doğrultusu hızı, bir yıldızın bize doğru ya da bizden uzaklaşan hareketidir. İki boyutlu olarak bakıldığında uzaydaki hızların iki bileşeni vardır: biri gök küresinde bakış doğrultumuza dik olan hız (teğet hız) ve diğeri bakış doğrultumuza paralel olan radyal hızdır. Radyal hız hesaplanırken, bir yıldızın gözlenen tayfından tanımlanan herhangi bir element çizgisine ait dalgaboyunun ($\lambda_{göz}$), Dünya'daki laboratuarlarda bu element için ölçülen dalgaboyuna ($\lambda_{lab}$) göre farkı ışık hızıyla ($c$) çarpılır. Bu ilişki (2.1) eşitliğiyle verilmiştir:

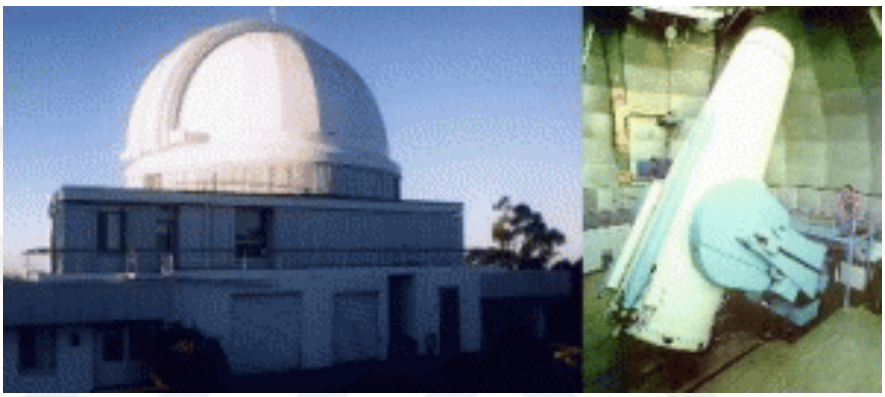
$$\frac{\lambda_{göz}-\lambda_{lab}}{\lambda_{lab}} = \frac{\gamma}{c} \tag{2.2}$$

Galaksimizdeki yıldızların büyük bir çoğunluğunun radyal hız ölçümü bir yana herhangi bir hız ölçümü bulunmamaktadır. RAVE gökyüzünün geniş bir bölgesinde yer alan ve tümü Galaksimizde bulunan yakın yıldızları inceler. RAVE'in gözlemlediği yıldızlar, Galaktik düzlemde, Galaksi merkezine ve Galaktik diskin kenarına doğru olan mesafelerin yarısına kadar uzanır.

*Hipparcos* ve *GAIA* gibi uzay tabanlı astrometrik tarama programları gökküresinde bir yıldızın tam konumunu, Dünya'dan uzaklığını ve gökküresindeki hareketlerini ölçmüşlerdir. Yıldızların gökküresindeki hareketinin izdüşümüne *özhareket* denir. Bu parametrenin hassas ölçümlerinin yapılabilmesi için, yakın yıldızlarda, birkaç yıl

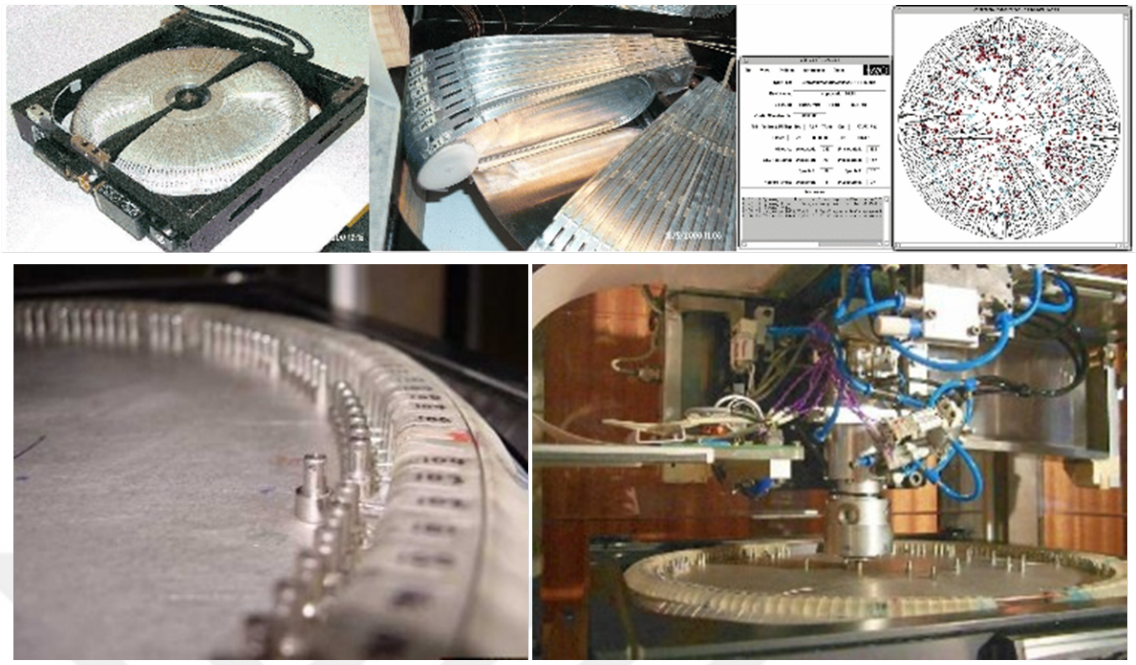
gerekirken, yıldızın radyal hızının ölçümü için orta ya da yüksek çözünürlüklü yıldız tayflarına ihtiyaç duyulur.

RAVE gözlemleri, Avustralya'nın Siding Spring şehrinde bulunan Anglo Australian Gözlemevi'ndeki 2.1 m'lik UK Schmidt teleskobuna bağlı 6dF çok-cisim tayfçekeri kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.17).



**Şekil 2.17:** Anglo-Australian Gözlemevi'ndeki 2.1 metrelik UK Schmidt teleskobu.

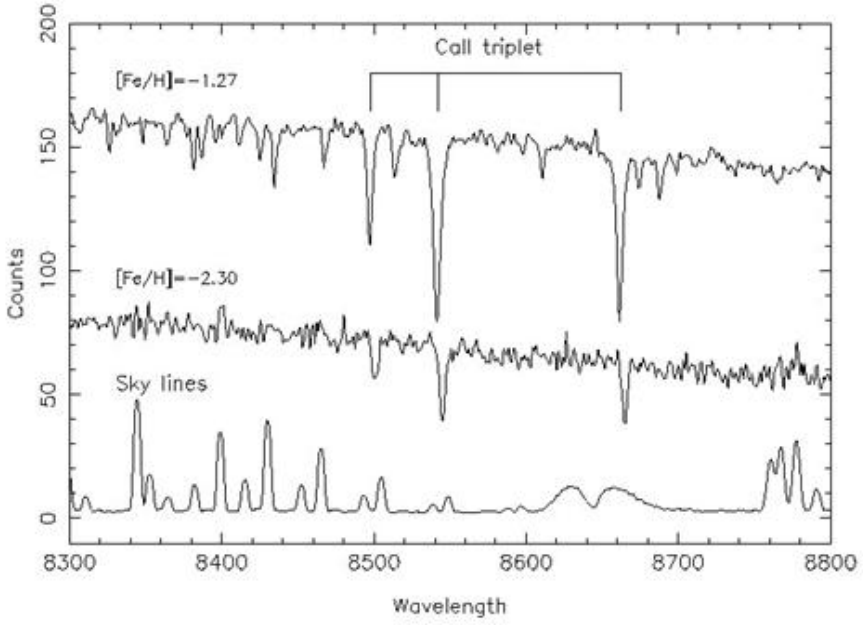
2004 yılında 6dF Galaksi Taraması bittikten sonra Siding Spring'teki teleskop RAVE gökyüzü taramasına adanmıştır. Bunu takiben taramanın pilot aşamasının ilk yılında (Nisan 2003-Nisan 2004) RAVE, dolunay zamanlarında gözlem yapmıştır. 6dF (altı derece Alan) çok-cisim tayfçekeri, robotlarla konumlandıran 150 optik fiber ile değişebilir alan tabaklarından oluşur. Her bir fiber bir robotun 10 mikronluk hassasiyetle konumlandırma yapabildiği bir düğmeye bağlıdır (Şekil 2.18). Böylelikle hedef yıldızdan gelen ışık yakalanabilmektedir. RAVE taraması esnasında tek bir gözlemde 150'ye yakın yıldızın eş zamanlı tayfsal ölçümünü yapabilmektedir. Alan tabağı gökyüzündeki yıldız deseniyle eşleşecek şekilde ayarlandıktan sonra gözlem yapılır. Bu tabaklardan biri robot tarafından düzenlenirken, diğeri teleskop tarafından kullanılır. Gelen ışık teleskoptan optik fiberlere, oradan da tayfçeker birimine gönderilir ve kırınım ağından geçirilerek bileşenlerine ayrılır. Son olarak da 1056×1027'lik CCD yongasına kaydedilir.



**Şekil 2.18:** 6dF çok-cisim tayfçekeri.

RAVE verilerinin ilk kalite kontrolü Avustralya'daki Macquarie Üniversitesi'nde gerçekleştirilir ve sonuçlar İtalya'nın Padova Üniversitesi'ne indirgeme işlemlerinin yapılması için gönderilir. İndirgenen verilerden son olarak Almanya Potsdam'daki Leibniz Astrofizik Enstitüsü'nde radyal hızlar ve diğer yıldız parametreleri çıkarılır.

RAVE, parlaklık sınırlamalı bir tarama programı olup yıldızlar güney yarı kürede rastgele seçilmiştir. Orijinal olarak $9 < I_D < 12$ kadir aralığındaki yıldızların gözlemlenmesi planlanmış olsa da katalog içerisinde hem daha parlak hem de daha sönük yıldızlar bulunmaktadır. RAVE'in etkin tayfsal çözünürlüğü $R_{tç}=\lambda/\Delta\lambda$ ~7500 olup dalgaboyu aralığı (IR CaII, $\lambda\lambda$8410-8795 Å) kızılötesi kalsiyum üçlüsü (Şekil 2.19) civarındadır. Bu aralık, Galaktik arkeoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. RAVE'in gözlem yaptığı dalgaboyu penceresi *I* bandında hedef yıldızların seçilebildiği en uygun aralığı temsil eder.




**Şekil 2.19:** Ca II üçlüsünün tayf üzerindeki görünümü; çizgi derinliklerinin metal bolluğuna göre değişimi.

RAVE gözlemlerinin başladığı Nisan 2003 tarihinde güney gökyüzünde RAVE'in parlaklık aralığını kapsayan başka bir fotometrik gökyüzü tarama programı bulunmamaktaydı. Bu nedenle gözlemlerin yapılabilmesi için oluşturulan girdi kataloğu Tycho-2 fotometrisinin sentetik olarak üretilen *I* bandı parlaklıklarıyla oluşturulmuştur. RAVE'in parlaklık aralığının sönük tarafında Tycho-2'nin tamlığının olmadığı bölgeler ise SuperCOSMOS'un fotometrik *I* bandı ile doldurulmuştur. Bu, RAVE'in orijinal girdi kataloğudur ve taramanın ilk üç veri sürümünde kullanılmıştır. Bu süreçte gözlemlerine devam eden DEep Near Infrared Survey of the Southern Sky (DENIS) fotometrik gökyüzü taramasının (Kimeswenger ve diğ. 2004) DR2 verileri Mayıs 2005'te kullanıma açılmıştır. Fakat DENIS DR2 verileri güney gökyüzünde bulunan yıldızların yalnızca %55'ini kapsadığından RAVE için girdi kataloğu oluşturmada kullanılamamıştır. DENIS DR3 Eylül 2005'te (DENIS Konsorsiyumu 2005) kullanıma açıldığında güney gökyüzünün %80'ini kapsayan gözlemler artık yapılmış olduğundan yeni RAVE girdi kataloğu için yeni bir taban olarak seçilmiştir. Girdi kataloğunu oluşturmak için DENIS DR3 kataloğundan RAVE'in parlaklık aralığındaki ($9<I<12$ kadir) doymuş ($I < 9.8$ kadir) kaynaklar dahil tüm yıldızlar seçilmiştir. *I* bandı hatası=1 olan cisimlere herhangi bir hata tayin edilemediğinden bu veriler çıkarılmıştır. Girdi kataloğunu oluştururken tamamlayıcı bir başka tüm gökyüzü taraması olan 2MASS

verileri kullanılmıştır. DENIS DR3 kataloğunda geriye kalan cisimler 1 yay saniyelik duyarlılıkla 2MASS kataloğundaki karşılıkları ile eşleştirilirmiştir. Arama bölgesinin bu boyutta seçilmesinin nedeni hem DENIS'in hem de 2MASS'in kalibrasyonlarının astrometrik hassasiyeti 0".5 olan USNO-A2.0 (Monet ve diğ. 1998) kataloğu kullanılarak yapılmış olmasıdır. DENIS DR3 ve 2MASS eşleştirmesi yapılırken şu yöntem izlenmiştir. Konumlarına göre eğer birden fazla sayıda DENIS DR3 kaynağı hedef 2MASS yıldızının yakınlarında ise en yakın konumda bulunan DENIS DR3 kaynağı kullanılmış ve bu yıldızın *I*-bandı parlaklığı 2MASS kaynağı ile eşleştirilmiştir. 2MASS'te *I*-bandı fotometrik verileri bulunmamaktadır. Bir 2MASS yıldızının 1″ civarındaki bölgede bulunmayan DENIS DR3 kaynağı ihmal edilmiştir.

Şimdiye kadar RAVE taramasının dört veri sürümü yapılmıştır: 2006'da DR1 (Steinmetz ve diğ. 2006) 24,478 yıldızın 25,274 radyal hız ölçümünü; 2008'de DR2 (Zwitter ve diğ. 2008), 49,327 yıldıza ait 51,829 tayfa genişletmiş ve 21,121 yıldızın 22,407 tane tayfından türetilmiş yıldız atmosfer parametrelerini; 2010'da DR3 (Siebert ve diğ. 2011a) 86,000 radyal hız ve 45,000 atmosferik parametre içerir. Son veri sürümü olan DR4'te ise (Kordopatis ve diğ. 2013) 425,561 yıldıza ait 482,430 tayf bulunur. Ayrıca RAVE verilerini kullanan spektrofotometrik yöntemlerle hesaplanmış üç ayrı uzaklık kataloğu da yayınlanmıştır: Breddels ve diğ. (2010), Zwitter ve diğ. (2010) ve Burnett ve diğ. (2011). Ayrıca Boeche ve diğ. (2011)'in tek tek elementlerin bolluklarını yayınladığı başka bir kataloğu daha bulunmaktadır. Bu katalogta magnezyum, alüminyum, silikon, kalsiyum, titanyum, demir ve nikel bollukları verilmiştir. Bu Doktora tez çalışmasında, astronomların kullanımına açık ve son veri sürümü olan RAVE DR4 verileri kullanılmıştır.

RAVE gökyüzü taramasının genel bilimsel hedefi yerel uzaydaki dev ve cüce yıldızların gözlemsel özelliklerini kullanarak Galaksimizin kimyasal ve dinamik evriminin incelenmesidir. Bu doğrultuda RAVE'in incelemek üzere tasarlandığı konular şöyle sıralanabilir (Steinmetz ve diğ. 2006): i) Yüksek hızlı yıldızların keşfi, Galaksinin yerel kaçış hızı ve toplam kütlesinin belirlenmesi; ii) Yerel Galaktik diskin üç boyutlu hız dağılım fonksiyonunun hesaplanması, iii) Galaksinin temel yıldız bileşenlerinin kinematiği, iv) Yerel Galaktik disk potansiyelinin ortaya konması ve disk bileşen yapılarının incelenmesi, v) Galaksi diskinin kimyasal bolluk gradyentlerinin

hesaplanması vi) Arcturus, Sagittarius ve diğer yıldız akıntıları dahil Galaksi diskinin içindeki ve halodaki alt-yapıların ortaya konması, vii) Yüksek hızlı yıldızların element bolluklarının ölçülmesi, viii) Yıldız atmosfer parametrelerinin kalibrasyonu ve H-R diyagramları üzerinden bunların MK sınıflamalarının belirlenmesi, ix) Tayfsal çift yıldız sistemleri ve kataklizmik değişen yıldızların araştırılması, x) Yıldızlararası kızarmanın belirlenmesi için 8620 Å'deki yaygın yıldızlararası bandın ölçülmesi (Steinmetz ve diğ. 2006).

RAVE verileri Galaksi astrofiziği çalışmalarına 2006 yılından bu yana büyük katkılarda bulunmuştur. Veriler gerek grup üyesi gerekse grup dışı araştırmacılar tarafından aktif olarak kullanılmaktadır.

Steinmetz ve diğ.'nin (2006) yayımladığı DR1 verilerinden yapılan grup çalışmaları şunlardır: Smith ve diğ. (2007), yerel Galaktik kaçış hızını hesaplamış; Seabroke ve diğ. (2008), hız dağılımlarının simetrisini kullanarak Virgo aşırı yoğun bölgesi ya da Sagittarius akıntısının Güneş civarında olamayacağını göstermiş ve Veltz ve diğ. (2008), Galaktik kutuplar doğrultusunda yıldızların dağılımını ortaya koymuşlardır.

Zwitter ve diğ.'nin (2008) yayımladığı DR2 verilerinden yapılan konsorsiyum çalışmaları şunlardır: Siebert ve diğ. (2008) yıldızların hız elipsoidlerindeki kaymaları hesaplamış; Munari ve diğ. (2009) LMC'deki parlak mavi değişen yıldızların tayfsal analizini yapmıştır. Aynı veri sürümünde iki ayrı uzaklık tayini yöntemi de literatüre sunulmuştur: Bu çalışmalardan birinde Breddels ve diğ. (2010), RAVE tayflarından elde edilen atmosferik parametreleri ve literatürden derlenen $(J\text{-}K_s)$ renkleri yıldız modelleri üzerine uygulayarak elde ettikleri mutlak parlaklıklardan uzaklık tayini yöntemi geliştirirken, diğerinde Zwitter ve diğ. (2010) ve Breddels ve diğ.'nin (2010) geliştirdiği yönteme dayanarak yıldızların standart evrim yollarını takip ettiği ve tayflarında sıradışı yapıların görülmediği varsayımı altında, daha geniş bir yıldız örneği için daha hassas hesaplanmış yaş ve kütleler kullanarak, yıldızların uzaklıklarını hesaplamıştır. Diğer çalışmalarda ise Matijevič ve diğ. (2010) tek ve çift çizgili çift yıldız sistemlerini incelemiş; Kiss ve diğ. (2011), Güneş civarındaki genç hareketli gruplara ait yeni üyeler tespit etmiş; Wilson ve diğ. (2011) ve Fulbright ve diğ. (2010), Galaksimizdeki metalce fakir yıldızları ve kalın diskin kemo-dinamik bilgilerini

araştırmış; ve Williams ve diğ. (2011), RAVE verilerini kullanarak Aquarius yıldız akıntısını keşfetmiştir.

Siebert ve diğ.'nin (2011a) yayımladığı DR3 verilerinden yapılan konsorsiyum çalışmaları şu şekilde sıralanabilir: Matijevic ve diğ. (2011), RAVE verileri içerisindeki tek çizgili tayfsal çift yıldız adaylarını belirlemiş; Burnett ve diğ. (2011) kimyasal bolluk ölçümlerini dikkate alarak uzaklık tayini yöntemlerini geliştirmiş; Ruchti ve diğ. (2011), Galaksimizin kalın diskindeki metalce fakir yıldızların gözlemsel özelliklerini inceleyerek kalın diskin oluşumunu tartışmış; Boeche ve diğ. (2011), bazı elementlere ait ölçülen bolluk değerlerini içeren bir kimyasal katalog yayımlamış; Coşkunoğlu ve diğ. (2011), F-G tayf türünden anakol yıldızlarını kullanarak yerel durağanlık standardını hesaplamış; Wylie-de Boer ve diğ. (2012), Aquarius yıldız akıntısının kökenini incelemiş; Siebert ve diğ. (2012) iki boyutlu yoğunluk dalgası yaklaşımıyla RAVE verilerinden yerel spiral kolların özelliklerini incelemiş; Antoja ve diğ. (2012), Güneş komşuluğunun ötesindeki kinematik grupları araştırmış; Pasetto ve diğ. (2012), Güneş'in hareketini ve Galaksimizin ince disk kinematiğini irdelemiş; Williams ve diğ. (2013), Galaktik düzlemin kuzey ve güneyinde bulunan yıldızların hız dağılımlarındaki farklılıkların seyreltme-sıkıştırma desenine uygun olduğunu ortaya koymuşlar ve bunun dalga benzeri bir davranış olduğuna dikkat çekmişler; Boeche ve diğ. (2013), Galaktik diskteki kimyasal bolluklar ve kinematik ilişkileri incelemiş; Golubov ve diğ. (2013), asimetrik sürüklenme hızlarını ve cüce yıldızlar için yerel durağanlık standardını hesaplamışlar; Zerjal ve diğ. (2013), RAVE verilerinden kromosferik bakımdan aktif yıldızları belirleyerek bir katalog oluşturmuş; Kos ve diğ. (2013), soğuk yıldızların tayflarında gözlenen yaygın yıldızlararası bantları tespit etmenin yeni bir yöntemini öne sürmüştür.

2014 yılı Nisan ayında astronomların ortak kullanımına açılan RAVE DR4 (Kordopatis ve diğ. 2013), verilerini kullanarak RAVE grubunun yaptığı çalışmalar da şöyle sıralanabilir: Boeche ve diğ. (2013, 2014), RAVE verilerinden sırasıyla anakol ve dev yıldızların kimyasal bolluk gradyentlerini incelemiş; Kordopatis ve diğ. (2013), Galaksi düzleminden 1 ile 2 kpc uzaklıktaki metalce fakir yıldızları kullanarak, kalın diskin metal bolluğu ve azimutal hız dağılım fonksiyonlarının normal dağılım göstermediğini ortaya koyarak, kalın disk oluşum mekanizmalarını sınamışlar; Binney ve diğ. (2014),

Burnett ve diğ. (2010) yöntemini geliştirerek DR4 kataloğunda yeni algoritmalarla tayin edilen atmosferik model parametrelerinden belirledikleri olasılık yoğunluğu fonksiyonlarından yıldızlar için uzaklık modülleri hesaplamış; Conrad ve diğ. (2014), açık kümelerdeki radyal hızları ve metal bolluklarını incelemiş; Piffl ve diğ. (2014), Samanyolu galaksisinin kütlesini ve Galaktik kaçış hızını hesaplamış; Antoja ve diğ. (2014), Hercules yıldız akıntısını kullanarak Galaktik çubuğu modellenmiş; Minchev ve diğ. (2014), RAVE kataloğundaki dev yıldızların hız dispersiyonları ve $\alpha$-element bolluklarını birleştirerek elde ettikleri kemo-kinematik ilişkiler üzerinden Samanyolu'nun birleşme olaylarının geçmişini ortaya koyabileceklerini öne sürmüş; Binney ve diğ. (2014) yaklaşık 400,000 RAVE yıldızını sıcak ve soğuk cüceler, kırmızı yığın devleri ve yığın dışı devler olarak gruplandırmış ve her bir grubun normal dağılıma uyan hız elipsoidlerini incelemiş; Kos ve diğ. (2014), yaygın yıldızlararası gazın 862 nm'de sözde-üç boyutlu haritasını çıkarmış; Sharma ve diğ. (2014), RAVE DR4 ve GCS yıldız tarama programlarındaki verileri birleştirerek yıldızların kinematik modellemesini yapmış; Bienaymé ve diğ. (2014), kırmızı yığın yıldızlarından belirledikleri Galaktik potansiyeli kullanarak Galaksimiz civarındaki karanlık madde miktarını ölçmüş; Munari ve diğ. (2014), tüm DR4 kaynaklarının APASS fotometrisini yaparak yüzey çekim ivmesi, etkin sıcaklık, metal bolluğu ve kızarma değerlerini içeren sentetik bir kütüphane oluşturmuş; Kunder ve diğ. (2014), NGC 6656, NGC 3201 ve NGC 1851 küresel kümeleri civarında bulunan gelgitten fazla etkilenen yıldızların varlığına dair tayfsal işaretler olduğunu ortaya koymuş; Piffl ve diğ. (2014), Güneş civarında bulunan ve Galaktik düzlemden yaklaşık 1.5 kpc ötede bulunan 200,000 civarındaki dev yıldızın kütle yoğunluklarının dikey profilini ölçmek için kinematik özellerini inceleyerek Galaksinin karanlık madde halosunun parametrelerini ölçmüş; Hawkins ve diğ. (2014), RAVE DR4 kataloğundan tespit edilen yüksek hızlı yıldızların kinematik ve tayfsal özelliklerini belirlemiş; Kordopatis ve diğ. (2015b), Güneş civarındaki [Fe/H]>+0.2 dex olan metalce zengin yıldızları tespit ederek bu yıldızların Galaksinin farklı bir yerinde doğup bugün Güneş civarına geldiklerini yani yıldızların radyal doğrultuda göç ettiklerini önermiş; Antoja ve diğ. (2015), 500 pc yarıçaplı bir silindirde ince ve kalın disk yıldızlarının hız dağılımlarındaki asimetrileri bularak, bu asimetrinin kaynağının Galaktik çubuk olduğunu önermiş; Anguiano ve diğ. (2015, 2016), RAVE verilerindeki küresel küme yıldızlarının tanımlamasını yapmıştır.

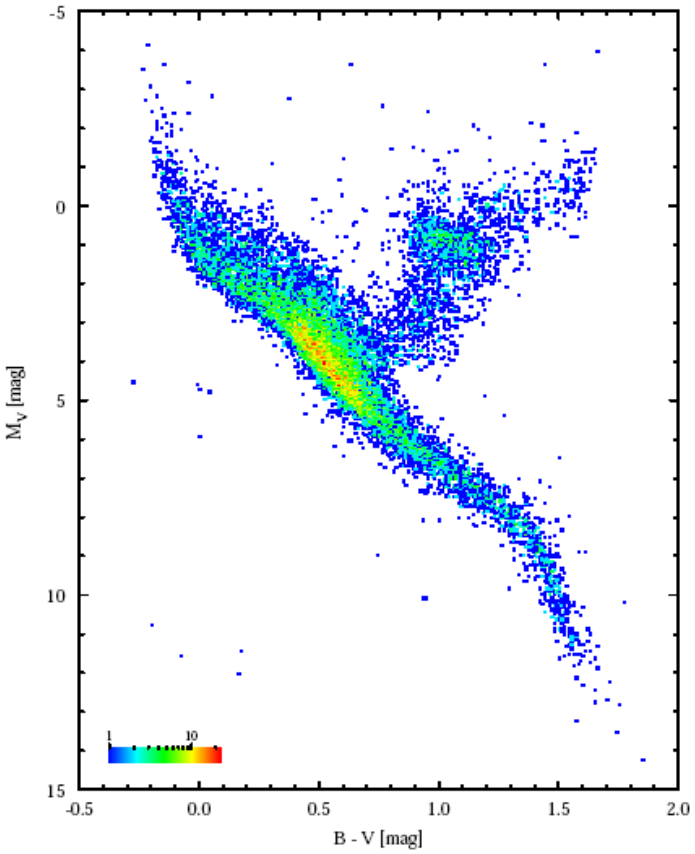
RAVE'in 2, 3 ve 4. veri sürümlerini kullanarak ülkemizdeki araştırmacıların yaptığı çalışmalar da bulunmaktadır. *DR2 verilerini* kullanarak yapılan çalışmalar şöyle sıralanabilir: Karataş ve Klement (2011), ince ve kalın disk yıldızlarının dikey hız dispersiyonları, ortalama dönme hızları, ortalama yörünge basıklıkları ve ince disk bileşeninin radyal metal bolluğu gradyentini elde etmiş; Bilir ve diğ. (2011), alan cüce ve devlerinin fotometrik ayrımını yaparak RAVE DR2 kataloğunda verilen yıldız atmosfer parametrelerinin farklı ışıma gücü sınıfından olan yıldızlar için hassasiyetini araştırmışlardır. *DR3 verilerini* kullanarak yapılan çalışmalar ise şöyle sıralanabilir: Coşkunoğlu ve diğ. (2012), Güneş civarındaki F-G anakol yıldızlarının radyal metal bolluğu gradyentini incelemiş; Bilir ve diğ. (2012a), Güneş civarındaki kırmızı yığın yıldızlarının radyal ve dikey metal bolluğu gradyentlerini hesaplamış; Duran ve diğ. (2013), RAVE verilerindeki anakol yıldızlarının Bayesian yöntemle hesapladığı yaşlar ile yıldızların metal bolluğunu ilişkilendirmiş; Karaali ve diğ. (2014), kırmızı yığın yıldızlarının kinematik özelliklerinin değişimlerini incelemiştir. En son yayımlanan RAVE *DR4* kataloğunun verilerini kullanan Plevne ve diğ. (2015), F-G tayf türünden anakol yıldızlarının radyal ve dikey metal bolluğu gradyentlerini hesaplamıştır.

## 2.5. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI

Düşük kütleli ilkel bir yıldız sıfır yaş anakoluna ulaştığında yıldızın merkezi H füzyonuyla He oluşturacak kadar sıcaktır. Zamanla yıldızın merkezindeki He miktarı arttıkça, çekirdeğin sıcaklığı da artar ve bu enerji üretimini hızlandırır. Böylelikle uzun bir süre eksponansiyel olarak artan He miktarı, sıcaklığın da bu süre zarfında eksponansiyel olarak artmasını sağlar. Sonuçta yıldız H-R diyagramında anakol üzerinde hareket eder. Yıldızın merkezinde, H kütlesinin %10-15 kadar kütlesine sahip olan He çekirdek oluşunca, merkezdeki füzyon reaksiyonları durur. Yıldızın merkezinde bu kütlede bir He çekirdek oluşabilmesi için başlangıçtaki H miktarının kabaca %40 ile %60'ının yanması gerektiği hesaplanmıştır. Yıldızın merkezinde H-yanma reaksiyonları durunca, merkezde üretilerek ortama salınmış olan enerji, yıldızın üst katmanlarını aşıp iletilinceye kadar yıldızın çekirdeğini eş-ısısal hale getirir. Çekirdek bu noktada enerji üretemediğinden kendi üstüne çökmeye başlar ve artan basınç elektron bakımından dejenere olmasına neden olur. Öte yandan, eş-ısısal çekirdeğin etrafındaki ince kabukta biriken enerji bu bölgede yeniden H yanması reaksiyonlarını başlatır; bu *H'nin kabuk*

*yanması* olarak bilinir. Çekirdek çökmeye devam ederken çekimsel enerji, termal enerjiye dönüşür. Bu enerji yıldızı ısıtarak dış katmanların genişlemesine sebep olur. Yıldızın dış katmanları genişledikçe, yıldızın ışıma gücü anakoldakine göre 10 ile 100 kat kadar artabilir. Yıldızın çapının çok genişlediği bu aşamaya *kırmızı dev* denir. Yıldız kırmızı dev aşamasına geldiğinde He çekirdeğindeki ortalama sıcaklık en düşük değerine yani H-kabuk yanması sıcaklığına yakın bir değere azalır. Hemen ardından H-yakan kabuk sürekli olarak He ürettiğinden çekirdeğin kütlesi artar ve kendi üzerine çökmeye başladığından, hem H yakan kabuktaki hem de merkezdeki sıcaklık artar. Kabuktaki sıcaklığın artmasına bağlı olarak yıldızın ışıma gücü de artar ve beraberinde çekirdekteki çekimsel potansiyel enerji salınımı oranındaki artışa bağlı olarak çekirdeğin ısınması da artar. Çekimsel potansiyel enerji salınımı oranı, H yakan kabuktan çekirdeğe aktarılan He kütlesi oranıyla ilişkilidir. Sonunda merkezdeki dejenere elektron yoğunluğu $10^8$ kg $m^{-3}$'e ulaştığında çöküş durur, sıcaklık $10^8$ K'e yükselerek çekirdekte kararsız He yanması reaksiyonları meydana gelir. Bu aşama yıldız evrimi teorisinde *He parlaması* evresi olarak adlandırılır. Bu noktadan sonra yıldızın yüzey sıcaklığı sabit kalarak, ışıma gücü azalır. Eggleton (1968), 0.9 ile 2 $M_\odot$ arasında anakol kütleleri olan yıldızların ortalama 0.45 $M_\odot$ kütlesindeki He çekirdeği oluşturabileceklerini hesaplamıştır. He çekirdeğin kütlesi yaklaşık olarak 0.45 $M_\odot$'e ulaştığında merkezde helyumun artan sıcaklıkla birlikte çok hızlı bir şekilde reaksiyona girme süreci başlamış olur (Schwarzschild ve Härm, 1962) ve bu süreç elektron dejenerasyonu kalkana kadar devam eder. Nötrino kayıpları yıldızın çekirdeğinde negatif bir sıcaklık gradyenti yaratarak helyum yanmasının merkezin bir miktar dışında bir bölgede başlamasına sebep olur. Daha sonra reaksiyonlar bir dizi ardışık helyum parlamasıyla merkeze taşınır (Thomas, 1967; Mengel ve Sweigart, 1981). He parlamalarının elektron dejenerasyonunu kaldırmasıyla yıldızın yüzeyindeki ışıma gücü keskin bir düşüş yapar ve çekirdekte kararlı helyum yanması başlatır. Bu aşamada yıldızın çekirdeğinde He füzyonu meydana gelirken hemen onu saran kabukta ise H füzyonu meydana gelir. Yıldızın H-R diyagramındaki yeri ağırlıklı olarak metal bolluğuna ve kırmızı dev aşamasındayken ne kadar kütle kaybettiğine bağlıdır. Buna göre eğer yıldız metalce fakirse H-R diyagramının bir diğer belirgin yapısı olan yatay kol bölgesine geçer. Metalce zengin olan yıldızlar ise kararlı He yanması sürecinde H-R diyagramında kırmızı dev tepesinin yaklaşık 3 kadir altında yer alan kırmızı yığın bölgesinde bulunurlar. Bu bölgeye geçen yıldızlar *kırmızı yığın (KY) yıldızları* olarak

adlandırılırlar. Yıldızlar, kırmızı yığın ya da yatay kol bölgesinde anakol ömürlerinin yaklaşık onda biri kadar bir süre bulunurlar. Bu durumda anakol kütlesi 0.9 $M_{\odot}$ olan bir yıldızın anakol ömrü 13 Gyr ve KY evresinde kalma süresi de 1.3 Gyr iken 2 $M_{\odot}$ kütleli bir yıldızın anakol ömrü 1.77 Gyr ve KY evresinde kalma süresi 0.18 Gyr'dir. KY yıldızlarının evrimsel olarak bu aşamada ışıma güçleri çok dar bir aralıkta değiştiğinden ve parlak kırmızı renklerinden dolayı yıldızlararası ortamdan fazla etkilenmeksizin çok büyük mesafelerden gözlenebilmelerinden dolayı bu yıldızların *standart mum* olarak kullanılabilecekleri düşünülmüştür. Bu fikir ilk kez metalce zengin ve yaşlı açık kümelerdeki kırmızı dev yıldızları inceleyen Cannon (1970) tarafından ortaya atılmıştır. Cannon (1970), incelediği kümelerin H-R diyagramlarına baktığında yaklaşık olarak $M_V$ =+1 kadir ve *(B-V)*=+1 kadir civarında kırmızı dev yıldızların yoğunlaştığını tespit etmiştir. Çalışmasında kırmızı dev yıldızların neden bu bölgede bir yığın oluşturacak şekilde toplanabildiğini, başka bir deyişle dar bir ışıma gücü aralığında olduklarını ve bir yıldızın içyapısının kırmızı dev aşamasında hangi koşullar altında yeterince uzun süre sabit tutabileceğini o döneme kadar bilinen yıldız içyapısı modelleriyle analiz etmiştir. Analizlerinin sonucunda söz konusu yıldızların merkezlerinde kararlı He ve çekirdeği saran kabukta H yanma reaksiyonları gerçekleştiren, metalce zengin ve 0.9 ile 2 $M_{\odot}$ kütle aralığındaki yıldızlar olabileceğini ortaya koymuştur. Cannon (1970), bu yıldızların kırmızı yığın bölgesinde dar bir ışıma gücü aralığında enerji yayınlamasını dikkate alarak standart mum olarak kullanabileceklerini önermiştir. Cannon ve Lloyd (1969), yıldızların renk ve yüzey çekim ivmesi ölçümlerinden KY yıldızlarının tespit edilebileceği ve fotometrik parlaklıklar kullanılarak hassas bir şekilde uzaklık tayini yapılabileceğini ortaya koymuşlardır. Daha sonraki yıllarda KY çalışmalarına en büyük katkı *Hipparcos* (Perryman ve diğ. 1997) astrometri uydusunun hassas paralaks ölçümlerinin kullanıma açılmasıyla gelmiştir. *Hipparcos* verilerinden Güneş komşuluğunda uzaklıkları iyi bilinen yakın yıldızlar için oluşturulan renk-parlaklık diyagramında (Şekil 2.20) kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu bölge belirgindir.




**Şekil 2.20:** Rölatif paralaks hataları küçük olan *Hipparcos* verilerinden Güneş civarı için oluşturulmuş H-R diyagramı.

*Hipparcos* kataloğu rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi \leq 0.1$ olan yaklaşık 600 KY yıldızı içermektedir (Girardi ve diğ. 1998). Bu veriler sayesinde KY yıldızlarını kalibre edilmiş standart mumlar olarak kullanabilmek mümkün olmuştur. KY yıldızlarının tayfsal özellikleri dikkate alındığında bu yıldızların tayf türlerinin G8 III ile K2III arasında değiştiği tespit edilmiştir. KY yıldızlarına dönüşen yıldızların ise yaşlarının yaklaşık olarak 0.5 ile 1 Gyr'dan daha yaşlı yıldızlar oldukları düşünülmektedir (Salaris, 2013). Öte yandan, Paczynski ve Stanek (1998), bu yıldızların orta yaş aralığındaki (2-10 Gyr) yıldızlar olduğunu öne sürmüştür. Literatürde, farklı fotometrik bantlar için KY yıldızlarının mutlak parlaklıklarının yaş ve kimyasal yapılardan etkilenip etkilenmedikleri uzun yıllar tartışılmıştır. Bu nedenle, Galaksimizin farklı bölgelerinden ve hatta uydu galaksilerden seçilen KY örneklerinin mutlak parlaklıkları birçok kez kalibre edilmiştir. Örneğin, Keenan ve Barnbaum (1999), optik dalgaboylarında KY yıldızlarının mutlak parlaklığının G8 III için $M_V = 0.7$ kadir ve K2III için ise $M_V = 1$ kadir olarak bulmuşlar. Paczynski ve Stanek (1998), 228 KY yıldızından oluşan ve

fotometrik özellikleri $0.8 \leq (V - I) \leq 1.25$, ve $-1.4 \leq M_I \leq 1.2$ kadir aralıklarında değişen, ve rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi \leq 0.1$ olan bir örnekten bu yıldızların optik bölgedeki *I*-bandında mutlak parlaklıklarının metal bolluğuna bağımlılığının zayıf olduğunu bulmuş ve bu banttaki mutlak parlaklıkların ortalama değerini $\langle M_I \rangle$=-0.28±0.09 kadir olarak hesaplamışlardır. Perryman ve diğ. (1998) aynı seçim kriterlerini yaklaşık 600 KY yıldızından oluşan bir örnek için uygulayarak ortalama mutlak parlaklığı yine *I* bandında $\langle M_I \rangle$=-0.23±0.03 kadir olarak bulmuşlardır. Ayrıca bu filtrede mutlak parlaklıkların metal bolluğuna bağlı olmadığını doğrulamışlardır. Öte yandan, Sarajedini (1999) ve Twarog ve diğ. (1999), açık kümeler üzerinde çalışarak KY yıldızlarının mutlak parlaklıklarının metal bolluğu ve yaşa bağlı olduğunu öne sürmüş ve bu durum, Girardi ve Salaris (2001) ve Salaris ve Girardi'nin (2002) yıldız popülasyonları için geliştirdiği modellerle desteklenmiştir. Udalski (2000), *Hipparcos* kataloğunda hassas trigonometrik paralaks ve fotometri ölçümleri bulunan, -0.6 < [Fe/H] < +0.2 dex metal bolluğu aralığındaki 284 yakın kırmızı dev yıldızı inceleyerek metal bolluğu ve mutlak parlaklık arasında şu ilişkiyi kurmuştur.

$$M_I = (0.13 \pm 0.07)\,[\mathrm{Fe/H}] - 0.26(\pm 0.02) \tag{2.3}$$

Bu ilişki, *I* bandında hafif bir metal bolluğu bağımlılığı olduğuna işaret etmektedir. Alves (2000), *Hipparcos* kataloğundaki 238 KY yıldızından yakın kızılötesi bölgedeki $K_s$ bandı için mutlak parlaklık kalibrasyonu yapmıştır. $K_s$ bandı, yıldızlararası kızarmadan az etkilenir ve metal bolluğuna olan sistematik bağlılığı daha az olduğundan tercih edilmiştir. Alves (2000), çalışmasında bu bantta hiç kızarma olmadığını varsayarak $K_s$ bandındaki ortalama mutlak parlaklık değerini $\langle M_{Ks} \rangle$=-1.61±0.03 kadir bulmuş ve bu bandın metal bolluğu ile arasında bir doğrusal ilişki kurarak aşağıdaki ifadeyi elde etmiştir:

$$M_{Ks} = (0.57 \pm 0.36)\,[Fe/H] - 1.64(\pm 0.07) \tag{2.4}$$

*Hipparcos* verileri van Leeuwen (2007) tarafından yeniden indirgenmiş ve katalogtaki paralaks ölçümleri ve hataları güncellenmiştir. Yeniden indirgenen bu kataloğu kullanarak Groenewegen (2008), KY yıldızlarının kızılötesi *I* ve $K_s$ bantlarındaki KY mutlak parlaklıklarının ortalama değerlerini hesaplayarak $\langle M_I \rangle$=-0.22±0.03 ve $\langle M_{Ks} \rangle$=

-1.54±0.04 kadir olarak bulmuştur. Çalışmasında, ayrıca sentetik yıldız örneğini kullanarak farklı seçim kriterlerine göre (metal bolluğu, yaş, parlaklık aralıkları vb.) belirlenen KY yıldızı örneklerinin mutlak parlaklıklarının popülasyon ve seçim etkilerinden nasıl etkilendiklerini ortaya koyabilmek için modelleme yapmıştır. Bu analizlerin sonucunda söz konusu $M_I$ ve $M_{Ks}$ mutlak parlaklıklarının metal bolluğuna ve renge zayıf olarak bağlı olduklarını şu ilişkilerle ortaya koymuştur:

$$M_I = (0.08 \pm 0.07)\ ([Fe/H] + 0.15]\ ) \tag{2.5}$$

$$M_{Ks} = (-0.15 \pm 0.07)\ ((V-K)_0 - 2.32) \tag{2.6}$$

Salaris'e (2013) göre KY yıldızlarının yaş ve kütle dağılımı tamamıyla o popülasyonun yıldız oluşum geçmişi (SFH), başlangıç kütle fonksiyonu (IMF) ve metal bolluğuna bağlı olarak He-yanması zaman ölçeğiyle ilişkilidir. Örneğin, 0.1 ile 10 Gyr'lik bir zaman aralığında yıldız oluşum geçmişi için sabit metal bolluğu varsayımı altında KY popülasyonu yaklaşık 1.5 Gyr yaşındaki cisimlerce baskın olacak ve bu yıldızlar KY popülasyonunun mutlak parlaklığına en büyük katkıyı verecektir. Bu durum aynı zamanda, gözlemin yapıldığı fotometrik banda da bağlıdır; özellikle KY yıldızlarının uzaklıklarının belirlenmesinde en iyi fotometrik bant *K* bandıdır çünkü bu bantta yıldız oluşum geçmişi değişmemektedir. Bu yüzden KY bölgesi daima 2 Gyr yaşındaki yıldızlarca baskın olacaktır. Salaris (2013), ayrıca, Güneş'ten metalce fakir popülasyonlar için yani yaşlı popülasyonlar için *I* bandı verilerinin daha uygun olduğunu önermiştir. Bu nedenlerden dolayı KY yıldızları iyi bir uzaklık göstergesidir.

KY yıldızları, Galaksimizin yapısı ve kinematiğinin incelenmesini mümkün kılan cisimlerdir. Bunun birkaç nedeni vardır. İlk olarak, KY yıldızlarının yukarıda detaylı olarak anlatıldığı gibi optik ve yakın kızılötesi dalgaboylarında sahip oldukları mutlak parlaklıkları çok küçük bir dispersiyon göstermeleridir. Bu nedenle, herhangi bir KY popülasyonunu temsil eden bir ortalama mutlak parlaklık değeri seçilerek hesaplamalar yapıldığında bu seçimden kaynaklanan hatalar sonuçları çok değiştirmez. İkinci olarak, KY yıldızlarının kırmızı renkli parlak yıldız olmaları gösterilebilir. Parlak oldukları için çok büyük mesafelerden görülebilirler (örneğin; komşu cüce galaksilerdeki KYler gibi) ve kırmızı renkte olmaları da yıldızlararası ortamdan geçerken ışıkları kızarma ve sönümlemeden daha az etkilenir. Bu nedenle Galaksideki KY yıldızlarının çok büyük

bir kısmı gözlenebilirdir. Üçüncü olarak, bu cisimlerin özellikle parlaklık bakımından sınırlandırılmış tarama programlarında gözlenen hedeflerin oldukça büyük bir kısmını oluşturmaları gösterilebilir. Son olarak, KY yıldızları tayf türleri (G8-K2) bakımından hassas radyal hız ve kimyasal bolluk tayini için ideal cisimlerdir (Saguner ve diğ. 2011). Öte yandan, Bobylev (2010)'a göre KY yıldızlarının H-R diyagramında bulunduğu bölge, alt devden kırmızı dev aşamasına geçen, He parlaması geçiren ve RR Lyrae yıldızlarınca kirletilir. Farklı kaynakların belirlemelerine göre bu kirlenme miktarı küçük olup %10 ile 15 mertebesindedir (Rybka, 2006; Gontcharov, 2008).

Son yıllarda yapılan KY çalışmalarının bazıları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Galaksi diskinin uzaklık tayini ve mutlak parlaklık kalibrasyonu (Udalski, 1998, 2000; Alves, 2000; Groenewegen, 2008; Minniti ve diğ. 2011; Wan ve diğ. 2015)
- Galaktik dönme (Rybka, 2008; López-Corredoira, 2014),
- Galaktik çubuk (Stanek ve diğ. 1997; Cabrera-Lavers et al., 2007; Rattenbury ve diğ. 2007; Cao ve diğ. 2013),
- Galaktik şişkin bölge (Rattenbury ve diğ. 2009; Nataf ve diğ. 2010; Wegg ve Gerhard, 2013),
- Kinematik ve metal bolluğunun fonksiyonu olarak disk yıldızlarının dikey dağılımları (Soubiran ve diğ. 2003),
- Kalın diskin kökeni (Ruchti ve diğ. 2010),
- Galaktik düzlemdeki yüzey kütle yoğunluğu (Siebert ve diğ. 2003),
- Metal bolluğu tayini ve metal bolluğu gradyentleri (Paczynski, 1998; Zhao, Qiu ve Zhang, 2001; Puzeras ve diğ. 2010; Tautvaišiene ve diğ. 2010, 2013; Boeche ve diğ. 2014; Huang ve diğ. 2015)
- Yaş – metal bolluğu ilişkisi (Soubiran ve diğ. 2008),
- Yaş – hız dispersiyonu ilişkisi (Soubiran ve diğ. 2008),
- Galaksi diskinin bükülmesi (Bobylev ve diğ. 2009; 2010; López-Corredoira, 2014),
- Galaksideki yıldız akıntıları (Correnti ve diğ. 2010; Carrell, Wilhelm ve Chen, 2012a)
- Galaksi model parametrelerinin tayini (Cabrera-Laves ve diğ. 2007)

- Kızılötesi bölgede yıldız ışığına etki eden sönümleme etkisinin incelenmesi (Straižys ve Laugalys, 2009; González-Fernandez ve diğ. 2014),
- Genişletilmiş Güneş civarı için hız uzayının üç boyutlu yapısının ortaya konması (Williams ve diğ. 2013),
- Galaksimizin kimyasal evrimi (Nidever ve diğ. 2014)
- Komşu galaksilerdeki KY yıldızların keşfi ve uzaklıklarının belirlenmesi (Girardi ve Salaris, 2001; Kim ve diğ. 2002; Bellazini ve diğ. 2006; Piatti 2012; Subramanian ve Subramaniam, 2013; Laney, Joner ve Pietrzyński, 2012)
- Açık ve Küresel yıldız kümelerindeki KY yıldızlarının belirlenmesi, kimyasal bolluk ölçümü ve uzaklık tayini (Cannon ve Lloyd, 1969; Cannon, 1970; Bragaglia ve diğ. 2010; Carraro, Monaco ve Villanova, 2014; Monaco ve diğ. 2014, Abedigamba, Balona ve Medupe, 2016)
- Karanlık Madde (Bienaymé ve diğ. 2014)

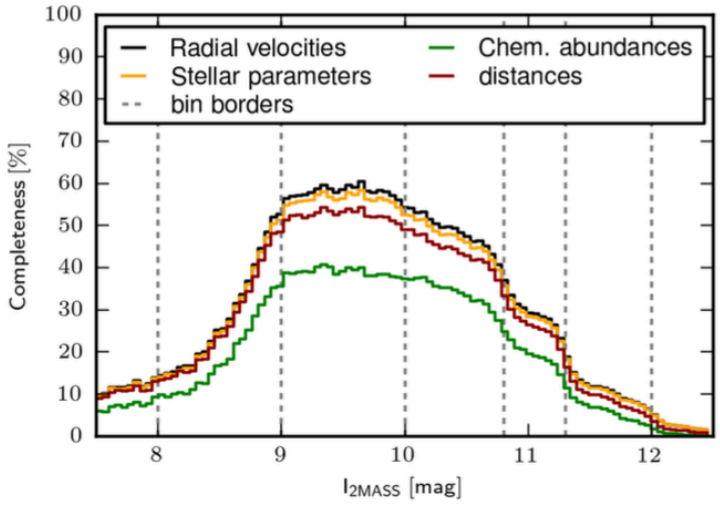
Bölümümüzdeki Galaksi astrofizikçileri tarafından KY yıldızlarını kullanarak yaptığı çalışmalar ise şu şekilde sıralanabilir: Bilir ve diğ. (2012a), RAVE DR3 veri sürümünden belirlediği KY yıldızlarının dinamik yörünge parametrelerinden hesaplanan uzaklık ölçeklerini kullanarak radyal ve dikey metal bolluğu gradyentlerini hesaplamış; Bilir ve diğ. (2012b), KY yıldızlarının orta kızılötesi WISE parlaklıkları ile yakın kızılötesi 2MASS, optik SDSS ve *BVI* fotometrik sistemlerdeki parlaklıkları arasında dönüşüm denklemleri elde etmiş; Bilir ve diğ. (2013a), geniş bir metal bolluğu aralığındaki küresel ve açık kümelerde bulunan KY yıldızlarının $(B\text{-}V)_o$ rengi ve [Fe/H] metal bolluğuna bağlı mutlak parlaklık kalibrasyonunu yapmışlar; Bilir ve diğ. (2013b), KY yıldızlarının optik ve kızılötesi $V$, $J$ ve $K_s$ mutlak parlaklıkları ve renkler arasında ilişkiler bulmuşlar ve bu ilişkileri SA141 yıldız alanında bulunan KY yıldızlarıyla sınayarak Galaksi model parametrelerini hesaplamışlar; Karaali, Bilir ve Yaz Gökçe (2013), hassas trigonometrik paralaks ölçümleri ve optik ve kızılötesi fotometrik parlaklıkları bilinen KY yıldızlarının mutlak parlaklık kalibrasyonunu yapmışlar; Karaali ve diğ. (2014), RAVE DR3 veri sürümünden belirlenen KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerini incelemişler; Yaz Gökçe ve diğ. (2013), orta-kızılötesi bölgede fotometrik ölçümler yapan WISE gökyüzü taraması verilerinden Güneş komşuluğundaki KY yıldızlarının tespitini yapmışlar; Yaz Gökçe ve diğ. (2015),

Galaksi düzleminde bulunan KY yıldızlarına ait kızılötesi fotometrik parlaklıkları kullanarak ince diskin uzunluk ölçeğini tayin etmişler; Özdönmez ve diğ. (2016), 76 Galaktik nova doğultusundaki kızarma haritalarını KY yıldızlarından itibaren oluşturmuşlardır.

# 3. MALZEME VE YÖNTEM

## 3.1. RAVE DR4

RAVE DR4 (Kordopatis ve diğ. 2013), 3 Nisan 2004 ile 20 Aralık 2012 tarihleri arasında yapılan gözlemleri içerir. Toplamda 425,561 nesneye ait 483,430 tayf alınmıştır. Katalogta, her bir cisme ait göksel ekvatoral koordinatlar ($\alpha$, $\delta$), Galaktik koordinatlar ($l$, $b$), radyal hız ($\gamma$), yıldızın model atmosfer parametreleri ($T_{eff}$, log $g$, [Fe/H]), yakın kızılötesi parlaklıkları (2MASS $J$, $H$, $K_s$ ve DENIS $I_D$, $J_D$, $K_D$ bantları), bazı elementlere (Al, Si, Ni, Mg, Ti, Fe) ait bolluk ölçümleri, özhareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos\delta$, $\mu_\delta$), uzaklık, yaş ve yıldızlararası kızarma verileri başta olmak üzere 138 sütun içeren bilimsel ve teknik veri bulunmaktadır. Bu katalogta radyal hız, yıldızın model atmosfer parametreleri, uzaklık ve kimyasal bollukların $I_{2MASS}$ parlaklığına göre tamlıkları Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Kordopatis ve diğ. 2013).




**Şekil 3.1:** RAVE DR4 kataloğundaki radyal hız, yıldız atmosfer parametreleri, kimyasal bolluklar ve uzaklıkların $I$ görünen parlaklık aralığındaki tamlıkları.

Bu katalogta, yıldızların atmosfer parametreleri Kordopatis ve diğ.'nin (2011) algoritmasının güncellenmiş şekli kullanılarak yıldızların CaII üçlüsünün bulunduğu bölgede alınan tayf çizgilerinin FWHM'daki eşdeğer genişlikleri, sentetik tayflarla eşleştirilerek radyal hız, yıldızın model atmosfer parametreleri ve element bollukları tayin edilmiştir. Algoritma iki kısımdan oluşur: karar ağacı algoritması, DEGAS (DEcision tree alGorithm for AStrophysics; Bijaoui ve diğ. 2012) ve izdüşüm algoritması MATISSE (MATrix Inversion for Spetral SynthEsis; Recio-Blanco ve diğ. 2006). Bu iki algoritma tayf eşleştirmelerini yaparken 2MASS kataloğunda verilen kızılötesi parlaklıkları kullanır. Bu gökyüzü taramasındaki parlaklıkların kullanılmasıyla serbest parametre sayısı azaltılarak daha önceki veri sürümlerinde görülen tayfsal parametreler arasındaki dejenerasyonluğun kırılması sağlamıştır. RAVE DR4 kataloğu yakın zamanda elde edilen yeni kalibre edilmiş çok sayıdaki veri setinden gelen bir üstünlüğe sahiptir; bu da güvenilir metal bolluğu ölçümlerine imkân tanımıştır. RAVE'in bu yeni kalibrasyon kütüphaneleri metal bollukları iyi bilinen çok sayıdaki açık ve küresel küme yıldızının yüksek çözünürlüklü tayflarından oluşturulmuştur. Bu sürümde kullanılan yeni algoritma ve kalibrasyon kütüphaneleri bir önceki veri sürümlerinden gelen yıldızların model atmosfer parametrelerinin yeniden tayini ve kalibrasyonu için kullanılmıştır. Daha sonra belirlenen etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve metal bolluğu parametreleri kullanılarak Boeche ve diğ.'nin (2011) güncellenmiş kimyasal algoritması üzerinden tekrar hesaplanmıştır. Ayrıca katalogta Zwitter ve diğ. (2010) ve Binney ve diğ.'nin (2014) yöntemleri kullanılarak her bir yıldız için hesaplanan uzaklık modülleri verilmiştir.

RAVE kataloğundaki yıldızların radyal hızlarının hesabı Siebert ve diğ.'nin (2011b) tanımladığı algoritma kullanılarak yapılmıştır. Burada radyal hızlar, süreklilikten çıkarılan tayfların Fourier uzayındaki standart çapraz korelasyon algoritması kullanılarak elde edilmişlerdir. İlk olarak, 10 şablon tayf kullanılarak radyal hız elde edilir. Hassasiyeti 5 km $s^{-1}$'den daha iyi olan radyal hız bu ilk tayin kullanılarak yıldız tayfı sıfır hız sistemine oturtulur. Zwitter ve diğ. (2008)'de tanımlanan $\chi^2$ tekniğine bağlı yöntem kullanılarak yeni bir şablon oluşturulur. Bu yeni şablon, daha hassas radyal hızın üretilmesinde kullanılır. Burada, iç hatalar maksimum korelasyon fonksiyonunun belirlenmesinde yapılan hata olarak elde edilmiştir. Bu işlemler, IRAF'taki *xcsao* paketi kullanılarak yapılmıştır.

RAVE DR4 kataloğundaki yıldızların %68'i için radyal hızlardaki iç hatalar DR3 kataloğundaki yıldızların %68'i için hesaplanan yaklaşık 2 km $s^{-1}$'den, 1.4 km $s^{-1}$'e azalmıştır. Bu katalog, kendinden önceki diğer üç veri sürümünden farklı olarak sözde (pseudo) $I_{pseudo}$-bandı parlaklığı değerleri yerine DENIS fotometrisiyle ölçülen $I_D$-bandı parlaklıklarını içeren bir katalogtur.

Bu veri sürümünde önemli değişiklikler yapılmıştır. Bundan önceki veri sürümlerinde her bir cisme ait varolan özhareketlerden en hassas değeri olan kataloğa aktarılırken, bu veri sürümünde her bir cisme ait farklı kaynaklardan gelen özhareketler listelenmiş ve hangi özhareket verisinin kullanıcıların tercihine bırakılmıştır. Bu nedenle RAVE DR4 kataloğu içerisindeki cisimlerin özhareket verileri sırasıyla şu kataloglardan alınmıştır: Tycho-2 (ESA, 1997), UCAC2, UCAC3, UCAC4 (Zacharias ve diğ. 2004, 2010, 2013), PPMX, PPMXL (Roeser ve diğ. 2010) ve SPM4 (Girard ve diğ. 2011).

## 3.2. KY YILDIZLARININ SEÇİMİ

KY yıldızlarının seçiminde ilk olarak RAVE DR4 (Kordopatis ve diğ. 2013) kataloğunda aşağıda verilen koşulları sağlayan yıldızlar seçilmiştir: i) tüm yıldız model atmosfer parametreleri elde edilmiş; ii) özhareket verisi UCAC4 (Zacharias ve diğ. 2013) kataloğunda bulunan; iii) 2MASS nokta kaynak kataloğunda (Cutri ve diğ. 2003) fotometrik filtre kalitesi "A" olan ($S/N$>20) ve iv) Galaktik enlemi $|b|$>10° olan yıldızlar. Yukarıdaki kriterleri sağlayan RAVE DR4 kataloğundan KY yıldızlarının tespitinin yapılabilmesi için $T_{eff}$ - log $g$ diyagramı oluşturularak, KY yıldızlarının literatürde iyi bilinen model atmosfer parametrelerine ($4000 < T_{eff}\,(\mathrm{K}) < 5400$ ve $1 < \log g\,(\mathrm{cm\ s^{-2}}) < 3$) ve tayflarının S/N oranlarına ( ≥ 40) sınırlamalar getirilerek Doktora tez çalışmasındaki KY örneği oluşturulmuştur.

## 3.3. KY YILDIZLARININ UZAKLIK TAYİNİ

RAVE DR4 kataloğundaki yıldızların elektromanyetik tayfın kızılötesi bölgesinde yer alan 2MASS fotometrik bantlarına ait görünür parlaklık ve hataları verilmiştir. Bir yıldızın ışığı teleskoba ulaşıncaya kadar kat ettiği mesafe boyunca geçtiği ortamdaki tozun ve gazın etkisiyle kızarma ve sönümlemeye maruz kalır. Bu nedenle görünür parlaklıklar yıldızın bulunduğu Galaktik koordinatlara göre farklı ölçekte hesaplanan

düzeltme katsayıları kullanılarak yıldızlararası ortamın neden olduğu bu etkiden arındırılırlar. Kızarma, Galaksi düzleminde çok sayıda yıldız, gaz ve toz bulutları bulunduğundan düşük Galaktik enlemli ($b$) yıldızlar için büyük bir etkiye sahipken, yüksek Galaktik enlemlerde bulunan nesnelere az etkir. RAVE DR4 verilerini kullanarak KY yıldızı seçimine başlamadan önce $|b| \leq 10°$ olan yıldızlar örneklemden çıkarılmıştır. Bu tercihin bir başka sebebi de RAVE grubunun belirlediği gözlem politikasındandır çünkü Galaktik düzleme yakın konumlarda bulunan cisimler çok sayıda ve birbirine yakın olduğundan alınan tayfların sentetik modellerle eşleştirmeleri sorunlu olmaktadır. Yıldızlararası kızarmanın ölçütü olarak genellikle Johnson fotometrik sisteminde tanımlanan $E(B\text{-}V)$ renk artığı kullanılır. Çalışmada, Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) Galaksideki farklı bakış doğrultuları için Galaktik toz sönümleme haritası kullanılmıştır. Bu harita, yıldızların Galaksi sınırına kadar olduğu varsayımı altında düzenlenmiştir. Çalışmadaki her bir yıldızın ekvatoral koordinatlarını girdi olarak NASA/IPAC Kızılötesi Bilim Arşivi'ndeki[7] portala yükleyerek kullanılacak yıldızların $E_{\infty}(B\text{-}V)$ renk artıkları alınmış ve sonra RAVE DR4 kataloğundaki cisimlerle eşleştirilmiştir. Yıldızların uzaklıkları bilindiği takdirde Galaksi sınırına kadar ölçülen uzaklıklar için belirlenen bu renk artığı değerleri indirgenerek yıldızların görünür parlaklıkları çeşitli katsayılarla birlikte yıldızlararası kızarma ve sönümlemeden arındırılmıştır.

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

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

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

$$d_1 = 10^{\frac{K_S - M_{K_S} + 5}{5}}. \quad (3.1)$$

Hesaplanan $d_1$ uzaklığı, Bahcall ve Soneira'nın (1980) eşitliğinde kullanılarak KY örneğindeki yıldızlar için bir ilk indirgenmiş renk artığı $E_d\,(B\text{-}V)_1$ değeri elde edilir:

$$E_d(B-V)_1 = E_\infty(B-V)\left(1 - e^{\frac{-|d_1 \sin b|}{h_z}}\right). \quad (3.2)$$

Burada $E_\infty(B\text{-}V)$, Schlafly ve Finkbeiner'ın (2010) yıldız doğrultusunda hesapladıkları renk artığı, $b$, yıldızın Galaktik enlemi ve $h_Z$, yıldızlararası tozun yükseklik ölçeğidir (Marshall ve diğ. 2006). Böylelikle uzaklık indirgemesi yapılan $E_d\,(B\text{-}V)_1$ renk artığı ile yakın kızılötesi bölgedeki $K_s$ görünür parlaklığı yıldızlararası kızarma ve sönükleştirmenin etkilerinden arındırılarak bir ilk $K_{s0,1}$ görünür parlaklığı Fiorucci ve Munari'nin (2003) sönümleme düzeltmesi katsayılarını kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$K_{s0,1} = K_s - (0.382 \times E_d(B-V)_1). \quad (3.3)$$

Bu noktadan sonra bu kez $K_{s0,1}$ görünür parlaklığı (3.1) eşitliğinde kullanılarak ikinci bir uzaklık ve bu uzaklıktan indirgenmiş renk artığı hesaplanır ve kızarmadan arındırma işlemi tekrar edilerek döngü yeniden başlatılır. Bu işlem, yıldızın uzaklığı değişmeyene kadar devam eder. Çalışmada yıldız uzaklıkları üçüncü iterasyonda sabitlenmiştir.

### 3.3.1. KY Yıldızlarının Güneş Merkezli Uzaklıklarının Hesabı

KY yıldızlarının Güneş merkezli uzaklıkları Güneş civarında nasıl bir dağılıma sahip olduklarının bilinmesi açısından gereklidir. Özellikle yıldızların $(X,Y)$ ve $(X,Z)$ iz-düşüm diyagramları, KY yıldızlarının Galaktik çeyreklere nasıl dağıldıklarının bilinmesini sağlar; zira Galaktik çeyrekler uzay hızı bileşenleri ve hız dispersiyonlarının analizleri açısından da önemlidir.

Güneş merkezli koordinat sisteminde merkezde Güneş bulunur. Koordinatlar birbirine dik olacak şekilde tanımlanan üç boyuttan oluşurlar: $r=r(X, Y, Z)$. Şekil 3.2'de temsili

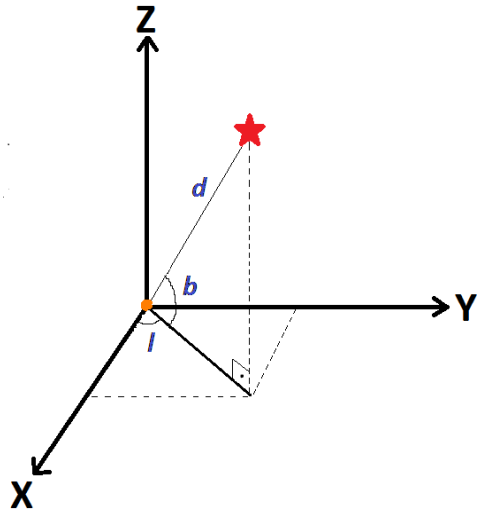
bir yıldızın $X$, $Y$ ve $Z$-eksenlerine göre Güneş merkezli dik koordinatlarının konumları, Galaktik koordinatlar ($l$, $b$) ve yıldızın Güneş'ten olan uzaklığı ($d$) gösterilmektedir. Şekildeki geometrik ilişkilerden yararlanarak $X$, $Y$ ve $Z$ koordinatları uzaklık ve Galaktik koordinatların fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Uzaklık parametresinin birimine bağlı olarak koordinatların birimi de değişir. Çalışmada kiloparsek (kpc) birimi cinsinden ifade edilmişlerdir.

$$X = d \cos b \cos l \tag{3.4}$$

$$Y = d \cos b \sin l \tag{3.5}$$

$$Z = d \sin b \tag{3.6}$$

Şekil 3.2'de $X$, Galaksi merkezi doğrultusunda, $Y$, Güneş'in dönme yönünde ve $Z$ Galaksi düzlemine dik doğrultuda olmak üzere yıldızın uzaklık bileşenleri gösterilmiştir.




**Şekil 3.2:** Güneş merkezli dik koordinat sistemi.

### 3.3.2. KY Yıldızlarının Galaksi Merkezli Uzaklıklarının Hesabı

KY yıldızlarının Galakside bulundukları konumdan Güneş'e olan uzaklıkları yukarıda bahsedilen yöntemle hesaplanmıştır. Şekil 3.3'ten görüleceği gibi yıldızların Güneş'ten olan uzaklıkları ve Galaktik koordinatları bilindiği için yıldızların Galaksimizin

merkezinden olan uzaklıkları ($R_{gc}$) kosinüs teoremi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

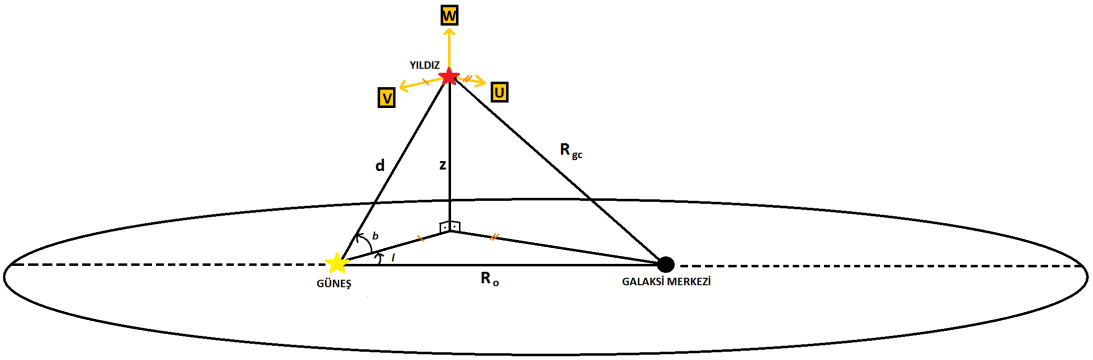
$$R_{gc} = (R_o^2 + d^2 - 2R_o\, d \cos l)^{1/2} \tag{3.7}$$

Burada $R_o$, Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı olup 8 kpc kabul edilmiştir (Majewski, 1993). KY yıldızlarının Galaksi merkezine olan uzaklıkları çalışmamızda özellikle yıldızların bugünkü konumları için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin elde edilmesinde kullanılacaktır.

## 3.4. KY YILDIZLARININ UZAY HIZLARININ HESAPLANMASI

KY yıldızlarının uzay hızlarının hesaplanabilmesi için yıldızların duyarlı radyal hız, özhareket ve uzaklık değerleri bilinmelidir. Çalışmada, radyal hızlar RAVE DR4 (Kordopatis ve diğ. 2013) ve özhareketler UCAC4 (Zacharias ve diğ. 2013) kataloglarından alınmıştır. Yıldızların uzaklıkları ise Bölüm 3.3'te anlatılan yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Yıldızların kinematik hesapları söz konusu olduğunda öncelikle yıldızların uzay hızı bileşenleri ve bu bileşenlerin hız dispersiyonlarının hesaplanması gerekir. KY yıldızlarının uzay hızları, yıldızların ekvatoral koordinatları, radyal hız, özhareket ve uzaklık verileri Johnson ve Soderblom'un (1987) dönüşüm matrisleri ve algoritması dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Hesaplarda, *Hipparcos* ve Tycho-2 (ESA 1997) kataloglarının Uluslararası Göksel Referans Sistemi'nde tanımlanan J2000 epoğu kullanılmıştır. Johnson ve Soderblom'un (1987) dönüşüm matrislerinde sağ-el kuralı uygulandığından bu hesaplamalar sonucunda elde edilen $U$, $V$, $W$ uzay hızlarının Güneş'e göre yön ve işaretleri şöyledir: $U$, Galaktik merkez ($l$=0°, $b$=0°); $V$, Galaktik dönme ($l$=90°, $b$=0°) ve $W$, Kuzey Galaktik kutup ($b$=90°) doğrultusunda pozitiftir. Şekil 3.3'te bir yıldızın Galaktik yörüngesi üzerinde sağ-el kuralına göre uzay hızı bileşenlerinin yönelimleri şematik olarak gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda Güneş'in Galaksi etrafındaki dönüş hızı 220 km $s^{-1}$ olarak kabul edilmiştir.




**Şekil 3.3:** Bir yıldızın Galaksi merkezi etrafındaki yörüngesi üzerinde *U, V, W* uzay hızı bileşenleri ve yıldız ile Güneş'in Galaksi merkezine uzaklıklarının şematik gösterimi.

Yıldızların uzay hızı bileşenleri matris formunda aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = B.\begin{pmatrix} \gamma \\ K\frac{\mu_\alpha \cos\delta}{\pi} \\ K\frac{\mu_\delta}{\pi} \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

Bu ifadede $K$, değeri 4.74057 olan bir sabittir. $\pi$, yıldızın paralaksı, $\mu_\alpha \cos\delta$ ve $\mu_\delta$ özhareket bileşenlerini ve $\gamma$, radyal hızı temsil eder. $B$, koordinatlara bağlı olarak tanımlanmış bir $T$ dönüşüm matrisi ve $A$ koordinat matrislerinin skaler çarpımıyla hesaplanan başka bir matristir.

$$B = T.A, \tag{3.9}$$

olup $T$ ve $A$ matrisleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$A = \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\delta & -\sin\alpha & -\cos\alpha\sin\delta \\ \sin\alpha\cos\delta & \cos\alpha & -\boldsymbol{sin}\alpha\sin\delta \\ \sin\delta & 0 & \cos\delta \end{pmatrix}. \tag{3.10}$$

Burada $\alpha$ ve $\delta$, yıldızın ekvatoral koordinatlarıdır.

$$T = \begin{pmatrix} \cos\theta_o & \sin\theta_o & 0 \\ \sin\theta_o & -\cos\theta_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -\sin\delta_{KGK} & 0 & \cos\delta_{KGK} \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos\delta_{KGK} & 0 & \sin\delta_{KGK} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \cos\delta_{KGK} & \sin\alpha_{KGK} & 0 \\ \sin\alpha_{KGK} & -\cos\delta_{KGK} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{3.11}$$

(3.11) eşitliğinde görülen $\alpha_{KGK}$=192°.25 ve $\delta_{KGK}$=27°.4, kuzey Galaktik kutbun ekvatoral koordinatları ve $\theta_o$=123° ise Kuzey Gök kutbunun, sıfır Galaktik enlemi ile kuzey Galaktik kutbu kesen yarı dairenin durum açısıdır. Bu değerler, Johnson ve Soderblom'un (1987) çalışmasında verilen değerler olup doktora tezinde *Hipparcos* ile yapılan duyarlı astrometrik ölçümlerden hesaplanan $\alpha_{KGK}$ ve $\delta_{KGK}$ değerleri kullanılarak $T$ matrisine adapte edilmiştir: $\alpha_{KGK}$=192°.85948 ve $\delta_{KGK}$=27°.12825.

$$T = \begin{bmatrix} -0.0548755604 & -0.8734370902 & -0.4838350155 \\ +0.4941094279 & -0.4448296300 & +0.7469822445 \\ -0.8676661490 & -0.1980763734 & +0.4559837762 \end{bmatrix}. \quad (3.12)$$

Galaksimizdeki yıldızların yörüngesel dönme hızları, Galaksinin iç kısımlarından dışına doğru yavaşladığından yıldızlar farklı hızlarda hareket ederler ve buna *diferansiyel dönme* denir. KY yıldızlarının mutlak parlaklıkları büyük mesafelerden bile görülebilmelerine olanak verdiğinden ($d \leq 3$ kpc) örneğimizdeki KY yıldızları için diferansiyel dönme düzeltmesi hesaplanarak, yıldızların uzay hızı bileşenlerinden çıkartılmıştır. Bu düzeltme yapılmadığı takdirde, Güneş'e göre hızlarda yıldızların Galaktik koordinatlarına bağlı olarak sistematik hatalar görülür. Bunun nedeni, bir yıldızın Güneş'e göre uzay hareketi ölçüldüğünde hesaplanan göreceli hızın, yıldızın Galaksi merkezine göre bulunduğu noktadaki Galaktik dönmeden bağımsız olmamasıdır. İncelenen KY yıldızları büyük bir uzay hacmi içinde yer aldığı için diferansiyel dönme yıldızların kinematiğini etkilemektedir. Diferansiyel dönme yalnızca Galaktik düzlemde etkili olduğundan $U$ ve $V$ uzay hızı bileşenlerine düzeltmeler uygulanmalıdır. Bunun için Mihalas ve Binney'in (1981) eşitlikleri kullanılır:

$$dU = \gamma \cos l - V_T \sin l \, . \quad (3.13)$$

$$dV = \gamma \sin l + V_T \cos l \, . \quad (3.14)$$

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

$$\gamma = A\, d_p \sin 2l \quad . \tag{3.15}$$

$$V_T = A\, d_p \cos 2l + B d_p \, . \tag{3.16}$$

Eşitliklerde verilen, $A$ ve $B$, Oort sabitleri için Mihalas ve Binney'in, (1981) verdiği değerler kullanılır: $A$ = 14.8 km $s^{-1}$ $kpc^{-1}$ ve $B$ = -12.4 km $s^{-1}$ $kpc^{-1}$. Burada $d_p$ düzlemdeki izdüşüm uzaklığıdır ve $d_p = d \cos b$ eşitliğiyle hesaplanır. Ayrıca $d$, yıldız ile Güneş arasındaki uzaklıktır. $l$ ve $b$ ise, sırasıyla, Galaktik boylam ve Galaktik enlemdir.

Galaksimizin dengede ve simetrik bir yapı gösterdiği ve hiçbir tedirginliğin olmadığı varsayımları altında, Galaksi merkezinden Güneş'e kadar uzanan yarıçaptaki ($R_o$=8 kpc) çember bir yörüngenin ortalama hızına eşit hızda hareket eden sisteme *yerel durağanlık standardı (LSR)* denir. KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri hesaplandıktan sonra, diferansiyel dönme düzeltmesini takiben LSR düzeltmeleri uygulanmıştır. Bunun için Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) RAVE DR3 verilerinden tüm yıldız popülasyonları için belirlenen LSR hızları $(U_\odot, V_\odot, W_\odot)$=(8.83, 14.19, 6.57) km $s^{-1}$ kullanılmıştır.

Yıldızların uzay hızı bileşenlerinin hesabında kullanılan $T$ ve $A$ matrisleri koordinatlara duyarlı olduğundan ve koordinatlardan gelen hata olmadığı ve yalnızca radyal hız ($\gamma$), özhareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos\delta$, $\mu_\delta$), ve uzaklık ($d$) parametrelerinden kaynaklanan rastgele ve bağımsız hatalar olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda, uzay hızlarındaki belirsizlikler Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması kullanılarak bu hataların yayılımlarından hesaplanmıştır. Bunun için her bir parametreden gelen hata (3.17) denklemindeki fonksiyon ile belirlenmiş ve (3.18) eşitliğine yerleştirilmiştir:

$$\sigma^2_{F(x,y,z)} = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 \quad . \tag{3.17}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_U^2 \\ \sigma_V^2 \\ \sigma_W^2 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} \sigma_\gamma^2 \\ (k/\pi)^2\left[\sigma_{\mu_\alpha}^2 + (\mu_\alpha \sigma_\pi/\pi)^2\right] \\ (k/\pi)^2\left[\sigma_{\mu_\delta}^2 + (\mu_\delta \sigma_\pi/\pi)^2\right] \end{bmatrix} + 2\mu_\alpha \mu_\delta k^2 \sigma_\pi^2/\pi^4 \begin{bmatrix} b_{12}b_{13} \\ b_{22}b_{23} \\ b_{32}b_{33} \end{bmatrix} \quad . \tag{3.18}$$

Burada $\sigma$, dispersiyon olup hangi hesaplama parametresine ait olduğu alt simgelerle gösterilmiştir. İfadeye çarpan olarak gelen $C$ ise (3.19) eşitliğinde tanımlanan $B$ matrisinin karesi alınarak elde edilmiştir:

$$C_{ij} = B_{ij}^2 \ . \tag{3.19}$$

Yıldızların toplam uzay hızı ($S$) ve toplam uzay hızlarındaki belirsizlik ($S_{ht}$), sırasıyla, uzay hızı bileşenlerinin ve her bir uzay hızı bileşeninin hataları ($U_{ht}$, $V_{ht}$, $W_{ht}$), hataların yayılma prensibine göre, (3.20) ve (3.21) eşitlikleriyle hesaplanmıştır:

$$S = (U^2 + V^2 + W^2)^{1/2} \ . \tag{3.20}$$

$$S_{ht} = (U_{ht}^2 + V_{ht}^2 + W_{ht}^2)^{1/2}. \tag{3.21}$$

## 3.5. UZAY HIZI DİSPERSİYONLARININ HESAPLANMASI

Tanım gereği dispersiyon, bir popülâsyonda bulunan cisimlerin herhangi bir parametresinin ortalama değere göre sapma miktarını veren, ölçülebilir bir büyüklük olup şu şekilde tanımlanır:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X-\bar{X})^2}{N}} \ . \tag{3.22}$$

Burada $\sigma$, dispersiyonu (saçılmayı) temsil ederken, $X$ dispersiyonu hesaplanan grubu, $\bar{X}$, dispersiyonu hesaplanan grubun ortalama değerini ve $N$, yıldız sayısını gösterir. KY yıldızlarının $U$, $V$ ve $W$ uzay hızı bileşenleri hesaplanırken verilere uygulanan LSR düzeltmesi, burada, ortalama hız terimi yerine geçtiği için $U$, $V$ ve $W$ uzay hızı dispersiyonlarının hesabı (3.23)'teki eşitliklere göre yapılmıştır:

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{\sum_i^N (U_{LSR,i}^2)}{N}} \qquad \sigma_V = \sqrt{\frac{\sum_i^N (V_{LSR,i}^2)}{N}} \qquad \sigma_W = \sqrt{\frac{\sum_i^N (W_{LSR,i}^2)}{N}} \ . \tag{3.23}$$

Toplam uzay hızı dispersiyonu ise şu formülle hesaplanmıştır:

$$\sigma_{top} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_V^2 + \sigma_W^2}\ . \tag{3.24}$$

Benzer şekilde uzay hızı bileşenlerinin dispersiyonlarındaki belirsizlikler ise (3.25) eşitlikleriyle hesaplanmıştır.

$$\sigma_{U,ht} = \frac{\sum_i^N \sigma_{U,i}}{N} \qquad \sigma_{V,ht} = \frac{\sum_i^N \sigma_{V,i}}{N} \qquad \sigma_{W,ht} = \frac{\sum_i^N \sigma_{W,i}}{N}\ . \tag{3.25}$$

## 3.6. DİNAMİK PARAMETRELERİN HESABI

Çalışmada, KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerini elde etmek için Bovy'nin (2015) geliştirdiği *Python* programlama dilinde yazılan *galpy* paketi kullanılmıştır. *Galpy*, temel python bilimsel kütüphaneleri olan *scipy*, *numpy* ve *matplotlib*'i kullanır. Programın temelinde potansiyel ve yörünge nesneleri bulunur. Bunlar sayesinde çok çeşitli potansiyeller ve onlara uygun yörüngeler hesaplanabilmektedir. Ayrıca programın yapısında çok sayıda fonksiyon vardır. Söz konusu fonksiyonlarla *galpy*'nin yapısındaki temel potansiyeller özelleştirilebilir; bu potansiyeller içerisinde yer alan yörüngeler integre edilip istenildiği şekilde düzenlenebilir ve yörüngelerin dağılımlarıyla çalışılabilir.

*Galpy* paketi içerisinde yörünge parametre hesabında özelleştirmeler yapılmasına yarayan çeşitli modüller vardır. Bu modüller şöyle sıralabilir: Çekimsel potansiyel türlerini ve bunlarla ilişkili fonksiyonları içeren modül *galpy.potential*; yörünge türleri ve bunlarla ilişkili fonksiyonları içeren modül *galpy.orbit*; hareket açısı koordinatlarının hesaplanmasıyla ilgili modül *galpy.actionAngle*; dağılım fonksiyonlarını içeren modül *galpy.df*; grafik çizme, koordinat ve birim dönüşümü gibi işlevlerin görülmesini sağlayan yardımcı programlarla ilgili modül *galpy.util.*

Gerçek ya da sentetik olarak seçilen herhangi bir yıldız örneğinin koordinatları, astrometrik ve kinematik parametreleri kullanılarak söz konusu örneklemin içinden seçilen potansiyel ya da potansiyel dizilimine uygun olarak ihtiyaç duyulan tüm yörünge dinamiği parametrelerinin hesaplanabilmesi için geliştirilmiştir. *Galpy*, düzlem

yörüngeler için faz uzayı hacminin yörünge integrasyonunun yapılmasını sağlar; herhangi bir faz uzayı noktasının genel küresel koordinatlarda hareket açısı koordinatlarını ve yörünge frekanslarını verir; asimetrik potansiyel için genel yaklaşımları kullanır. Programın yapısında iki boyutlu asimetrik ve asimetrik olmayan disk dağılım fonksiyonları gibi çok sayıda çeşitli dağılım fonksiyonları vardır.

*Galpy.potential* modülü Samanyolu çekimsel potansiyeli için tasarlanan, kullanımı kolay ve basit bir potansiyel içerir: *MWPotential2014*. Bu model Samanyolu galaksisine dair en güncel verilerden yola çıkılarak, onu temsil eden dinamik etkilerin fit edilmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te *MWPotential2014* ile çizilen Galaksimizin tamamı ve bileşenleri olan şişkin bölge, disk ve haloyu temsil eden dönme eğrileri görülmektedir.

Galaksimiz için belirlenen bu potansiyel, Bovy ve Rix'te (2013) bahsedilen potansiyelin biraz daha basitleştirilmiş şeklidir. Modelde, şişkin bölge için güç kanunu indeksi -1.8 ve kesilme yarıçapı 1.9 kpc olan kesikli bir güç kanunu tanımlanmıştır.

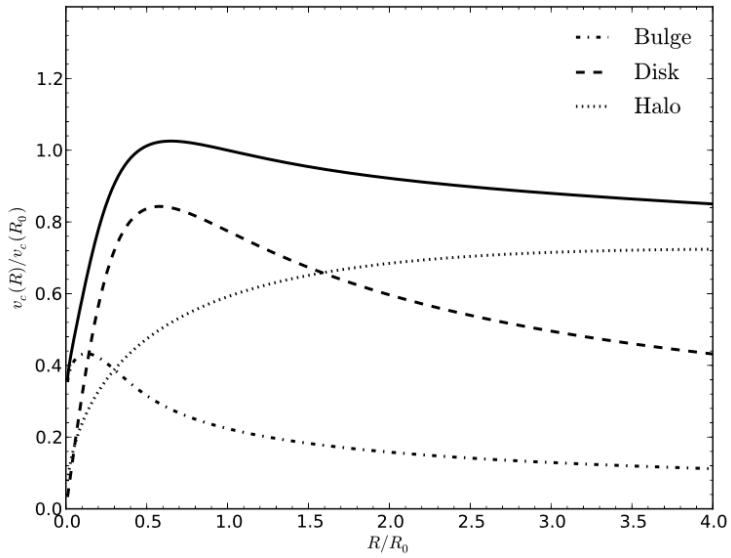
Disk için tanımlanan Miyamoto-Nagai (1975) potansiyeli ($\phi_{disk}$):

$$\phi_{disk}(R_{gc}, Z) = -\frac{GM_d}{\sqrt{R_{gc}^2+\left(a_d+\sqrt{Z^2+b_d^2}\right)^2}} \tag{3.26}$$

Burada $R_{gc}$, yıldızın Galaksi merkezine olan uzaklığı, $Z$, yıldızın Galaksi düzlemine dik uzaklığı, $G$, evrensel çekim sabiti, $M_d$, disk kütlesi, $a_d$ ve $b_d$, Galaksi diskinin uzunluk ve yükseklik ölçekleridir.

Karanlık madde halosu için Navarro, Frenk ve White (1996) potansiyeli ($\phi_{\text{halo}}$) tanımlanmıştır:

$$\phi_{halo}(r) = -\frac{GM_s}{R_{gc}} \ln\left(1+\frac{R_{gc}}{r_s}\right) \tag{3.27}$$




**Şekil 3.4:** MWPotential2014 birleşik potansiyel modeline göre 32 kpc'e kadar tüm galaksiyi (düz çizgi) ve galaksinin şişkin bölge (noktalı-kesikli çizgi), disk (kesikli çizgi) ve halo (noktalı bileşenlerini temsil eden dönme eğrileri.

Burada $M_S$ ve $r_S$, sırasıyla, halo için varsayılan sferoidin kütlesi ve yarıçapıdır. Tanımlanan bu potansiyeller şu verilere fit edilmiştir.

i) Şişkin bölge için Baade penceresindeki hız dispersiyonu, $\sigma_b$=117±15 km s$^{-1}$'dir.

ii) Galaktik düzlemden 1.1 kpc ötede Güneş çemberinin dikey kuvveti $|F_Z|=67\pm6(2\pi G\mathrm{M}_\odot\ \mathrm{pc}^{-2})$ ve Zhang ve diğ.'ne (2013) göre yerel görünür yüzey yoğunluğu $\Sigma=55\pm5\ \mathrm{M}_\odot\ \mathrm{pc}^{-2}$'dir. Bu uzaklıktaki dikey kuvvet ölçümleri Bovy ve diğ.'den (2013) alınmıştır.

iii)Clemens (1985) ve McClure-Griffiths ve Dickey'nin (2007) terminal hız ölçümleri kullanılmıştır.

iv)Holmberg ve Flynn'in (2000) Güneş komşuluğu için orta düzlem yoğunluk ölçümü: $\rho(R_o, Z=0) = 0.10 \pm 0.01\ \mathrm{M}_\odot\ \mathrm{pc}^{-3}$.

v) Bovy ve diğ.'deki (2012b) dönme eğrisinin logaritmik eğimi üzerine sınırlama getirilmiştir.

vi)Galaksinin 60 kpc'e kadar uzanan kısmındaki toplam kütlenin ölçümü Xue ve diğ.'den (2008) alınmıştır ve değeri, $M(r < 60\ \mathrm{kpc}) = 4.0 \pm 0.7\times10^{11}\ M_\odot$'tir.

Bu sınırlamalara ek olarak Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı $R_o$=8 kpc ve Güneş'in Galaksi merkezi etrafındaki dairesel hızı $V_o$=220 km s$^{-1}$ kabul edilmiştir (Bovy ve diğ. 2012b). Tablo 3.1'de *MWPotential2014*'ün genel özellikleri listelenmiştir.

Tabloda Galaksiye ait üç temel bileşenin kütleleri ve NFW halosunun virial özellikleri (yarıçap, kütle ve yoğunluk) görülmektedir. $R_d$, Miyamoto-Nagai disk yoğunluğuna fit edilen yaklaşık uzunluk ölçeğidir. Yerel karanlık madde yoğunluğu $\rho_{DM}$ = 0.008 $M_\odot$ $pc^{-3}$ olup güncel sınırlamalarla (örneğin Bovy ve Tremaine, 2012; Zhang ve diğ. 2013; Piffl ve diğ. 2014) ve kaçış hızıyla (Smith ve diğ. 2014) uyumludur. *MWPotential2014* potansiyeli merkezde süper kütleli bir karadeliğin varlığını hesaplarına katmamaktadır.

**Tablo 3.1:** *MWPotential2014*'teki parametre değerleri.

| **Parametre** | **Değeri** | **Değer Aralığı** |
|---|---|---|
| $R_0$ (kpc) | 8 | |
| $v_c$ $(R_0)$ (km $s^{-1}$) | 220 | |
| $f_b$ | 0.05 | |
| $f_d$ | 0.60 | |
| $f_h$ | 0.35 | |
| Şişkin bölge için güç kanunu katsayısı | -1.8 | |
| Şişkin bölge için kesilme yarıçapı (kpc) | 1.9 | |
| $a$ (kpc) | 3.0 | |
| $b$ (pc) | 280 | |
| Halo için $r_s$ (kpc) | 16 | |
| | | |
| $\sigma_b$ (km $s^{-1}$) | 109 | 117 ± 15 |
| $F_Z(R_0,1.1\text{kpc})(2\pi G M_\odot$ $pc^{-2})$ | 72 | 67± 6 |
| $\Sigma_{vis}(R_0)$ ($M_\odot$ $pc^{-3}$) | 53 | 55± 5 |
| $F_Z$ uzunluk ölçeği (kpc) | 3.2 | 2.7±0.1 |
| $\rho(R_0,z=0)$ ($M_\odot$ $pc^{-3}$) | 0.10 | 0.10±0.01 |
| $(\ln v_c / \ln R)\|_{Ro}$ | -0.10 | -0.2 – 0 |
| $M(r<60$ kpc) ($10^{11}$ $M_\odot$) | 4.1 | 4.0±0.7 |
| | | |
| $M_b$ ($10^{10}$ $M_\odot$) | 0.5 | |
| $M_d$ ($10^{10}$ $M_\odot$) | 6.8 | |
| $R_d$ (kpc) | 2.6 | |
| $\rho_{DM}$ $(R_o)$ ($M_\odot$ $pc^{-3}$) | 0.008 | |
| $M_{vir}$ ($10^{12}$ $M_\odot$) | 0.8 | |
| $r_{vir}$ (kpc) | 245 | |
| Yoğunlaşma | 15.3 | |
| $v_{esc}$ ($R_0$) (km $s^{-1}$) | 513 | |

Tablo 3.1, üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda *MWPotential2014*'ün yapısındaki potansiyellerde bulunan parametrelerin değerleri verilmiştir. Bunlar; $R_o$'daki radyal kuvvet, şişkin bölge ($f_b$), disk ($f_d$) ve halodan ($f_h$) yapılan rölatif katkılar, şişkin bölge yoğunluğunun eksponansiyel kesilme yarıçapı ve güç kanunu katsayısı, Miyamoto-Nagai disk modelinin uzunluk ($a$) ve yükseklik ölçekleri ($b$) ve Navarro-Frenk-White halo modelinin ölçek yarıçapı ($r_s$). Tablonun ikinci kısmında model parametrelerinin fit edildiği bazı sınırlamalar verilmiş ve son kısmında ise bazı ek potansiyel özellikleri listelenmiştir.

*MWPotential2014* koduyla hesaplanan temel yıldız yörünge parametreleri şunlardır: Galaksi düzleminin iki zıt yönünde ulaşılan en büyük dik yükseklikler ($z_{min}$, $z_{max}$), yıldız yörüngesinin Galaksi merkezine olan en büyük ($r_a$) ve en küçük ($r_p$) uzaklıkları, yıldızların yörünge açısal momentum bileşen değerleri ($L_X$, $L_Y$, $L_Z$). Yıldız yörüngelerinin hesaplandığı potansiyeller simetri varsayımı üzerine kurulu olduğundan programda $z_{min}$ ve $z_{max}$ değerleri birbirine eşit değerlerde hesaplanmaktadır. Doktora tez çalışmasında, KY yıldızları için hesaplanan bu yörünge parametreleri kullanarak bu yıldızlara ait diğer yörünge parametreleri de hesaplanmıştır. Bunlar, Galaksi merkezine olan ortalama uzaklık ($R_m$), Galaksi düzleminde ($e_p$) ve bu düzleme dik doğrultudaki ($e_v$) basıklık parametreleridir. Bu parametreler Vidojevic ve Ninkovic'e (2009) göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_m = \frac{r_a + r_p}{2}\,, \tag{3.28}$$

$$e_p = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p}\,, \tag{3.29}$$

$$e_V = \frac{\frac{1}{2}(|z_{min}| + |z_{max}|)}{R_m}\,, \tag{3.30}$$

## 3.7. YILDIZLARIN KİNEMATİK YAŞI

Galaksimizde bulunan tüm nesneler çekimsel olarak birbirine bağlıdır. İdeal olarak, Galaksimizdeki nesnelere bakıldığında her birinin aynı Galaktik potansiyelde doğduğu ve buna uygun olarak yerleştikleri yörüngelerinde hareket ettikleri düşünülebilir. Fakat yıldızlar ve tüm diğer nesneler milyarlarca yıldır hareket ettikleri yörüngelerinde civarından geçtikleri tüm cisimlerle etkileşerek bir takım pertürbasyonlara maruz kalırlar. Özellikle yıldızlararası ortamda bulunan gaz ve toz bulutlarının, yıldızlarla çekimsel etkileşimleri, Galaktik diferansiyel dönmenin de etkisiyle yıldızların uzay hızlarının zamanla artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla yıldızların yaşları ile kinematikleri arasında doğal bir ilişki vardır. Özellikle bu etki yaşlı yıldızların hız dispersiyonlarında daha belirgindir. Erken tayf türündeki yıldızlar, molekül bulutlarından yeni doğmuş nesneler olduklarından toplam uzay hızlarında önemli bir

değişim meydana gelecek kadar etkileşim geçirmemişlerdir. Bu etki O ile B tayf türü yıldızlar için 10 km $s^{-1}$'lik bir artışı temsil ederken, daha geç tayf türündeki, örneğin F, yıldızlar için 20 km $s^{-1}$'e karşılık gelmektedir. Yıldızlararası ortamdaki bulutlarla çekimsel etkileşmelerin sonucu olarak yıldızların dönme hızları ($V$) arttıkça azalan bir yayılma katsayısı olduğu hesaplanmıştır (Spitzer ve Schwarzschild, 1951; 1953). Yayılma katsayısı, karşılıklı etkileşmeler esnasında nesnelerin birbirine göre hızlarının kıyası yapılarak belirlenir:

$$C_v = \gamma_v / v, \tag{3.31}$$

$$d(v^2) = C_v dt, \tag{3.32}$$

burada $\gamma_v$ yayılma mekanizmasına bağlı bir sabittir. Eşitlik 3.31 ve 3.32'den,

$$v^3 = v_0^3 + \frac{3}{2}\gamma_v \tau, \tag{3.33}$$

ifadesi oluşturulur. Hız dispersiyonu $\sigma_v$'nin kinematik yaş ($\tau$) ile artışını bulabilmek için $V^2$ nin başlangıç hızlarının ($V_0$) dağılımı üzerinden integrali alınmalıdır. Fakat bu dağılım iyi bilinmemektedir, o nedenle $v_0 = \sigma_{v,0}$ varsayılarak hız dispersiyonu,

$$\sigma_v = \left(\sigma_{v,0}^3 + \frac{3}{2}\gamma_v \tau\right)^{\frac{1}{3}}, \tag{3.34}$$

şeklinde ifade elde edilir. Bu varsayım altında hesaplanan hız dispersiyonu hataları $\sigma_v >> \sigma_{v,0}$ ve $\sigma_v \approx \sigma_{v,0}$ halleri için ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Ortalama değerler için bu %10'dan daha küçük mertebelerde kalır. Büyük yıldız yaşları için gözlenen hızlar (3.34) eşitliğinin izin verdiğinden yaşa bağlı olarak daha hızlı artmıştır. Bu sonuca göre $\gamma_v$, zamana bağlıdır. Galaktik çekimsel alan zamanla düzgünleşebilir ve $\gamma_v$ de zamanla azalabilir, bu koşullar altında,

$$\gamma_v(t) = \gamma_{v,g} \times \exp\left(-\frac{(t-t_g)}{T_\gamma}\right), \tag{3.35}$$

ifadesi elde edilir. Eşitlik (3.35)'te $\gamma_{v,g}$, zamana bağlı $\gamma_v$ sabitinin günümüzdeki değerini ve $T_\gamma$, $\gamma_v$ sabitinin bozunma zamanını ($5 \times 10^9$ yıl) ve $t_g$ ise günümüzdeki zamanı temsil etmektedir. (3.31), (3.32) ve (3.35) eşitliklerinden, $v_o \approx \sigma_{v,0}$ durumu için,

$$\sigma_v^3 = \sigma_{v,0}^3 + \frac{3}{2}\gamma_{v,p}T_\gamma \left[\exp\left(\frac{\tau}{T_\gamma}\right) - 1\right], \tag{3.36}$$

ifadesine ulaşılır. Burada $\sigma_v$, nesne grubunun toplam hız dispersiyonu, $\sigma_{v,0}$, sıfır yaşındaki nesnenin hız dispersiyonudur. $\sigma_{v,0}$'ın başlangıç değeri 10 km $s^{-1}$'dir (Wielen, 1977). Eşitlik (3.36) zamanla geliştirilerek hassas katsayılar hesaplanmıştır (Cox, 2000): $\gamma_{v,g}$=1.0915 × $10^{-5}$ km $s^{-1}$. Güncel katsayı değeri (3.36) eşitliğine yerleştirince,

$$\sigma_v^3 = 1000 + 81862.5 \left[\exp\left(\frac{\tau}{5\times10^9}\right) - 1\right], \tag{3.37}$$

elde edilir. Burada τ, yıl cinsinden kinematik yaş olup $\sigma_v^3$'e karşılık gelir.

## 3.8. METAL BOLLUĞU GRADYENTİ TAYİNİ

Gradyent, herhangi bir fiziksel büyüklüğün uzaklıkla değişimi olarak tanımlanır. Yıldız için hesaplanan metal bolluğunun, Galakside seçilen bir merkezden (Güneş, galaksi merkezi vb.) itibaren belirlenen çeşitli uzaklıklar için değişiminin ölçülmesine *metal bolluğu gradyenti* denir. Bunun için oluşturulan bir yıldız örneğinin ilgili uzaklık ve metal bolluğu verilerinin dağılımına geçirilen doğrusal fitin eğimine bakılır. Bu eğim şu şekilde tanımlanır:

$$\frac{d[\mathrm{Fe/H}]}{dr} = a[\mathrm{Fe/H}] + b. \tag{3.38}$$

Burada *r*, Galaksi merkezine olan uzaklık, *a* ve *b* parametreleri denklemin eğimi ve sabitidir. (3.38) eşitliğindeki eğim metal bolluğu gradyentini, sabit ise eşitliğin sıfır noktasını göstermektedir. Eğer hesaplanan metal bolluğu gradyenti Galaksi düzlemi ile aynı doğrultuda ise *radyal metal bolluğu gradyenti*, dik doğrultuda ise *dikey metal bolluğu gradyenti* olarak adlandırılır. Metal bolluğu literatürde birçok farklı şekilde

kullanılmaktadır. Kısaca bir yıldızın tayfından güvenilirlik sınırları içerisinde ölçülebilen her türlü element (O, Mg, Ne, Ar, Ni, Si, Fe vb.) için bu hesap yapılabilir. Literatürde kullanılan uzaklık parametreleri, radyal gradyentler için yıldızların Galaksi merkezine göre bugünkü konumları, $R_{gc}$, yıldızların Galaksi merkezi etrafında dairesel bir yörüngede dolandığı varsayımı altında hesaplanan rehber yarıçap, $R_g$ ve *y*ıldızların kapalı yörüngelerinin Galaksi merkezinden olan en yakın ve en uzak konumlarının ortalaması olarak hesaplanan ortalama yarıçap, $R_m$ olabilir. Dikey metal bolluğu gradyentlerinin hesabı için literatürde genelde iki dikey uzaklık parametresi kullanılmaktadır. Bunlardan biri yıldızların bugünkü konumuna göre Galaksi düzleminden dik doğrultudaki Güneş merkezli uzaklık, $Z$, ile yıldızların kapalı yörüngeleri dikkate alındığında Galaksi düzleminden dik doğrultuda ulaşabilecekleri en büyük uzaklık, $z_{max}$'tır.

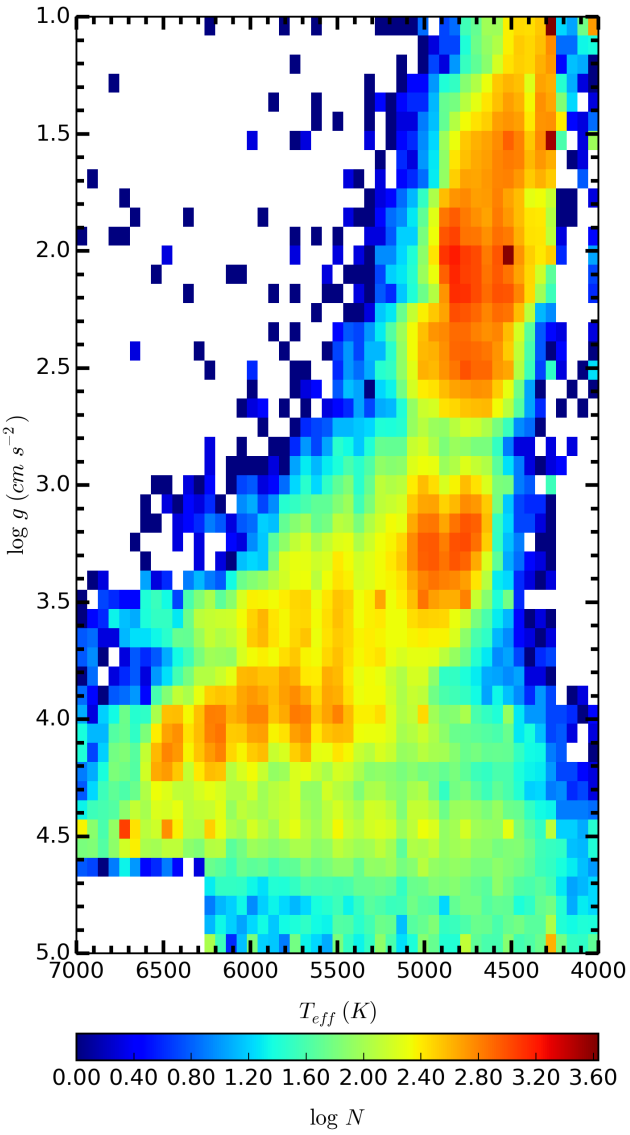
# 4. BULGULAR

## 4.1. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI

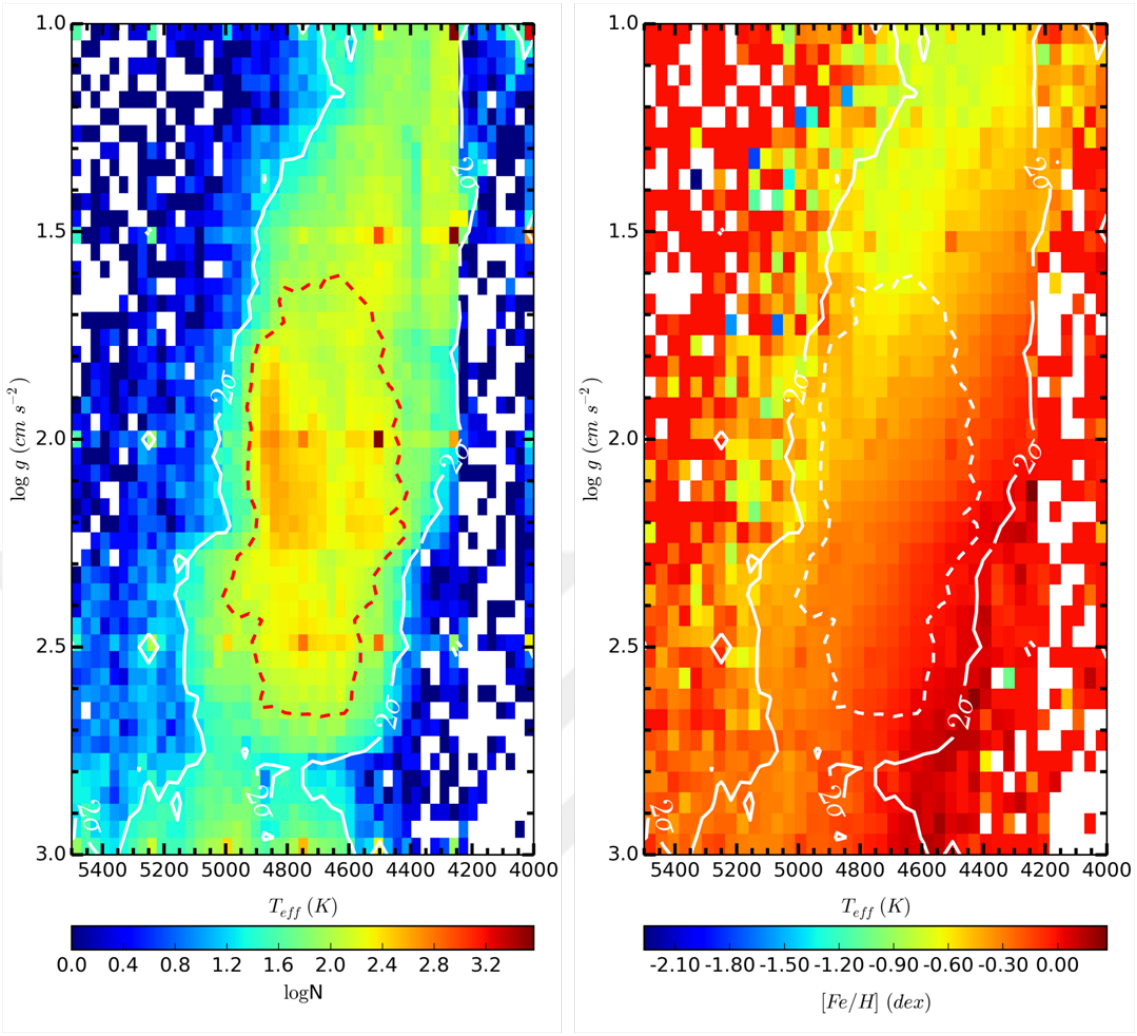
RAVE DR4 kataloğunda 425,561 yıldızın atmosfer parametreleri verilmiştir. Tez çalışmasında KY yıldızlarının tespitinin yapılabilmesi için yıldızların atmosfer model parametrelerinden faydalanılmıştır. Bunun için öncelikle $T_{eff}$ - log $g$ diyagramı (H-R), logaritmik yıldız yoğunluğuna bağlı olarak oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Diyagramda çok sayıda yıldızın kümelenme gösterdiği üç temel bölge dikkati çekmektedir: Biri merkezlerinde kararlı H-yanma reaksiyonları gerçekleşen cüce yıldızların yer aldığı anakol, diğeri merkezinde nükleer reaksiyonlar durduğu için anakoldan ayrılan altdev kolu ve son bölge de kırmızı dev kolu üzerinde KY yıldızlarının bulunduğu yerdir. Bu bölge, kabaca $4000 < T_{eff}$ (K) $< 5400$ ve $1 <$ log $g$ (cm s$^{-2}$) $< 3$ sınırları içerisindedir. Çalışmamız için gereken güvenilir KY yıldızı adayları bu sınır içerisinde yoğunluğun en çok olduğu bölgenin civarında bulunmalıdır. Bir tayf gözleminden itibaren elde edilecek atmosfer parametrelerinin duyarlı olarak belirlenebilmesinde sinyal-gürültü (*S/N*) oranı belirleyici unsurlardan biridir. RAVE DR4 kataloğunun temel parametresi olan radyal hız ölçümlerindeki hata, $S/N \geq 40$ olduğunda ~2 km s$^{-1}$'e kadar azaldığından, bir başka deyişle, bu sınırdaki yıldızlar için hesaplanan radyal hız ve atmosfer parametreleri daha duyarlı hesaplanabilir (Kordopatis ve diğ. 2013).

Şekil 4.1'de çizilen $T_{eff}$ –log $g$ diyagramı üzerinde KY yıldızlarının yoğunlaştığı bölge, $4000 < T_{eff}$ (K) $< 5400$ ve $1 <$ log $g$ (cm s$^{-2}$) $< 3$'dir. Buradaki evrimleşmiş yıldızlar hem yıldız sayı yoğunluğuna hem de metal bolluğuna duyarlı olarak Şekil 4.2'de ayrıntılı gösterilmiştir. Şekil üzerinde yıldız sayı yoğunluğunun en büyük olduğu değere bağlı olarak belirlenen $1\sigma$ ve $2\sigma$ kontürleri sol panelde sırasıyla kırmızı kesikli ve beyaz düz çizgilerle gösterilirken, aynı kontürler sağ panelde sırasıyla beyaz kesikli ve beyaz düz çizgilerle belirtilmiştir. Çalışmamız için gereken güvenilir KY yıldızı adayları $1\sigma$ kontür çizgisinin içerisinde kalan 68,663 yıldız içerisinden seçilmiştir. Şekil 4.2'nin sağ panelinde verilen [Fe/H]'a göre çizilen $T_{eff}$ – log $g$ diyagramı çalışmada kullanılan KY

yıldızlarının geniş bir metal bolluğu aralığında bulunduğunu göstermektedir. Duyarlı astrofizik parametreleri ve radyal hızları olan RAVE DR4 yıldız örneğini elde etmek için verilere getirilmesi önerilen bir diğer sınırlama *S/N* idi ve bunun için de $S/N \geq 40$ olan verilerin seçilmesi önerilmiştir (Kordopatis ve diğ. 2013). Bu nedenle örneğimizdeki KY yıldızlarının *S/N* dağılımını görebilmek için Şekil 4.3'teki dağılım oluşturulmuştur.

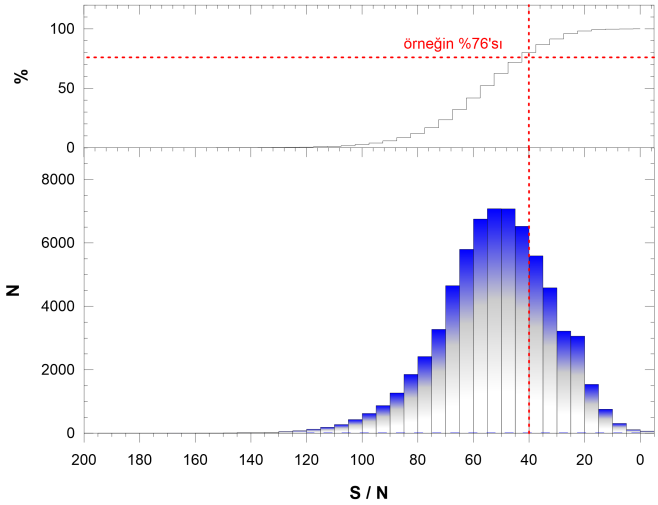



**Şekil 4.1:** RAVE DR4 kataloğundaki 425,561 yıldızın $T_{eff}$ - log $g$ diyagramı. Renkler logaritmik sayı yoğunluğuna göre verilmiştir.




**Şekil 4.2:** KY yıldızlarının yüksek olasılıkla bulunduğu, 4000 < $T_{eff}$ (K) < 5400 ve 1 < log $g$ (cm s$^{-2}$) < 3 bölgenin logaritmik sayı yoğunluğu (log *N; sol panel*) ve metal bolluğuna ([Fe/H]; sağ panel) göre çizilen $T_{eff}$–log $g$ diyagramları.

Şekil 4.3'ün alt panelinde KY yıldızı olarak belirlenen örneğin *S/N* değerlerine göre frekans dağılımları ve üst panelde *S/N*'ye göre yıldız sayılarının birikimli dağılımı verilmiştir. 68,663 KY yıldızından oluşan örneğimize *S/N*≥ 40 sınırlaması getirildiğinde yıldız sayısı 52,196 olmuştur. Bu da tüm KY örneğinin %76'sını oluşturur. Bu şartı sağlamayan yıldızlar istatistik dışı bırakılmıştır.



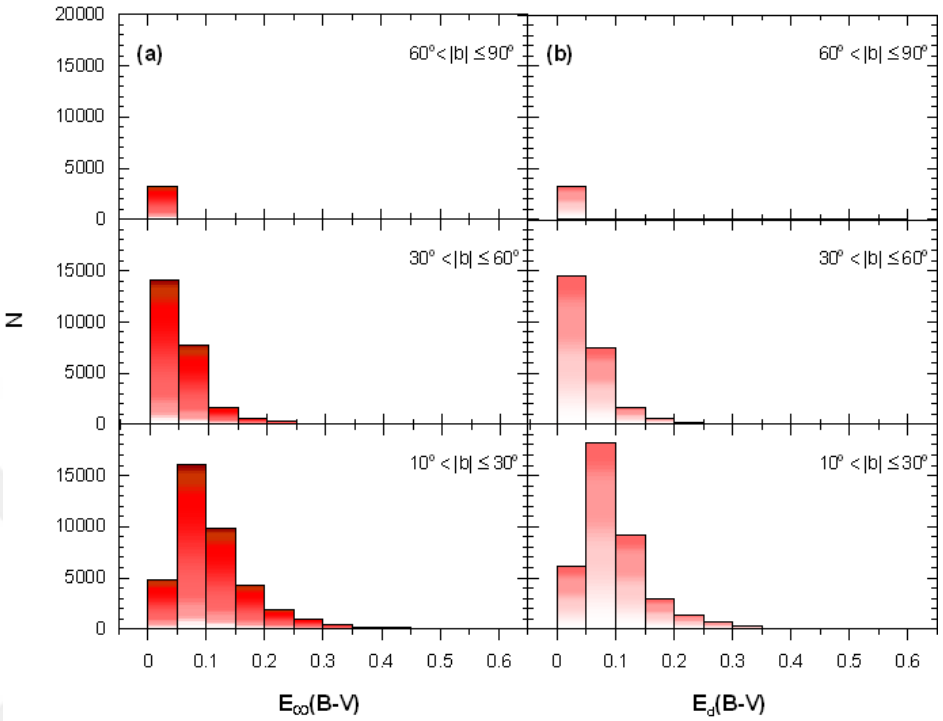

**Şekil 4.3:** RAVE DR4 kataloğundan seçilen 68,663 KY yıldızının S/N oranlarının frekans (alt panel) ve birikimli dağılımları (üst panel).

## 4.2. KY YILDIZLARININ UZAKLIKLARI

KY yıldız uzaklıklarının tayininde fotometrik paralaks yönteminin tercih edildiği Bölüm 3.3'te bahsedilmiştir. Bunun için öncelikle $K_s$ görünen parlaklığının yıldızlararası kızarmadan arındırılması gerekmektedir. Çalışmamızda yıldızların uzaklık tayini ve renk artıklarının belirlenmesi yine Bölüm 3.3'te verilen yöntemle eş zamanlı olarak yapılmıştır. Renk artıklarının indirgenmesinde yıldız doğrultusunda, Galaksimize ait Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) kızarma haritaları kullanılmış ve yaklaşık üç iterasyondan sonra yıldızların uzaklıklarının değişmediği görülmüştür. Bu yöntem uygulanarak yıldız uzaklıkları ve bu uzaklıklara denk gelen indirgenmiş renk artıkları belirlenmiştir. Kızarma haritalarından gelen renk artıkları ile iteratif yöntemle indirgenen renk artıkları yıldızların Galaktik enlemlerine bağlı olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

KY yıldızlarının bulunduğu doğrultularda, sırasıyla $10° < |b| \leq 30°$, $30° < |b| \leq 60°$ ve $60° < |b| \leq 90°$ Galaktik enlem aralıkları için, Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) Galaksimizin sınırı için verilen $E_\infty(B\text{-}V)$ renk artığı histogramları Şekil 4.4 (a)'da görülmektedir. Aynı Galaktik enlem aralıkları için Bahcall ve Soneira'nın (1980) formülüyle indirgenen $E_d(B\text{-}V)$ renk artığı histogramları da Şekil 4.4 (b)'de gösterilmiştir. Paneller birbirleriyle karşılaştırıldığında renk artıklarında beklenen bir azalma olduğu görülmektedir. Yıldızlararası kızarma ve sönükleşmenin etkisi artan

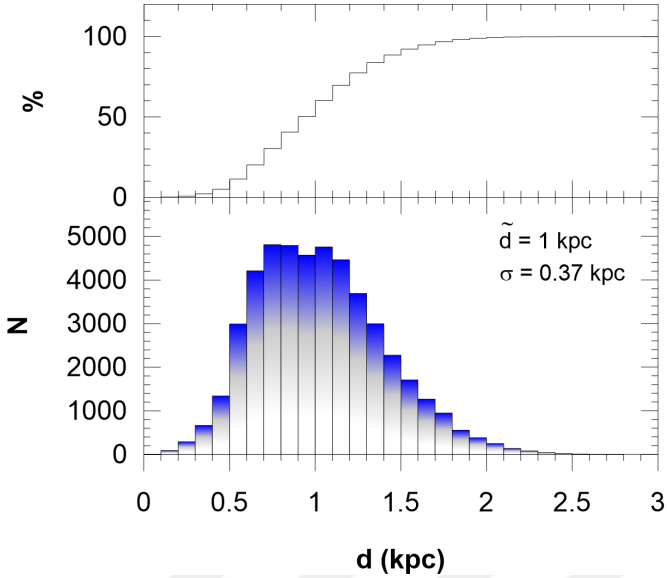
Galaktik enlem değerleriyle azaldığından histogramlar arasındaki rölatif olarak en büyük değişim 10°<|b|≤ 30° aralığında meydana gelmiştir.



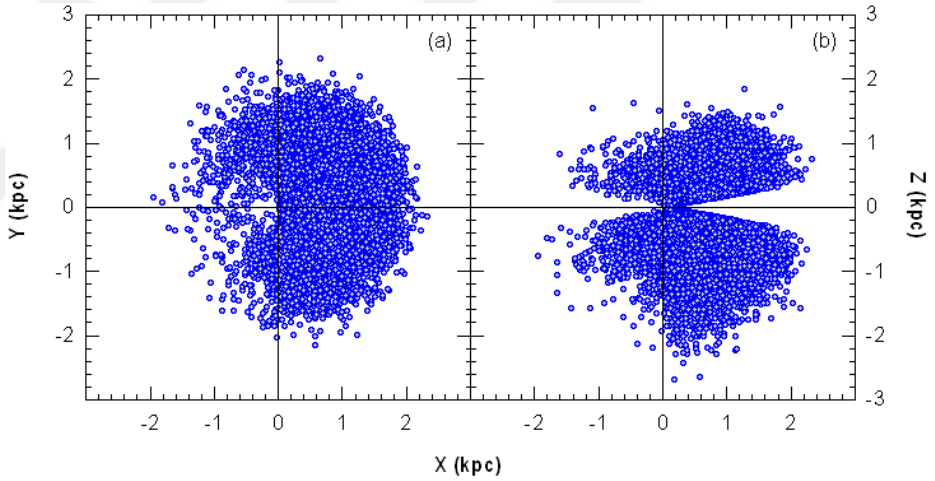

**Şekil 4.4:** (a) KY yıldızlarının bulunduğu doğrultular için Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) hesapladığı Galaksi sınırına kadar hesaplanan renk artığı değerlerinin ($E_\infty(B\text{-}V)$) ardışık Galaktik enlem aralıklarında görülen frekans sayımları. (b) KY yıldızlarının aynı enlem aralıkları için Bahcall ve Soneira (1980) ilişkisiyle yıldızların uzaklıklarına indirgenen renk artıklarının frekans sayımları.

52,196 KY yıldızının iterasyonla hesaplanan uzaklıklarının histogramı ve her bir uzaklığa göre yıldız sayısının birikimli değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Yıldızların uzaklıkları $0 < d < 3$ kpc aralığında değişmekte olup, medyan değeri ve standart sapması, sırasıyla, 1 ve 0.37 kpc'tir.

Uzaklıkları ve Galaktik koordinatları bilinen 52,196 KY yıldızının Bölüm 3.3.1'deki (3.3-3.6) eşitlikleriyle hesaplanan Güneş merkezli Galaktik kartezyen koordinatların ($X$, $Y$) ve ($X$, $Z$) düzlemlerindeki Şekil 4.6'daki gibi dağılmıştır. Yıldızların $X$, $Y$ ve $Z$ doğrultularındaki medyan uzaklıkları, sırasıyla, +0.67, +0.09 ve -0.24 kpc'tir. Uzaklıkların medyan değerlerinin sıfıra eşit olmaması güney yarı küreden gözlemleri yapılan RAVE gökyüzü taramasının gözlemsel stratejisinden kaynaklanmaktadır.




**Şekil 4.5:** KY yıldızlarının uzaklık histogramı (alt panel) ve yıldız sayısının artan uzaklıkla birikimli değişimi (üst panel).

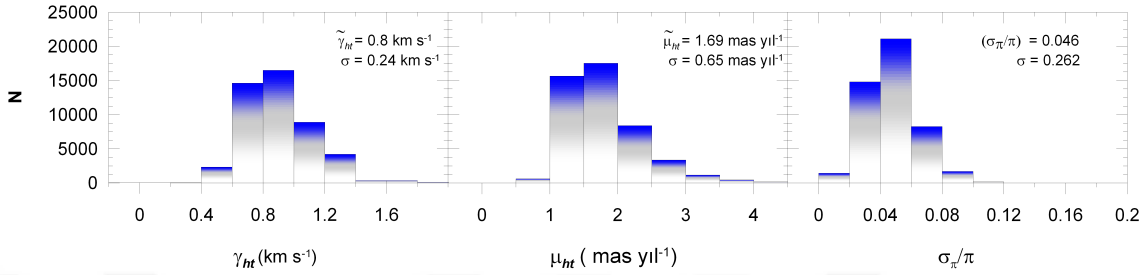



**Şekil 4.6:** KY yıldızlarının (*X, Y*) ve (*X, Z*) düzlemlerindeki dağılımları.

## 4.3. KY YILDIZLARININ UZAY HIZLARI

KY yıldızlarının uzay hızları ve hız dispersiyonları hesaplanmadan önce analizlerde kullanılan tayfsal ve astrometrik girdi parametrelerinin (ekvatoral koordinatlar, radyal hız, toplam özhareket ve uzaklık) hata dağılımlarının incelenmesi gerekir. Bu amaçla örnekteki yıldızların radyal hız, toplam özhareket ve uzaklıklarındaki hataların dağılımları Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Buna göre radyal hız hataları $0 < \gamma_{ht}$ (km $s^{-1}$) < 2 arasında değişirken medyan değeri ve standart sapması, sırasıyla, 0.8 ve 0.24 km $s^{-1}$' dir. Benzer bir analiz toplam özhareket hataları için yapıldığında, hataların $0 < \mu_{ht}$ (mas

yıl$^{-1}$) < 4 arasında olduğu görülmüştür. Özhareket hatalarının medyanı ve standart sapması ise, sırasıyla, 1.69 ve 0.65 mas yıl$^{-1}$'dir. Uzaklık hatalarının değerlendirilmesinde rölatif hata dikkate alınmıştır. Rölatif uzaklık hatasının medyan değeri ve standart sapması da 0.046 ve 0.262'dir.



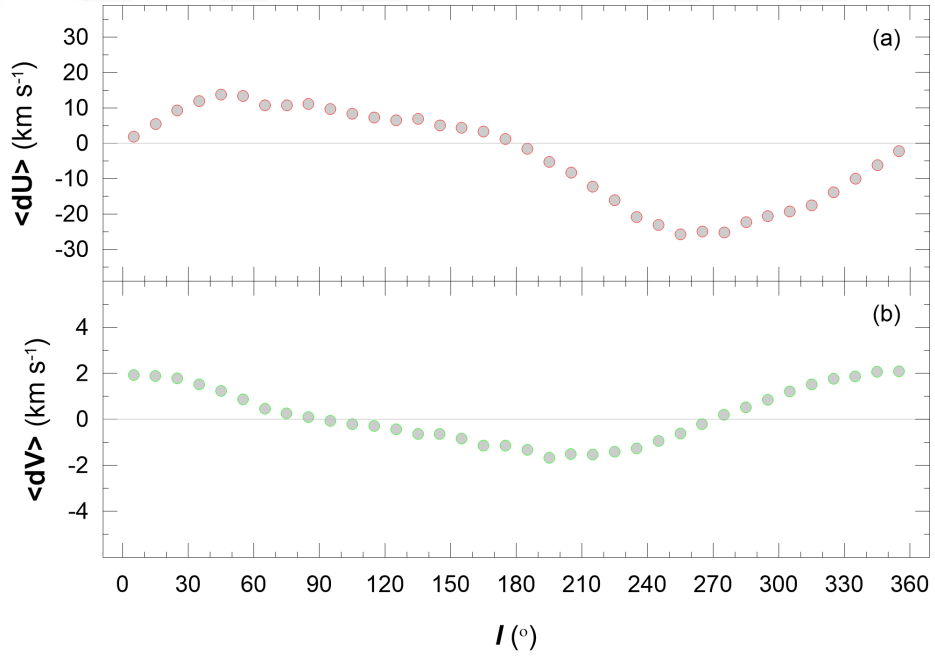

**Şekil 4.7:** Kinematik girdi parametrelerindeki hataların frekans dağılımları. Soldan sağa doğru, sırasıyla, radyal hız ($\gamma_{ht}$), toplam özhareket ($\mu_{ht}$) ve rölatif uzaklık ($\sigma_\pi/\pi$) hataları.

Çalışmada kullanılan 52,196 KY yıldızının uzay hızı bileşenleri Johnson ve Soderblom (1987) tarafından verilen algoritma yardımıyla hesaplanmıştır. Algoritmada kullanılan bağıntılar Bölüm 3.4'te verilen eşitlik (3.8) - (3.12) ile elde edilirken, uzay hızı bileşenlerine ait hatalar ise (3.17) ve (3.18) eşitlikleriyle hesaplanmıştır. KY yıldızlarının toplam uzay hızı ve bu hıza ait hata hesabı, sırasıyla, eşitlik (3.20) ve (3.21) ile hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan KY yıldızları, Güneş civarında yer almakta ve gözlemlerin Güneş'ten yapıldığı varsayılmaktadır. Bu yolla hesaplanan uzay hızı bileşenleri bazı yanlılıklardan etkilenmektedir. Bunların başında Güneş'in uzay hız bileşen değerlerinin tüm yıldızlarınkinden çıkartılması gerekmektedir. Bu düzeltme LSR olarak bilinir ve Bölüm 3.4'te bahsedilmiştir. Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) tüm yıldız popülasyonları için hesaplamış oldukları $(U_\odot, V_\odot, W_\odot)$=(8.83, 14.19, 6.57) km s$^{-1}$ değeri ile 52,196 KY yıldızının uzay hızı bileşenlerine LSR düzeltmesi yapılmıştır.

KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerine etki eden bir başka yanlılık ise yine Bölüm 3.4'te bahsedilen diferansiyel dönmedir. Bu etki özellikle yıldızların Galaksi düzlemi içinde tanımlı olan $U$ ve $V$ uzay hızı bileşenlerinde görülürken Galaktik düzlemine dik doğrultuda tanımlı $W$ hız bileşenini etkilemez. $U$ ve $V$ uzay hızlarına etki eden diferansiyel dönme etkileri Bölüm 3.4'te (3.13) – (3.16) eşitlikleri kullanılarak

hesaplanmış ve düzeltme değerleri orijinal hızlardan çıkarılmıştır. $U$ ve $V$ uzay hızı bileşenlerinin birinci mertebeden diferansiyel düzeltme değerleri şu aralıkta değişmektedir: $-61.29 < dU < 34.12$ ve $-3.76 < dV < 5.34$ km s$^{-1}$. Hesaplamalardan görüleceği gibi diferansiyel dönme etkisi en çok Galaksi merkezi doğrultusunda hesaplanan $U$ uzay hız bileşenini etkilemiştir. Diferansiyel dönme düzeltmelerinin Galaktik boylam üzerinde değişimlerinin gösterilebilmesi için KY yıldızları $\Delta l = 10°$'lik Galaktik boylam aralıklarına ayrılmış ve bu aralıklar için ortalama $dU$ ve $dV$ düzeltmeleri hesaplanarak hız değişimleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekil 4.8a'da I. ve II. Galaktik çeyreklerde $U$ uzay hız bileşenine uygulanan en büyük ortalama hız düzeltmesi yaklaşık $dU$=+15 km s$^{-1}$ ulaşırken, III. ve IV. çeyreklerdeki ortalama düzeltme değeri yaklaşık $dU$ = -25 km s$^{-1}$ olmuştur. Benzer durum $V$ uzay hız bileşeni için de analiz edilmiştir. Şekil 4.8b'de I. Galaktik çeyrekte $V$ uzay hız bileşenine uygulanan en büyük ortalama hız düzeltmesi yaklaşık $dV$=+2 km s$^{-1}$ ulaşırken, II. ve III. Galaktik çeyreklerde bu değer $dV$~-2 km s$^{-1}$'ye kadar azalmaktadır. IV. Galaktik çeyrekte ise ortalama $dV$ değerleri negatif değerlerden pozitif değerlere artarak $dV$=+2 km s$^{-1}$'e ulaşmaktadır.



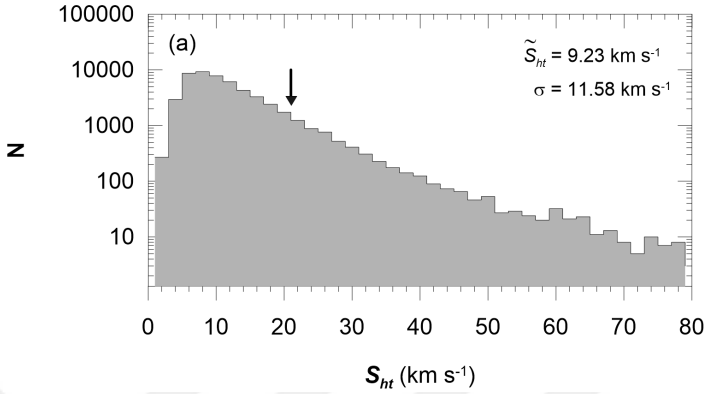

**Şekil 4.8:** KY yıldızlarının $U$ ve $V$ uzay hızı bileşenlerine uygulanan ortalama (a) $dU$ ve (b) $dV$ diferansiyel dönme düzeltmelerinin Galaktik boylam ile değişimleri.

Doktora tez çalışmasında, yıldızların uzay hızları ve gruplara ayrılmış alt örneklere ait hız dispersiyonları hesaplanacağı için yıldızların uzay hızlarındaki hataların dikkate alınması gerekmektedir. Bunun için KY yıldızlarının toplam uzay hızı hatasının frekans dağılımı oluşturulmuş ve gerekli istatistiksel hesaplar yapılarak toplam uzay hızı hatası büyük olan yıldızların örnekten çıkartılmasına karar verilmiştir. Şekil 4.9'da 52,196 KY yıldızının toplam uzay hızı hatalarına ($S_{ht}$) ait frekans dağılımı verilmiştir.

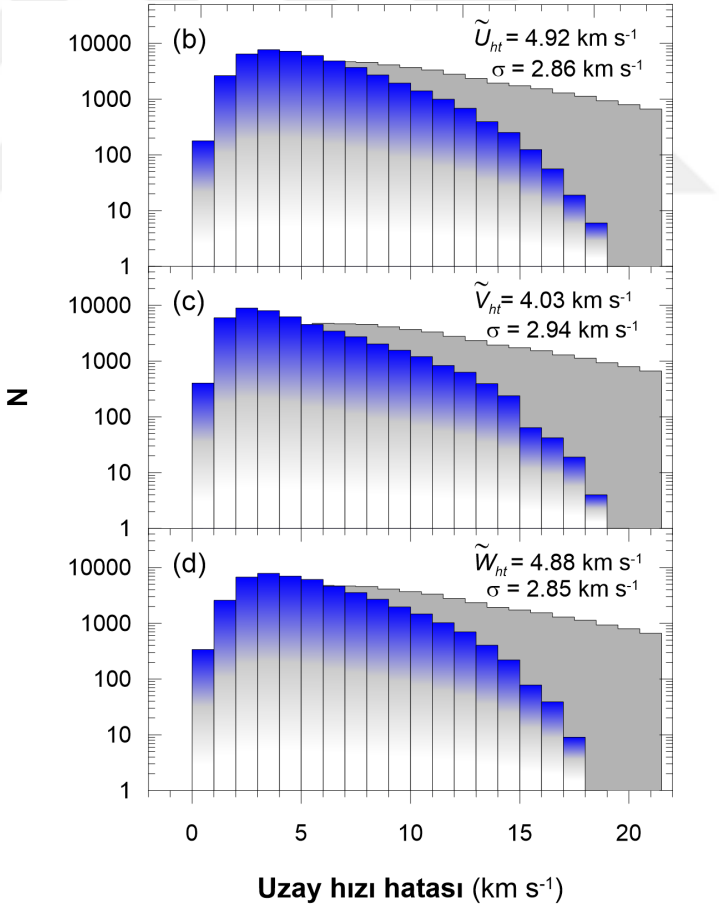
KY yıldızlarının $S_{ht}$ dağılımı incelendiğinde, toplam uzay hız hatalarının 0 ile 80 km $s^{-1}$ aralığında değiştiği ve bu hataların 6 ile 12 km $s^{-1}$ aralığında yığıldığı Şekil 4.9'dan görülmektedir. Toplam uzay hızı hata dağılımının sola yatık olduğu dikkat çekicidir. Bu, hataların farklı parametrelerden farklı oranlarda geldiğini gösterir. Örneğin geniş bir görünen parlaklık aralığında değiştiği göz önüne alındığında, dağılımın normal dağılımdan uzaklaşması beklenene bir durumdur. İstatistiksel analizlere göre dağılımın medyanı ve standart sapması, sırasıyla, 9.23 ve 11.58 km $s^{-1}$'dir. Dağılımın, normal dağılıma benzediği varsayımı altında 1 standart sapma ($\sigma$) değer içindeki yıldız sayısını belirleyebilmek için dağılımın medyan değeri ile $1\sigma$ değeri toplanmış ve toplam uzay hız hata değeri $S_{ht}$ = 21 km $s^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerden büyük uzay hızı hatası olan KY yıldızları istatistik dışı bırakıldığında yıldız sayısı 47,406'ya azalmış olup geriye kalan bu örnek, tüm örneğin %91'ini oluşturmaktadır. Bu istatistiksel sonuç, normal dağılımın 1-$\sigma$ (%68) güvenilirliğinde elde edilecek sonuçtan daha iyidir. Ayrıca tez çalışmasında uzay hızı bileşenlerine ait hata dağılımları da incelenmiştir. Şekil 4.10'da *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinin hata dağılımları hem tüm örnek hem de toplam uzay hızı hatası $S_{ht}$ = 21 km $s^{-1}$'den küçük 47,406 yıldız için verilmiştir. Şekildeki panellerde gri bölge tüm örneği temsil ederken, renkli histogramlar toplam uzay hızı hatasına sınırlama getirildikten sonra kalan örneğin frekans dağılımını göstermektedir. Son KY örneğinin *U*, *V*, *W* uzay hız hatalarının medyan ve standart sapmaları, sırasıyla, 4.92±2.86, 4.03±2.94 ve 4.88±2.85 km $s^{-1}$'dir.

47,406 KY yıldızının Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması ve matrisleri kullanılarak J2000 epoğuna göre hesaplanan *U*, *V*, *W* uzay hızlarının *V*-*U* ve *V*-*W* düzlemlerindeki dağılımları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Yıldızların *V* uzay hız bileşeni, -300 ile +100 km $s^{-1}$ arasında, *U* uzay hız bileşeni -300 ile +300 km $s^{-1}$ ve *W* uzay hız

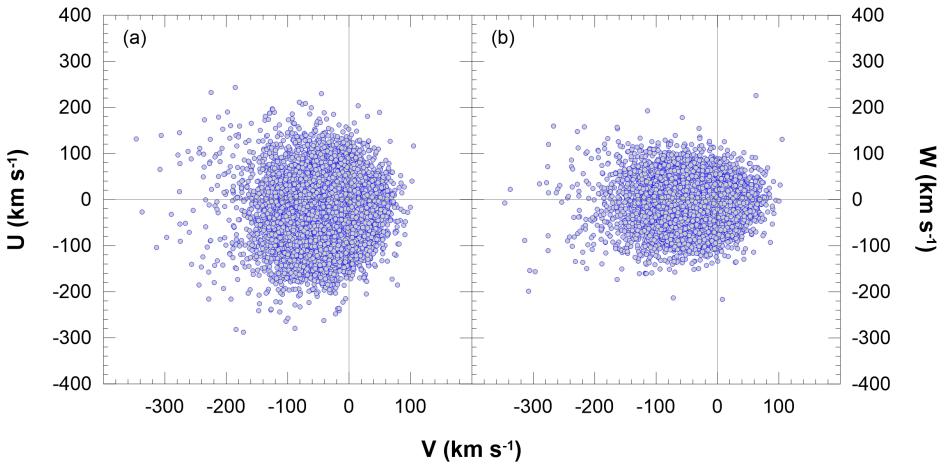
bileşeni de -200 ile +200 km $s^{-1}$ arasında değişmektedir. Hız-hız diyagramları incelendiğinde $V$ = 100 km $s^{-1}$ den daha büyük hızlarda KY yıldızlarının bulunmadığı görülmektedir. Bunun nedeni Güneş civarındaki bu yıldızların yörünge kaçış hızlarına yaklaşmalarıdır.




**Şekil 4.9:** KY yıldızlarının toplam uzay hızı hatalarının frekans dağılımı. $S_{ht}$=21 km $s^{-1}$ toplam uzay hızı hatasına getirilen hız sınırı siyah ok ile gösterilmiştir.



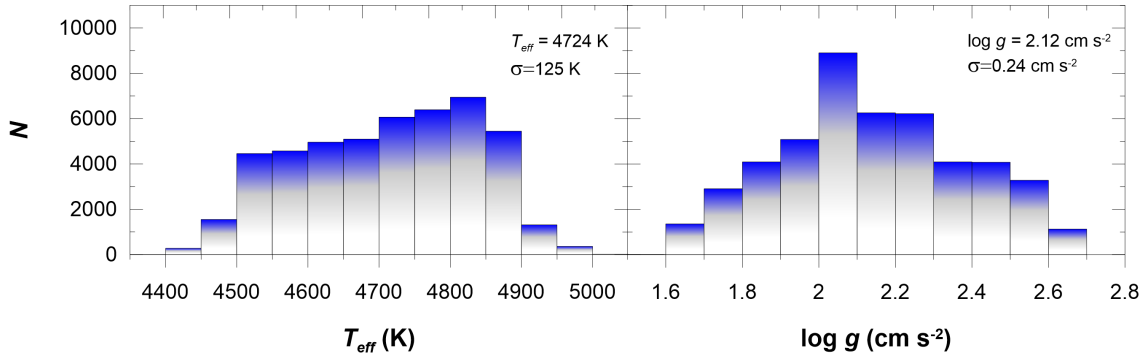

**Şekil 4.10:** Toplam uzay hızı hatası $S_{ht} \leq 21$ km $s^{-1}$ olan KY yıldızlarının $U_{ht}$, $V_{ht}$ ve $W_{ht}$ uzay hızı hatalarının frekans dağılımları.




**Şekil 4.11:** KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin *V-U* (a) ve *V-W* (b) düzlemlerindeki dağılımları.

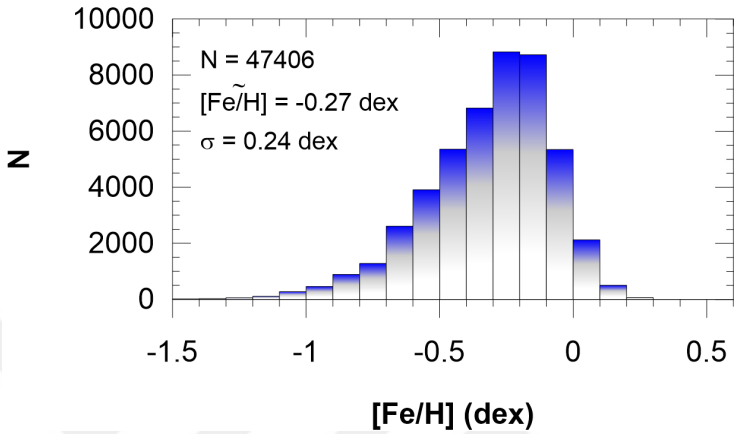
## 4.4. KY YILDIZLARININ ATMOSFER PARAMETRELERİ

RAVE DR4 kataloğundan Bölüm 3.2'de bahsedilen yöntemler ve toplam uzay hızı hatasına getirilen sınırlamayla belirlenen 47,406 KY yıldızının $T_{eff}$ ve log $g$ histogramları Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Yıldızların etkin sıcaklıkları 4500 ile 4900 K aralığında neredeyse birbirine yakın değerlerde bir dağılım göstermektedir. Yıldızların yüzey çekim ivme değerleri ise 1.6 ile 2.6 değerleri arasında değişirken dağılımın modu 2 ile 2.1 değerleri arasında bulunmaktadır. Etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivme parametrelerinin medyan ve standart sapma değerleri, sırasıyla 4724 ±125 K ve 2.12 ±0.24 cm $s^{-1}$'dir.




**Şekil 4.12:** KY yıldızlarının etkin sıcaklık (sol panel) ve yüzey çekim ivmesi (sağ panel) parametrelerinin frekans dağılımı.

Doktora tez çalışmasında, kullanılan KY yıldızlarının metal bollukları -2.5 < [Fe/H] < +0.5 dex aralığında bulunmaktadır. Örneğe ait metal bolluğunun frekans dağılımı Şekil 4.13'te gösterilmiştir. KY yıldızlarının metal bolluğu dağılımının medyanı ve standart sapması, sırasıyla, -0.27 ve 0.24 dex'tir.



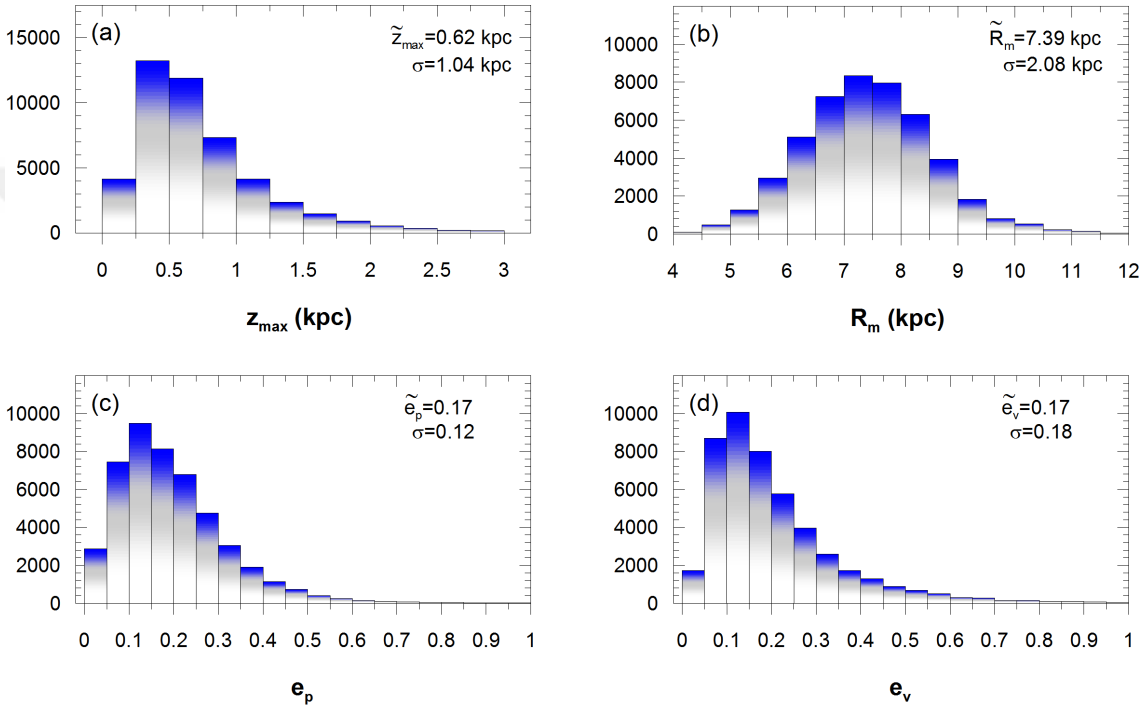

**Şekil 4.13:** KY yıldızlarının metal bolluğu dağılımı.

## 4.5. YILDIZLARIN GALAKTİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ

KY yıldızlarının dinamik parametrelerinin hesabı Bölüm 3.6'da verilen yöntemler ile hesaplanmıştır. Galaktik yörünge parametre hesabında literatürdeki en güncel yazılım olan *Python* programlama dilinde geliştirilen *galpy* paketi kullanmıştır (Bovy 2015). Yıldızların ekvatoral koordinatları, uzaklıkları, özhareket bileşenleri ve radyal hız verileri *galpy* koduna girilerek, 47,406 KY yıldız için Galaktik düzlemden dik doğrultudaki en büyük uzaklık ($z_{max}$), Galaksi merkezine olan en büyük ($r_a$) ve en küçük uzaklık ($r_p$), Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklığı ($e_p$) ve yıldızların yörüngesel açısal momentum bileşenleri ($L_x$, $L_y$ ve $L_z$) hesaplanmıştır. Bu parametrelere ek olarak Galaksi merkezine olan ortalama uzaklık ($R_m$) ve Galaktik düzleme dik doğrultudaki basıklık ($e_v$), sırasıyla, (3.28) ve (3.30) eşitliklerinden tayin edilmiştir. Yıldızların yörünge parametrelerine ait dağılımları Şekil 4.14'teki histogramlarda gösterilmiştir.

Şekil 4.14'deki paneller analiz edildiğinde $z_{max}$ değerlerinin 0 ile 3 kpc aralığında dağıldığı ve dağılımın medyan ve standart sapmasının 0.62 ve 1.04 kpc olduğu görülmektedir. Öte yandan $R_m$ değerlerinin değişim aralığı 4 ile 12 kpc arasında olup dağılım medyan değeri ve standart sapması 7.39 ve 2.08 kpc'dir. Örnekteki yıldızların

yörüngesel basıklıkları dikkate alındığında $e_p$ ve $e_v$ parametrelerinin medyan değerinin 0.17 olduğu ve bu parametrelerin standart sapmaları ise, sırasıyla, 0.12 ve 0.18 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızın amacı Güneş civarındaki bir bölgede yer alan KY yıldızlarını kullanarak Galaksimizdeki metal bolluğu gradyentlerinin analizi olduğundan dinamik hesaplar sonucunda üretilen $z_{max}$, $R_m$, $e_p$ ve $e_v$ yörünge parametreleri bu çalışmada dikkate alınmıştır.




**Şekil 4.14:** 47,406 KY yıldızının Galaktik yörünge parametrelerinin dağılımları: (a) $z_{max}$, (b) $R_m$, (c) $e_p$ ve (d) $e_v$

## 4.6. KY YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Doktora tez çalışmasında,, RAVE DR4 örneğinden seçilen 47,406 KY yıldızından oluşan bir örnek kullanılarak Samanyolundaki metal bolluğu gradyentleri incelenmiştir. Çalışmamızdaki KY yıldızlarının metal bollukları RAVE DR4 taramasından elde edilen tayfların analizlerinden hesaplanırken, yıldızların uzaklıkları iki farklı yöntem kullanılarak tayin edilmiştir. Uzaklık tayin yöntemlerinden biri yıldızların Güneş'e olan uzaklığına dayalıyken (bugünkü konumları; $R_{gc}$ ve $Z$), diğeri yıldızların *galpy* koduyla hesaplanan yörünge parametrelerinden ($R_m$ ve $z_{max}$) tayin edilmektedir. Metal bolluğu gradyenti hem Galaksimizin merkezine göre radyal doğrultuda hem de Galaktik

düzleme dik doğrultularda araştırılacaktır. Analizler sonraki bölümde ayrı başlıklar altında incelenecektir.

### 4.6.1. Yıldızların Bugünkü Konumlarına Göre Metal Bolluğu Gradyentleri

Çalışmada KY yıldızlarının radyal metal bolluğu gradyentlerinin yıldızların bugünkü konumlarından hesaplanabilmesi için gereken Galaksi merkezine olan radyal uzaklıklar ($R_{gc}$) Bölüm 3.3.2'de verilen (3.7) eşitliğiyle, dikey metal bolluğu gradyentlerinde kullanılan uzaklıklar ($Z$) ise Bölüm 3.3.1'de verilen (3.6) eşitliğiyle hesaplanmıştır.

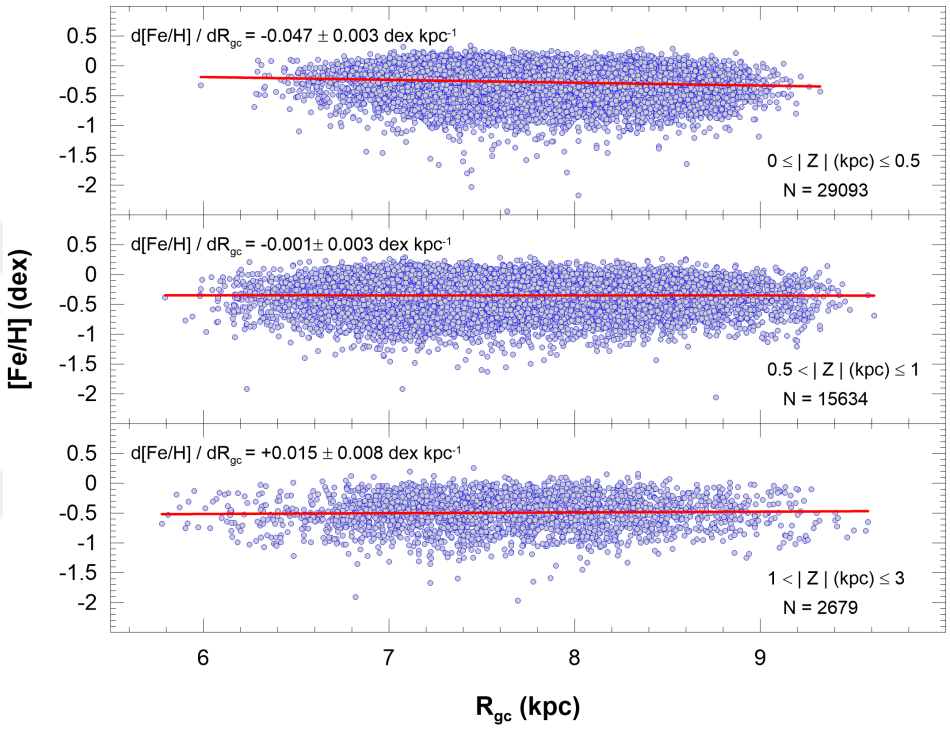
KY yıldızlarının radyal metal bolluğu gradyentlerini incelenmeden önce Galaktik düzlemden dik doğrultuda 3 kpc'e kadar uzanan yıldız örneği, üç $|Z|$ aralığına ayrılmış, $0 < |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc ve radyal metal bolluğu gradyentleri yıldızların $R_{gc}$ uzaklığına göre hesaplanmıştır. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça genç ince disk $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc aralığında etkin, yaşlı ince disk ile kalın disk ise $0.5 < |Z| \leq 1$ kpc hemen hemen eşit sayı yoğunluğunda bulunur. $1 < |Z| \leq 3$ kpc aralığında ise kalın disk yıldızları sayıca baskınlaşır ve az sayıda halo yıldızına da bu aralıkta rastlanır. Her bir uzaklık aralığında bulunan KY yıldızlarının metal bollukları ile Galaksi merkezinden olan uzaklıkları bu düzlemde işaretlenmiş ve verileri en iyi temsil eden doğrusal fitler geçirilerek radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Üç farklı uzaklık aralığı için çizilen grafikler Şekil 4.15'te gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar da Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1:** $|Z|$ uzaklık aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının bugünkü konumlarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Burada $N$, yıldız sayısını, $\langle$[Fe/H]$\rangle$ grubun ortalama metal bolluğunu, $d$[Fe/H]$/dR_{gc}$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir.

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

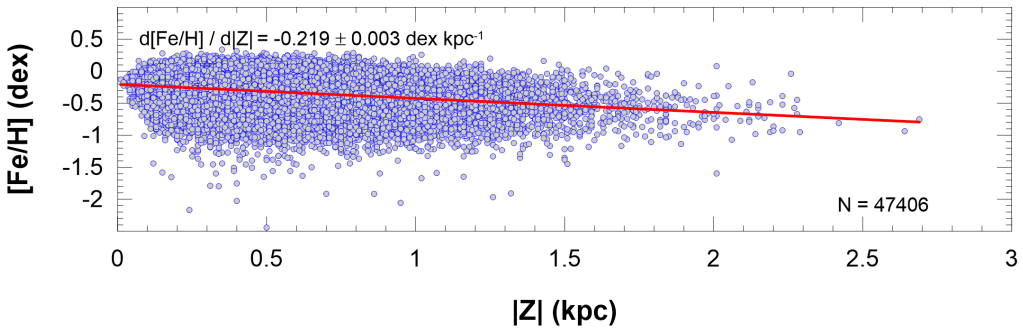
Tablo 4.1'de üç farklı $|Z|$ uzaklık aralığındaki KY alt-örneklerinin yıldız sayıları, ortalama metal bollukları ve radyal metal bolluğu gradyentleri verilmiştir. Şekil 4.15'te mavi noktalar verileri ve kırmızı düz çizgiler doğrusal fitleri temsil etmektedir. Buna göre Galaktik düzlemden uzaklaştıkça KY yıldız örneğinin ortalama metal bolluklarının -0.26 dex'ten -0.42 dex'e doğru fakirleştiği görülmektedir. En küçük $|Z|$ uzaklık aralığında bulunan KY yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti

-0.047±0.003 dex kpc$^{-1}$ iken, Galaktik düzlemden en uzak aralıktaki yıldızlar için bu değer +0.015±0.008 dex kpc$^{-1}$ bulunmuştur. Elde edilen gradyent değerlerinin istatistiksel açıdan duyarlı olduğu hata analizlerinden hesaplanan hatalardan söylenebilir. Radyal metal bolluğu gradyentinin özellikle Galaktik düzleme yakın olan yıldızlardan elde edildiği görülmüştür. Kalın disk yıldızlarının baskın olduğu son aralık için elde edilen pozitif gradyent, literatürde verildiği gibidir.




**Şekil 4.15:** Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzaklıklarına göre $0 \leq |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri.

47,406 KY yıldızının dikey metal bolluğu gradyenti bugünkü $Z$ uzaklıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yıldızların $Z$ uzaklıkları ve [Fe/H] metal bollukları arasındaki ilişki Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Verileri temsil eden doğrusal fit de aynı şekil üzerinde kırmızı düz çizgi ile gösterilmiştir. Doğrusal fitten elde edilen metal bolluğu gradyenti -0.219±0.003 dex kpc$^{-1}$ hesaplanmıştır.




**Şekil 4.16:** KY yıldızlarının Galaktik düzlemden bugünkü dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti.

### 4.6.2. Yıldızların Yörünge Parametrelerine Göre Metal Bolluğu Gradyentleri

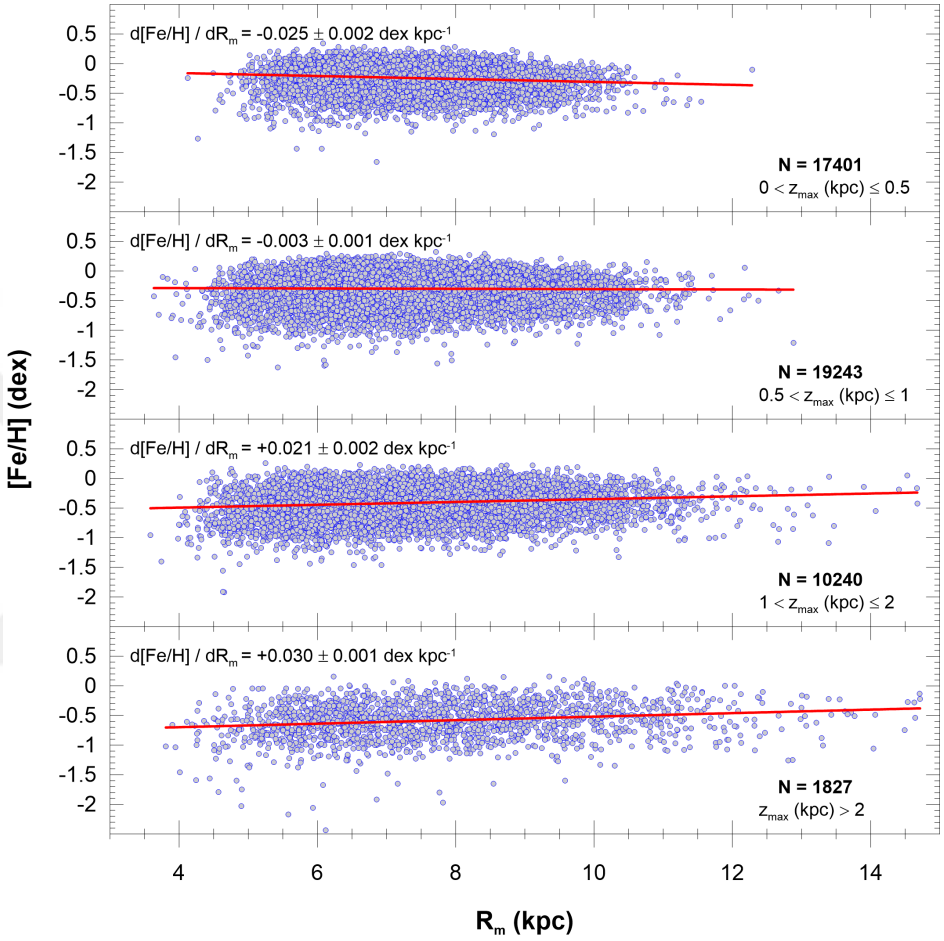
Dinamik yörünge parametrelerine göre KY yıldızları, $4 < R_m < 22$ kpc uzaklık aralığında olup $R_m > 22$ kpc olan dört yıldız istatistik dışı bırakılmıştır. Bununla birlikte, KY yıldızlarının büyük kısmı (%99) $0 < z_{max} < 3$ kpc aralığında bulunmaktadır. $R_m$ ve $z_{max}$ parametreleri KY yıldızlarının radyal ve dikey metal bolluğu gradyentlerinin hesabında kullanılmıştır. Yıldızların nükleer evrimleri boyunca Galaksi düzlemine dik doğrultuda çıkabilecekleri en büyük uzaklıklara göre KY yıldızları dört alt-örneğe ayrılmıştır: $0 < z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$ ve $z_{max} > 2$ kpc. Radyal metal bolluğu gradyentleri seçilen $z_{max}$ aralıklarındaki yıldız örnekleri dikkate alınarak [Fe/H] ve $R_m$ arasındaki değişimlere göre incelenmiştir. Radyal metal bolluğu gradyenti sonuçları Tablo 4.2 ve Şekil 4.17'de dört panelde verilmiştir.

**Tablo 4.2:** $z_{max}$ aralığına ayrılmış KY yıldızlarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentleri. Burada $N$, yıldız sayısını, $\langle$[Fe/H]$\rangle$ grubun ortalama metal bolluğunu, $d$[Fe/H]$/dR_m$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir.

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

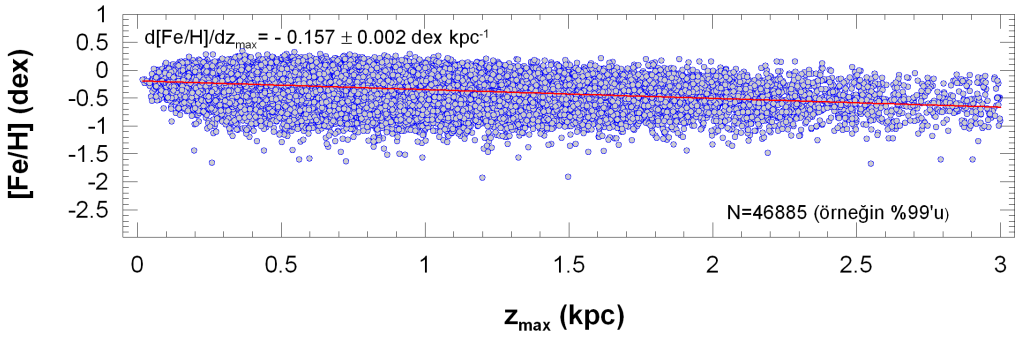
Tablo 4.2'de dört farklı $z_{max}$ aralığındaki KY alt-örneklerinin yıldız sayıları, ortalama metal bollukları ve radyal metal bolluğu gradyentleri verilmiştir. Buna göre Galaktik düzlemden uzaklaştıkça KY yıldız örneğinin ortalama metal bolluklarının -0.22 dex'ten -0.57 dex'e doğru fakirleştiği görülmektedir. Her bir aralık için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, $0 < z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$ ve $z_{max} > 2$ kpc aralıkları için sırasıyla -0.025±0.002, -0.003±0.001, +0.021±0.002 ve +0.030±0.001 dex kpc$^{-1}$

olarak hesaplanmıştır. Galaksi düzlemine yakın $z_{max}$ aralıklarından uzak $z_{max}$ aralıklarına ilerledikçe her bir aralık için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri negatif değerlerden önce sıfıra ardından pozitif değerlere sahip olmaktadır.




**Şekil 4.17:** KY yıldızlarının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre alt-örneklere ayrıldığı, $0 \leq z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$ ve $z_{max} > 2$ kpc, aralıklar için Galaksi merkezinden yıldızların ortalama yörünge uzaklığına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri.

47,406 KY yıldızının dikey metal bolluğu gradyenti yıldızların nükleer evrimleri boyunca yörüngelerinde ulaşabilecekleri en büyük dik uzaklıkları, $z_{max}$, dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yıldızların $z_{max}$ uzaklıkları ve [Fe/H] metal bollukları arasındaki ilişki (mavi noktalar) Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Verileri temsil eden doğrusal bir fit de aynı şekil üzerinde kırmızı düz çizgi ile gösterilmiştir. Doğrusal fitten elde edilen metal bolluğu gradyenti -0.157±0.002 dex kpc$^{-1}$ hesaplanmıştır.



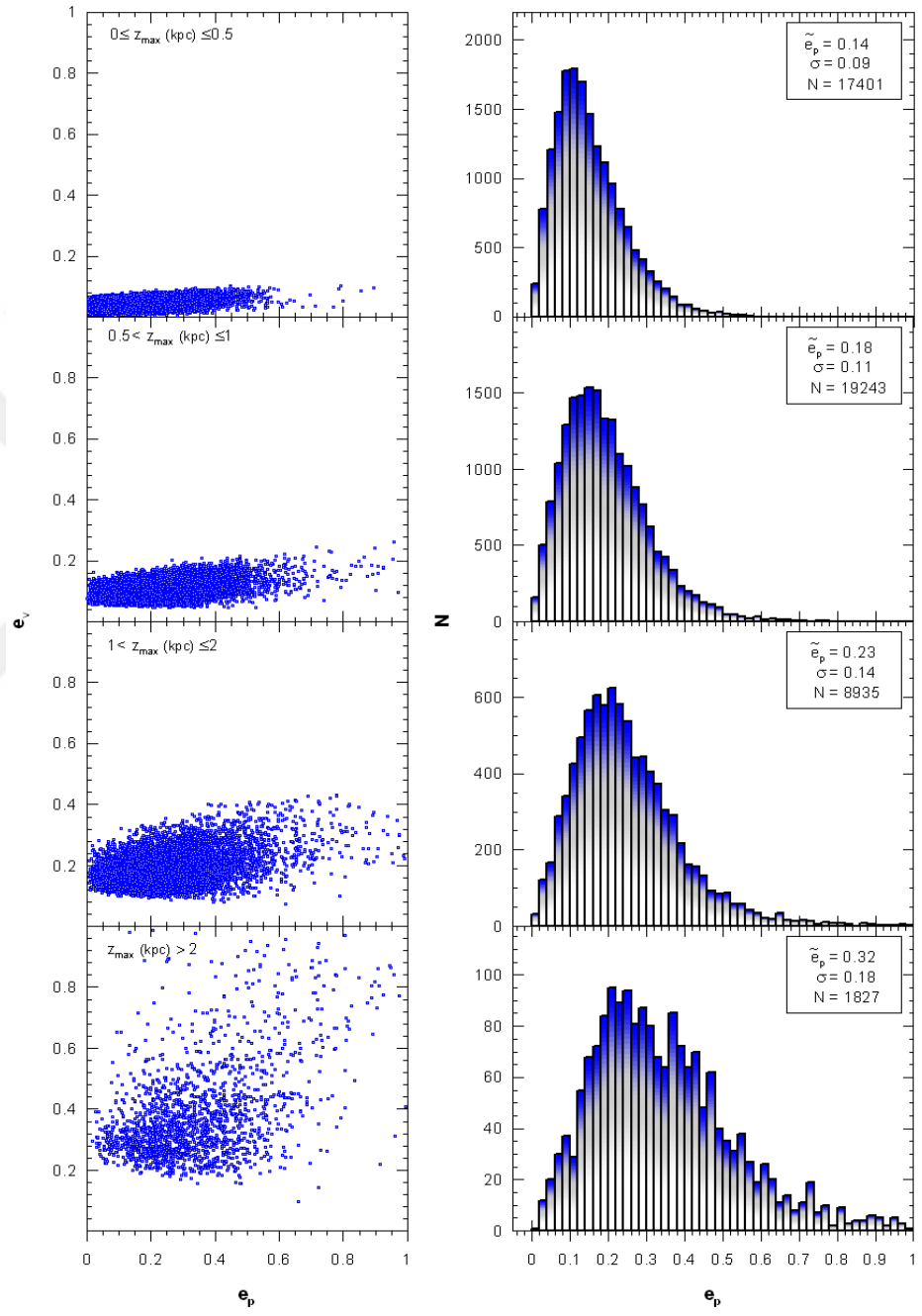

**Şekil 4.18:** KY yıldızlarının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti.

### 4.6.3. Yıldızların Yörünge Basıklıkları

Doktora tez çalışmasında, literatürden farklı olarak, metal bolluğu gradyentlerinin araştırılmasında, KY yıldızlarının yörünge basıklıkları dikkate alınmıştır çünkü metal bolluğu gradyent araştırmaları Galaksimizdeki yıldız popülasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Güneş civarındaki yıldızlar genelde çember yörüngede dolanan ince disk yıldızlarıyken, Galaktik düzlemden çok uzakta bulunan kalın disk ve halo yıldızları basık yörüngelerde dolanırlar. Bu da disk yıldızlarından halo yıldızlarına geçişte yörünge basıklık parametrelerinin çemberden elipse doğru değiştiğini gösterir. Bu nedenle KY yıldızlarını popülasyon türlerini belirlemek yerine yıldızlar farklı $z_{max}$ aralıklarına ayrılarak yatay ve dikey basıklık parametrelerinin oluşturduğu düzlemdeki dağılımlarına bakılmıştır. Şekil 4.19'da $0 < z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$, $z_{max} >$ 2 kpc aralıklarında bulunan KY yıldızlarının $e_p$-$e_v$ diyagramları (sol panel) ve her bir $z_{max}$ aralığı için $e_p$ frekans dağılımları (sağ panel) gösterilmiştir. Diyagramda KY yıldızlarının küçük $z_{max}$ aralıklarından büyük $z_{max}$ aralıklarına doğru ilerledikçe $e_v$ ve $e_p$ basıklıklarının genel itibariyle çember yörüngelerden basık yörüngelere geçtiği görülmektedir (sol panel $e_v$, sağ panel $e_p$ için). Fakat diyagramlarda görülen bir başka özellik de küçük $z_{max}$ uzaklıklarında bulunması beklenmeyen büyük $e_p$ (>0.4) değerli yıldızların olmasıdır. Bu da ince disk içinde farklı kinematik özelliklere sahip yıldızların bulunduğunu göstermektedir. Söz konusu yıldızların metal bolluğu gradyentlerine etkilerini görebilmek için KY örneği $z_{max}$ sınırlamasının yanı sıra $e_p$ basıklık parametresine getirilecek sınırlamalarla da analiz edilmesi düşünülmüştür.

### 4.6.4. Yörünge Basıklığı Değişimine Göre Radyal ve Dikey Gradyentlerin Değişimleri

Yıldızların yörünge basıklıklarının $z_{max}$ ile değişimi Şekil 4.19'da gösterilmiştir. KY yıldız örneğine $z_{max}$ sınırlamasıyla birlikte $e_p$ parametresine getirilen dört sınır değer




**Şekil 4.19:** KY yıldızlarının dört farklı $z_{max}$ aralığındaki $e_p$-$e_v$ dağılımları (sol panel) ve $e_p$ frekans dağılımları (sağ panel).

($e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ *ve* $e_p \leq 0.20$) ile de metal bolluğu gradyentleri incelenmiştir. KY yıldızlarının $z_{max}$ ve $e_p$'ye getirilen sınırlamalar sonucunda alt örnekleri oluşturulmuş ve bu örnekler için [Fe/H] ve $R_m$ grafikleri çizilerek Şekil 4.20'de sunulmuştur. Her bir paneldeki verilere doğrusal fitler geçirilerek tüm grupların radyal metal bolluğu gradyentleri elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir.

**Tablo 4.3**: $z_{max}$ ve $e_p$ aralığına ayrılmış KY yıldızlarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentleri. Burada $N$, yıldız sayısını, $\langle$[Fe/H]$\rangle$ grubun ortalama metal bolluğunu, $d$[Fe/H]$/dR_m$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir.

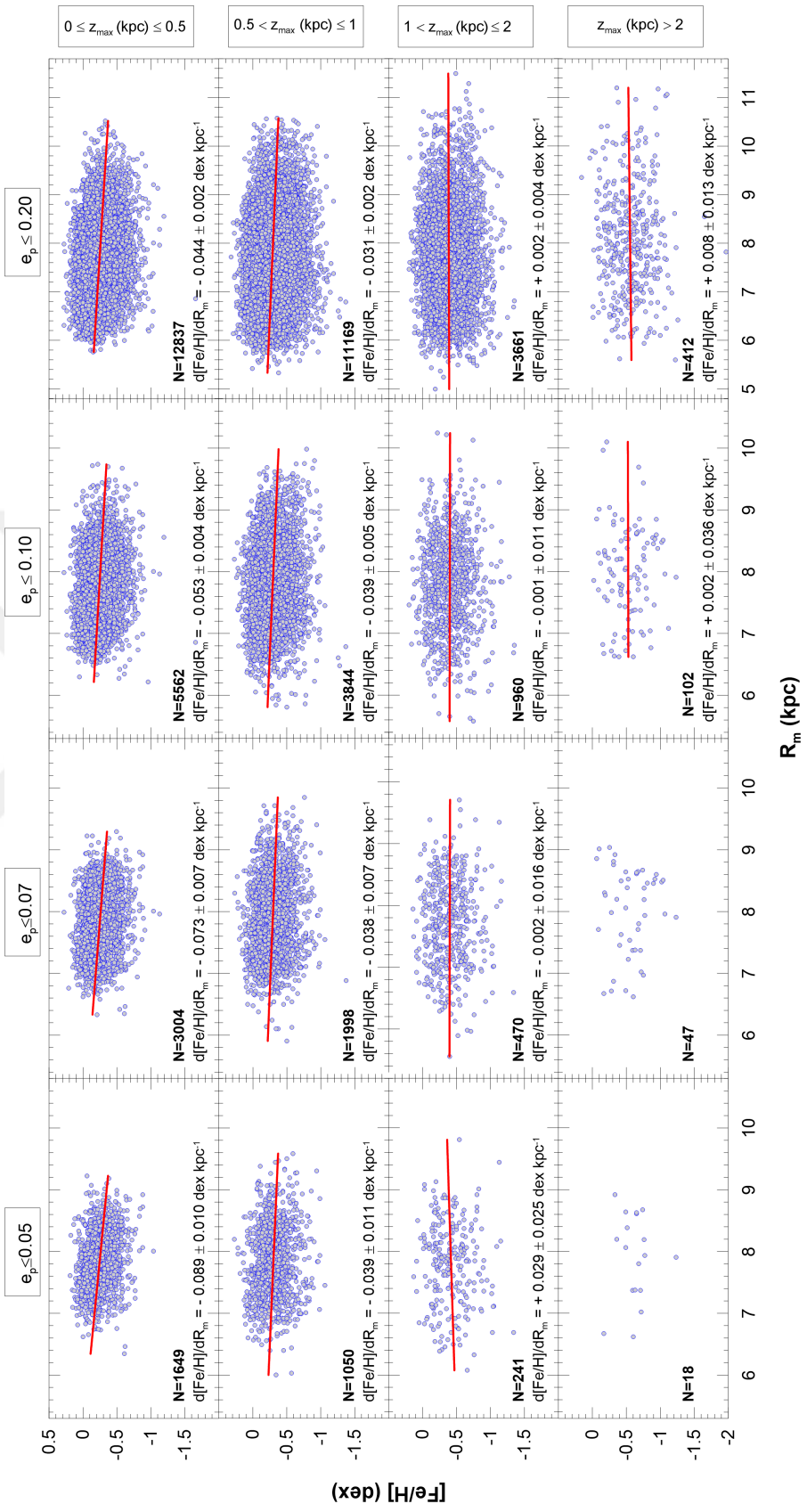
| $e_p \leq 0.05$ | | | | $e_p \leq 0.07$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $z_{max}$ **aralığı** (kpc) | $N$ | $\langle$[Fe/H]$\rangle$ (dex) | d[Fe/H]/d$R_m$ (dex kpc$^{-1}$) | $N$ | $\langle$[Fe/H]$\rangle$ (dex) | d[Fe/H]/d$R_m$ (dex kpc$^{-1}$) |
| 0-0.5 | 1649 | -0.23 | -0.089±0.010 | 3004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

Tablo 4.3'te dört farklı $z_{max}$ ve $e_p$ aralığındaki KY alt-örneklerinin yıldız sayıları, ortalama metal bollukları ve radyal metal bolluğu gradyentleri verilmiştir. Her bir $e_p$ aralığında Galaktik düzlemden uzaklaştıkça ortalama metal bollukları fakirleşme eğilimindedir. Benzer bir durum radyal metal bolluğu gradyentlerinde de görülmektedir. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri negatif değerlerden, pozitif değerlere dönüşmektedir. Tablo 4.3'ten de görüleceği gibi en büyük metal bolluğu gradyent değerleri Galaktik düzlemden dik doğrultuda 0 ile 1 kpc arasında görülmektedir. Ayrıca $0 < z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığında ve $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ *ve* $e_p \leq 0.20$ aralıklarında radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.089±0.010, -0.073±0.007, -0.053±0.004 ve -0.044±0.002 dex kpc$^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu uzaklık aralığı radyal metal bolluğu gradyentlerinin en kuvvetli görüldüğü bölge olup basıklık değerlerinin artmasıyla gradyent değerleri hata mertebeleri içinde yarı yarıya azalmaktadır. $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc uzaklık aralığı dikkate alındığında radyal metal bolluğu gradyentlerinin -0.39±0.011 ile -0.31±0.002 dex kpc$^{-1}$ aralığında değiştiği görülmekle beraber gradyentin hemen hemen sabit olduğu

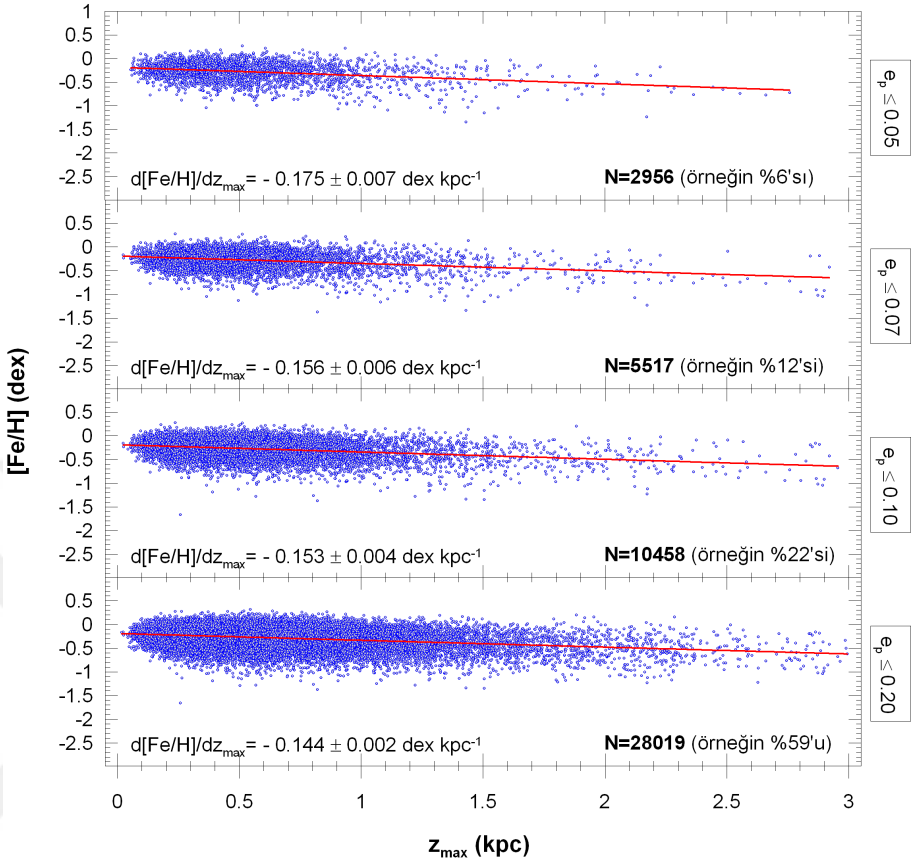
söylenebilir. $z_{max}$ > 1 kpc olan uzaklıklar dikkate alındığında radyal metal bolluğu gradyentlerinin genelde pozitif değerlerde bulunduğu ve $e_p$ değeriyle bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.

Benzer analizler 0 < $z_{max}$ < 3 kpc aralığındaki tüm KY yıldızlarının artan $e_p$ sınırları için ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri hatalarıyla birlikte tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.21'de $e_p$ alt örnekleri için hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri gösterilmiştir. Her bir uzaklık aralığı için elde edilen hatalar istatistiksel olarak küçük ve anlamlıdır.

Yörünge basıklıkları $e_p \leq 0.05$ olan KY yıldızları için hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti -0.175±0.007 dex kpc$^{-1}$ iken $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$ olan alt-örnekler için hesaplanan değerler, sırasıyla, -0.156±0.006, -0.153±0.004 ve -0.144±0.002 dex kpc$^{-1}$'tir. Şekil 4.21'den de görüleceği gibi dikey metal bolluğu gradyentlerinin Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklıklarına doğrudan bağlı olmadığı görülmektedir.




**Şekil 4.20:** Birikimli dört $e_p$ alt örneğinin dört $z_{max}$ aralığındaki radyal metal bolluğu gradyentleri.




**Şekil 4.21:** KY yıldızlarının birikimli $e_p$ alt-örneklerinden hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri.

## 4.7. KY YILDIZLARININ KİNEMATİK ÖZELLİKLERİ

### 4.7.1. Hız Dispersiyonlarının Genel Durumu

Doktora tez çalışmasında,, KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri ve hız dispersiyonlarının değişimi yıldızların Galaktik yörünge parametreleri ve metal bollukları açısından da incelenmiştir. Tüm KY örneğinden hesaplanan uzay hızı bileşenleri ve bunlara ait hız dispersiyonlarının ortalama değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4:** 47,406 KY yıldızının genel kinematik parametreleri.

| $\langle U_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle V_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle W_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $S$ (km s$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| -1.48±0.03 | -11.24±0.02 | 0.09±0.03 | 11.34±0.04 |
| $\sigma_U$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_V$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_W$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_{top}$ (km s$^{-1}$) |
| 44.39±5.50 | 35.98±4.83 | 27.77±5.45 | 68.73±9.44 |

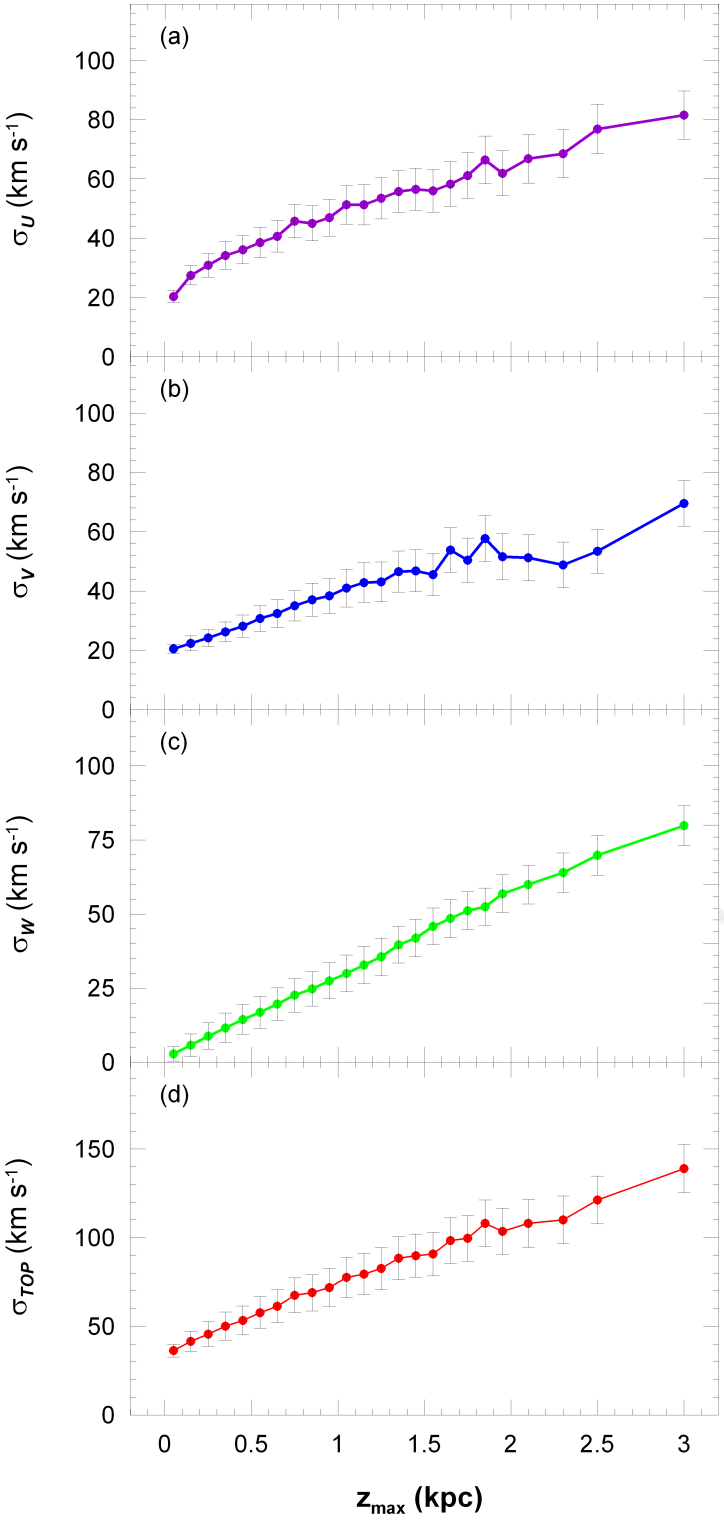
47,406 KY yıldızının uzay hızı bileşenleri, Güneş civarındaki yıldızların uzay hızı bileşenlerine benzerken, bu hız bileşenlerinin dispersiyonlarına bakıldığında literatüre göre ince disk ve kalın disk için verilen dispersiyonlar arasında bulundukları görülmüştür (Bensby ve diğ. 2014). Bu da örneğimizdeki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

KY yıldızlarının uzay hızı dispersiyonlarının $z_{max}$ ile değişimleri incelenirken 2 kpc'e kadar olan yıldızlar 0.1 kpc'lik alt-örneklere ayrılmış, 2 kpc'ten daha büyük uzaklıklarda ise, Doktora tez çalışmasındaki istatistiksel sonuçları anlamlı kılacak şekilde, uzaklık aralıkları seçilmiştir. Her bir alt-örneğin ortalama $z_{max}$ değeri, uzay hızı bileşenlerine ait hız dispersiyonları ve toplam hız dispersiyonu ile bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar Wielen'in (1977) verdiği yönteme göre Bölüm 3.7'de verilen (3.36) ve (3.37) eşitlikleriyle hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.5'te verilmiştir. KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerine ait dispersiyonların $z_{max}$ aralıklarına göre değişimleri Şekil 4.22'te gösterilmiştir.

Şekil 4.22'den görüleceği gibi, Galaktik düzlemden $z_{max}$=2 kpc uzaklığa doğru gidildikçe $U$ ve $V$ uzay hızı dispersiyonlarının 20 km s$^{-1}$'den 60 km s$^{-1}$'e doğru düzenli arttığı ve Galaktik düzlemden daha uzak mesafelerde ise bu artışın yerini bir düzleşmeye bıraktığı görülüyor. Bunun aksine $W$ hız dispersiyonu ise $z_{max}$ = 3 kpc'e kadar 0 km s$^{-1}$'den 75 km s$^{-1}$ doğrusal olarak artmaktadır. Toplam uzay hız dispersiyonu dikkate alındığında da, $W$ hız dispersiyonlarında olduğu gibi, belirgin bir doğrusal artış olduğu görülmektedir.

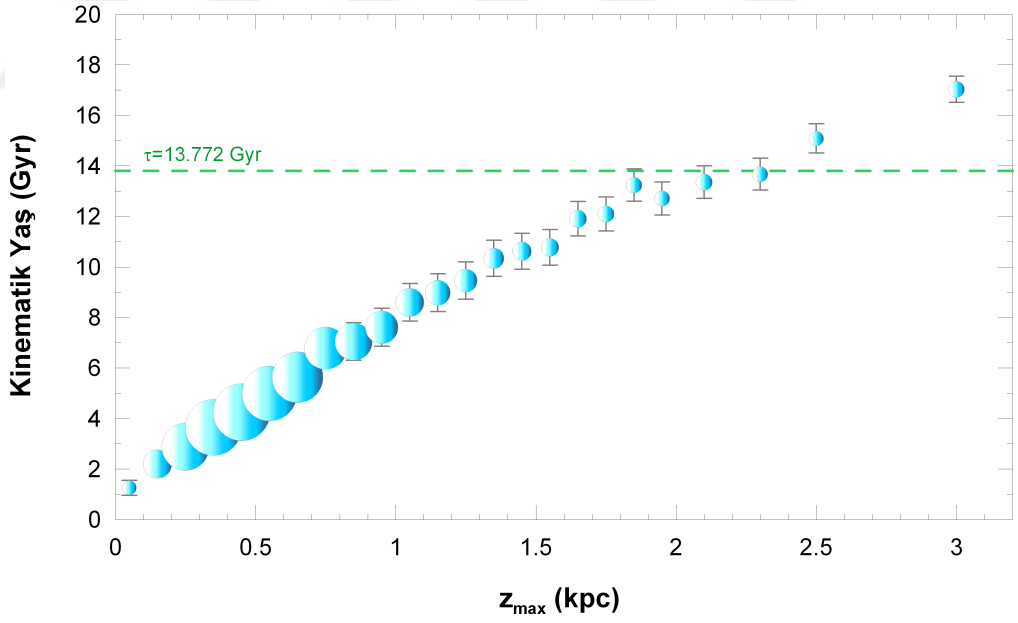
**Tablo 4.5:** KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonları, toplam uzay hızı ve buna karşılık gelen kinematik yaşların $z_{max}$ ile değişimleri.

| $z_{max}$ (kpc) | $\langle z_{max} \rangle$ (kpc) | $N$ (yıldız) | $\sigma_U$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_V$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_W$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_S$ (km s$^{-1}$) | $\tau$ (Gyr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [0.00, 0.10] | 0.05 | 201 | 20.34±0.15 | 20.49±0.11 | 2.82±0.17 | 36.31±0.26 | 1.26±0.30 |
| (0.10, 0.20] | 0.15 | 1980 | 27.47±0.07 | 22.32±0.06 | 5.73±0.09 | 41.56±0.13 | 2.19±0.47 |
| (0.20, 0.30] | 0.25 | 4320 | 30.90±0.06 | 24.15±0.04 | 8.81±0.07 | 45.62±0.11 | 2.89±0.56 |
| (0.30, 0.40] | 0.35 | 5392 | 34.21±0.06 | 26.20±0.05 | 11.61±0.07 | 50.17±0.11 | 3.65±0.63 |
| (0.40, 0.50] | 0.45 | 5508 | 36.11±0.06 | 28.16±0.05 | 14.45±0.07 | 53.30±0.11 | 4.25±0.66 |
| (0.50, 0.60] | 0.55 | 5242 | 38.56±0.07 | 30.71±0.06 | 16.85±0.07 | 57.70±0.12 | 4.99±0.71 |
| (0.60, 0.70] | 0.65 | 4754 | 40.67±0.08 | 32.43±0.07 | 19.65±0.08 | 61.34±0.13 | 5.64±0.72 |
| (0.70, 0.80] | 0.75 | 3697 | 45.76±0.09 | 35.03±0.08 | 22.60±0.09 | 67.50±0.16 | 6.79±0.73 |
| (0.80, 0.90] | 0.85 | 3065 | 45.02±0.11 | 37.05±0.10 | 24.76±0.10 | 68.96±0.19 | 7.05±0.74 |
| (0.90, 1.00] | 0.95 | 2485 | 46.92±0.12 | 38.32±0.12 | 27.48±0.12 | 71.90±0.22 | 7.61±0.75 |
| (1.00, 1.10] | 1.05 | 1932 | 51.32±0.15 | 40.97±0.15 | 29.99±0.14 | 77.69±0.26 | 8.60±0.75 |
| (1.10, 1.20] | 1.15 | 1561 | 51.28±0.17 | 42.82±0.17 | 32.83±0.16 | 79.49±0.30 | 8.98±0.75 |
| (1.20, 1.30] | 1.25 | 1282 | 53.50±0.20 | 43.06±0.19 | 35.55±0.18 | 82.62±0.33 | 9.46±0.74 |
| (1.30, 1.40] | 1.35 | 977 | 55.79±0.23 | 46.55±0.22 | 39.65±0.20 | 88.47±0.38 | 10.34±0.71 |
| (1.40, 1.50] | 1.45 | 788 | 56.54±0.25 | 46.82±0.25 | 41.88±0.22 | 89.83±0.43 | 10.62±0.71 |
| (1.50, 1.60] | 1.55 | 668 | 56.04±0.28 | 45.49±0.28 | 45.86±0.24 | 90.79±0.47 | 10.78±0.70 |
| (1.60, 1.70] | 1.65 | 572 | 58.28±0.31 | 53.88±0.31 | 48.50±0.27 | 98.40±0.54 | 11.91±0.68 |
| (1.70, 1.80] | 1.75 | 445 | 61.16±0.37 | 50.40±0.36 | 51.15±0.30 | 99.66±0.61 | 12.10±0.67 |
| (1.80, 1.90] | 1.85 | 378 | 66.44±0.41 | 57.69±0.40 | 52.50±0.32 | 108.12±0.68 | 13.24±0.64 |
| (1.90, 2.00] | 1.95 | 332 | 61.92±0.42 | 51.55±0.43 | 56.84±0.35 | 103.64±0.72 | 12.71±0.66 |
| (2.00, 2.20] | 2.10 | 462 | 66.82±0.38 | 51.18±0.36 | 59.93±0.30 | 108.08±0.63 | 13.36±0.64 |
| (2.20, 2.40] | 2.30 | 341 | 68.51±0.44 | 48.81±0.42 | 63.96±0.36 | 110.04±0.73 | 13.67±0.63 |
| (2.40, 2.60] | 2.50 | 235 | 76.85±0.54 | 53.39±0.48 | 69.84±0.43 | 121.29±0.88 | 15.09±0.58 |
| (2.60, 3.40] | 3 | 438 | 81.55±0.39 | 69.54±0.37 | 79.86±0.32 | 139.05±0.65 | 17.03±0.52 |
| (3.40, 4.60] | 4 | 215 | 87.51±0.54 | 91.21±0.49 | 97.81±0.49 | 165.76±0.91 | 19.65±0.43 |
| (4.60, 5.40] | 5 | 50 | 123.38±1.30 | 106.46±1.05 | 110.05±1.04 | 202.5±2.06 | 22.71±0.37 |




**Şekil 4.22:** KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonlarının $z_{max}$ ile değişimleri: (a) $\sigma_U$-$z_{max}$, (b) $\sigma_V$-$z_{max}$, (c) $\sigma_W$-$z_{max}$ ve (d) $\sigma_{TOP}$-$z_{max}$.

İncelenen KY yıldızlarının %96'sının $z_{max}$≤2 kpc'te yer aldığı Şekil 4.23 ve Tablo 4.5'ten görülmektedir. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça her bir $z_{max}$ alt-örneği için hesaplanan kinematik yaşların 1.26 Gyr'den 13.2 Gyr'ye doğru düzenli arttığı görülmüştür. Galaktik düzlemden $z_{max}$=2 kpc içinde bulunan KY yıldızları için hesaplanan kinematik yaşlar, Evren'in τ=13.772±0.059 Gyr olan yaşından daha küçüktür (Bennett ve diğ. 2013). Galaktik düzlem 2 ile 2.4 kpc aralığındaki yıldızların kinematik yaşları dikkate alındığında Evren'in güncel yaşına yakın değerlere ulaşılmakta ve 2.4 kpc ötesinde ise hesaplanan kinematik yaşların Evren'in yaşından çok daha büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Evren'in yaşından daha büyük yaşların elde edilmesinin birçok nedeni olabilir: Özellikle Galaktik düzlemden en uzakta yer alan KY yıldızlarının istatistiksel açıdan az sayıda olması, yine aynı yıldızların özhareket, uzaklık ve radyal hızlarına ait hataların örnekteki yıldızların ortalama hatalarından daha büyük olması. Ayrıca örneğimizdeki KY yıldızlarının yoğun bir şekilde bulunduğu $z_{max}$=2 kpc'e kadar olan uzaklık aralığı için yaş gradyenti yaklaşık 6 Gyr kpc$^{-1}$ hesaplanmıştır (Şekil 4.23).




**Şekil 4.23:** KY yıldızlarının $z_{max}$ – kinematik yaş ilişkisi. Her bir geometrik nokta yıldız sayısıyla ağırlıklandırılmıştır; daire boyutları büyüdükçe yıldız sayısı da artmaktadır. Kesikli yeşil çizgi Evrenin yaşını (τ=13.772 Gyr) göstermektedir.

### 4.7.2. Hız Dispersiyonlarının Galaktik Düzlem Üzerindeki Basıklık ile Değişimleri

Doktora tez çalışmasında, uzay hız dispersiyonlarının yörünge basıklığıyla değişimi incelenmiştir. Bunun için metal bolluğu gradyent analizlerinde dikkate alınan dört $z_{max}$

aralığından seçilen geniş $e_p$ alt örnekleri için uzay hızı bileşenleri ve bu hız bileşenlerine ait dispersiyonları hesaplanmış ve sonuçlar, sırasıyla, Tablo 4.6a-d ve Tablo 4.7a-d'de verilmiştir. Sonuçlar ise Şekil 4.24'te gösterilmiştir.

Örneğimizdeki KY yıldızları dört farklı $z_{max}$ aralığına ayrıldığında, $U_{LSR}$ ve $W_{LSR}$ uzay hızlarının $e_p$ ile değişimleri hemen hemen Güneş civarındaki hızlara benzerken, $V_{LSR}$ hızlarında gözle görülür bir azalma dikkat çekmektedir. Özellikle $e_p$=0.2 değerine kadar LSR hızları Güneş civarındaki hızları temsil ederken, daha basık yörüngelerde dolanan yıldızlarda $V_{LSR}$ hızları negatif değer alarak Güneş'in $V$ hızına göre geride kalmaktadır. Bunun nedeni asimetrik sürüklenme olarak bilinir ve bu, yıldızların yörüngelerinin çember olduğu varsayımı altında hesaplanan hızları ile ortalama dönme hızları arasındaki farklardan ileri gelir. Bu da yıldızların popülasyon ayrımında kullanılan bir ölçüttür.

KY yıldızlarına ait uzay hızı bileşenlerinin $z_{max}$ ve $e_p$ ile değişimleri Şekil 4.24'ün sol panelinde gösterilmiştir. Paneller üzerindeki farklı renkler dört farklı $z_{max}$ aralığını gösterir. KY yıldızlarının $U_{LSR}$ bileşeni $e_p$=0.5 basıklığına kadar hemen hemen sabit giderken, daha büyük basıklık değerlerinde yıldızların sayılarının da azalmasıyla beraber saçılmalar göstermiştir. $V_{LSR}$ hızlarına bakıldığında, dört $z_{max}$ aralığında $e_p$=0.2 basıklığına kadar hemen hemen sabit giderken, bu değerin ötesinde belirgin bir şekilde doğrusal olarak azalmaktadır. $W_{LSR}$ hız bileşeni dikkate alındığında en büyük $z_{max}$>2 kpc aralığı dışında kalan KY yıldızlarının $e_p$ ile hemen hemen sabit hareket ettiği görülmüştür. $U_{LSR}$ hız bileşeninde görüldüğü gibi $W_{LSR}$ hız bileşenleri de $e_p$=0.5 değerinden sonra yıldız sayılarındaki azalma nedeniyle saçılma göstermiştir. Toplam uzay hızı bileşenine bakıldığında ise dört $z_{max}$ aralığında, $e_p$=0.2 basıklığına kadar düz bir uzay hızıyla hareket ederken, bu değerin ötesinde $V_{LSR}$ hızlarındaki azalmanın etkisiyle toplam uzay hızlarında belirgin bir doğrusal artış dikkat çekmektedir.

**Tablo 4.6a:** $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $0 \leq z_{max}$ (kpc) $\leq 0.5$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\langle U_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle V_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle W_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle S_{top} \rangle$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 1649 | -0.93±0.10 | 8.58±0.08 | 1.33±0.11 | 8.73±0.17 |
| (0.05,0.10] | 3983 | -0.08±0.07 | 6.58±0.05 | 0.82±0.07 | 6.63±0.11 |
| (0.10,0.15] | 4341 | 0.45±0.06 | 1.29±0.05 | 0.51±0.07 | 1.46±0.11 |
| (0.15,0.20] | 3091 | 0.81±0.08 | -6.24±0.06 | 0.51±0.09 | 6.31±0.13 |
| (0.20,0.25] | 2134 | 3.24±0.10 | -16.71±0.07 | -0.20±0.11 | 17.02±0.17 |
| (0.25,0.30] | 1199 | 2.39±0.13 | -25.08±0.10 | 0.34±0.14 | 25.20±0.22 |
| (0.30,0.35] | 705 | -5.04±0.18 | -41.18±0.14 | 0.32±0.19 | 41.49±0.30 |
| (0.35,0.40] | 323 | -4.06±0.26 | -54.47±0.22 | 0.89±0.28 | 54.63±0.46 |
| (0.40,0.45] | 164 | -1.78±0.42 | -65.92±0.31 | 1.02±0.41 | 65.95±0.69 |
| (0.45,0.50] | 88 | -28.11±0.58 | -76.96±0.44 | -0.69±0.57 | 81.94±0.96 |
| (0.50,0.60] | 57 | 6.54±0.74 | -91.91±0.58 | -1.16±0.78 | 92.15±1.27 |
| (0.60,0.70] | 7 | 23.99±2.46 | -100.43±2.03 | 1.55±2.24 | 103.27±4.06 |
| (0.70,0.80] | 5 | -83.41±2.94 | -153.49±2.34 | 2.28±2.38 | 174.70±4.68 |
| (0.80,0.90] | 3 | -106.3±5.17 | -171.89±2.59 | 6.46±3.15 | 202.21±6.73 |
| (0.90-1.00] | - | - | - | - | - |

**Tablo 4.6b:** $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $0.5 < z_{max}$ (kpc) $\leq 1$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\langle U_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle V_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle W_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle S_{top} \rangle$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 1050 | -1.31±0.17 | 6.78±0.14 | -0.66±0.17 | 6.94±0.28 |
| (0.05,0.10] | 2818 | -0.43±0.10 | 6.80±0.09 | -0.50±0.11 | 6.83±0.18 |
| (0.10,0.15] | 3742 | 0.63±0.09 | 3.19±0.08 | -0.35±0.09 | 3.27±0.15 |
| (0.15,0.20] | 3583 | -0.48±0.09 | -2.22±0.08 | -0.36±0.09 | 2.30±0.16 |
| (0.20,0.25] | 2925 | -0.78±0.10 | -11.44±0.09 | -0.42±0.10 | 11.47±0.18 |
| (0.25,0.30] | 2131 | -1.76±0.12 | -22.69±0.11 | 0.06±0.12 | 22.76±0.22 |
| (0.30,0.35] | 1286 | -7.13±0.16 | -34.48±0.15 | -0.53±0.16 | 35.21±0.28 |
| (0.35,0.40] | 765 | -3.21±0.21 | -48.86±0.20 | 1.15±0.20 | 48.98±0.37 |
| (0.40,0.45] | 425 | -11.79±0.29 | -64.90±0.29 | 0.78±0.28 | 65.97±0.52 |
| (0.45,0.50] | 268 | -16.21±0.38 | -77.61±0.39 | 0.53±0.35 | 79.29±0.67 |
| (0.50,0.60] | 174 | -21.54±0.50 | -90.32±0.49 | 3.32±0.45 | 92.91±0.87 |
| (0.60,0.70] | 60 | -7.91±0.88 | -118.57±0.98 | -2.99±0.76 | 118.87±1.59 |
| (0.70,0.80] | 21 | 1.76±1.49 | -147.46±1.90 | 5.32±1.25 | 147.57±2.80 |
| (0.80,0.90] | 12 | -3.92±1.46 | -184.22±2.96 | 5.91±1.84 | 184.36±3.85 |
| (0.90-1.00] | 7 | 103.2±2.89 | -196.71±2.76 | -20.65±2.48 | 223.10±4.94 |

**Tablo 4.6c:** $1 < z_{max} \leq 2$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $1 \leq z_{max}$ (kpc) $\leq 2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\langle U_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle V_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle W_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle S_{top} \rangle$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 241 | -0.97±0.45 | 3.00±0.41 | -0.09±0.40 | 3.15±0.75 |
| (0.05,0.10] | 719 | 0.00±0.25 | 3.23±0.24 | 1.67±0.23 | 3.64±0.43 |
| (0.10,0.15] | 1194 | 0.18±0.20 | 3.03±0.19 | 2.25±0.18 | 3.78±0.34 |
| (0.15,0.20] | 1507 | -1.70±0.18 | 1.04±0.17 | 1.42±0.16 | 2.45±0.30 |
| (0.20,0.25] | 1488 | -1.11±0.18 | -5.45±0.17 | 2.03±0.16 | 5.92±0.31 |
| (0.25,0.30] | 1126 | -2.72±0.21 | -14.88±0.20 | -0.90±0.19 | 15.15±0.36 |
| (0.30,0.35] | 922 | -8.86±0.23 | -28.67±0.23 | -0.38±0.20 | 30.01±0.39 |
| (0.35,0.40] | 650 | -7.41±0.29 | -37.40±0.28 | -4.34±0.25 | 38.37±0.49 |
| (0.40,0.45] | 392 | -15.26±0.40 | -51.04±0.39 | -1.09±0.32 | 53.28±0.67 |
| (0.45,0.50] | 231 | -12.38±0.48 | -70.17±0.53 | -2.26±0.42 | 71.29±0.85 |
| (0.50,0.60] | 276 | -22.66±0.47 | -87.06±0.52 | -0.51±0.37 | 89.96±0.82 |
| (0.60,0.70] | 102 | -16.04±0.81 | -115.90±0.87 | 6.11±0.60 | 117.16±1.39 |
| (0.70,0.80] | 49 | 8.40±1.07 | -146.26±1.37 | 2.09±0.92 | 146.52±2.06 |
| (0.80,0.90] | 25 | 34.49±1.87 | -178.46±2.21 | 3.05±1.55 | 181.79±3.38 |
| (0.90-1.00] | 13 | 23.22±1.92 | -203.57±2.49 | -1.15±1.40 | 204.89±3.57 |

**Tablo 4.6d:** $z_{max} > 2$ kpc olan yıldızların uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $z_{max}$ (kpc) $> 2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\langle U_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle V_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle W_{LSR} \rangle$ (km s$^{-1}$) | $\langle S_{top} \rangle$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 18 | -1.72±1.86 | -8.18±1.87 | -20.77±1.69 | 22.39±3.27 |
| (0.05,0.10] | 84 | 2.31±0.87 | -9.11±0.72 | -13.26±0.77 | 16.25±1.42 |
| (0.10,0.15] | 121 | 4.55±0.69 | -10.40±0.65 | -7.81±0.62 | 13.78±1.17 |
| (0.15,0.20] | 189 | 4.34±0.60 | -4.12±0.59 | -7.16±0.50 | 9.33±1.02 |
| (0.20,0.25] | 228 | -7.49±0.53 | -4.24±0.51 | -6.84±0.46 | 10.99±0.90 |
| (0.25,0.30] | 217 | -2.20±0.55 | -13.99±0.51 | -3.83±0.48 | 14.67±0.91 |
| (0.30,0.35] | 172 | -8.06±0.63 | -20.00±0.58 | -1.37±0.51 | 21.61±1.04 |
| (0.35,0.40] | 196 | -2.14±0.59 | -22.87±0.50 | 6.27±0.49 | 23.81±0.95 |
| (0.40,0.45] | 152 | -11.78±0.67 | -38.38±0.57 | 1.40±0.52 | 40.17±1.06 |
| (0.45,0.50] | 132 | -28.24±0.72 | -42.98±0.66 | -10.57±0.6 | 52.50±1.20 |
| (0.50,0.60] | 148 | -11.05±0.75 | -77.65±0.68 | 7.42±0.53 | 78.78±1.19 |
| (0.60,0.70] | 80 | 7.02±0.91 | -101.08±0.85 | 2.73±0.77 | 101.36±1.52 |
| (0.70,0.80] | 48 | 44.69±1.28 | -124.14±1.32 | -4.23±0.90 | 132.01±2.14 |
| (0.80,0.90] | 27 | -38.81±1.47 | -173.85±1.72 | 1.80±1.05 | 178.14±2.59 |
| (0.90-1.00] | 15 | 95.57±2.27 | -201.49±2.14 | -0.66±1.85 | 223.01±3.81 |

**Tablo 4.7a:** $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $0 \leq z_{max}$ (kpc) $\leq 0.5$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\sigma_U$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_V$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_W$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_S$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 1649 | 7.55±4.01 | 10.00±3.06 | 11.35±4.36 | 19.19±6.86 |
| (0.05,0.10] | 3983 | 16.09±4.18 | 12.88±3.13 | 11.46±4.58 | 26.24±7.15 |
| (0.10,0.15] | 4341 | 25.45±4.26 | 16.74±3.21 | 11.36±4.68 | 36.59±7.32 |
| (0.15,0.20] | 3091 | 34.29±4.41 | 22.51±3.29 | 11.40±4.77 | 48.04±7.50 |
| (0.20,0.25] | 2134 | 43.07±4.53 | 28.77±3.33 | 11.60±4.90 | 59.88±7.68 |
| (0.25,0.30] | 1199 | 51.86±4.53 | 36.91±3.45 | 11.49±4.82 | 72.13±7.70 |
| (0.30,0.35] | 705 | 53.58±4.78 | 48.18±3.65 | 11.77±4.93 | 83.37±8.06 |
| (0.35,0.40] | 323 | 58.21±4.74 | 58.60±3.98 | 11.90±5.02 | 94.59±8.27 |
| (0.40,0.45] | 164 | 65.25±5.41 | 68.91±3.99 | 11.57±5.19 | 106.84±8.83 |
| (0.45,0.50] | 88 | 75.16±5.43 | 79.82±4.14 | 12.80±5.36 | 123.57±9.04 |
| (0.50,0.60] | 57 | 74.46±5.58 | 95.42±4.39 | 11.60±5.86 | 133.04±9.61 |
| (0.60,0.70] | 7 | 126.57±6.51 | 106.05±5.37 | 9.68±5.93 | 173.73±10.73 |
| (0.70,0.80] | 5 | 112.48±6.58 | 153.99±5.23 | 4.21±5.32 | 206.49±10.46 |
| (0.80,0.90] | 3 | 132.47±8.95 | 174.08±4.48 | 6.95±5.46 | 234.61±11.66 |
| (0.90-1.00] | 0 | - | - | - | - |

**Tablo 4.7b:** $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

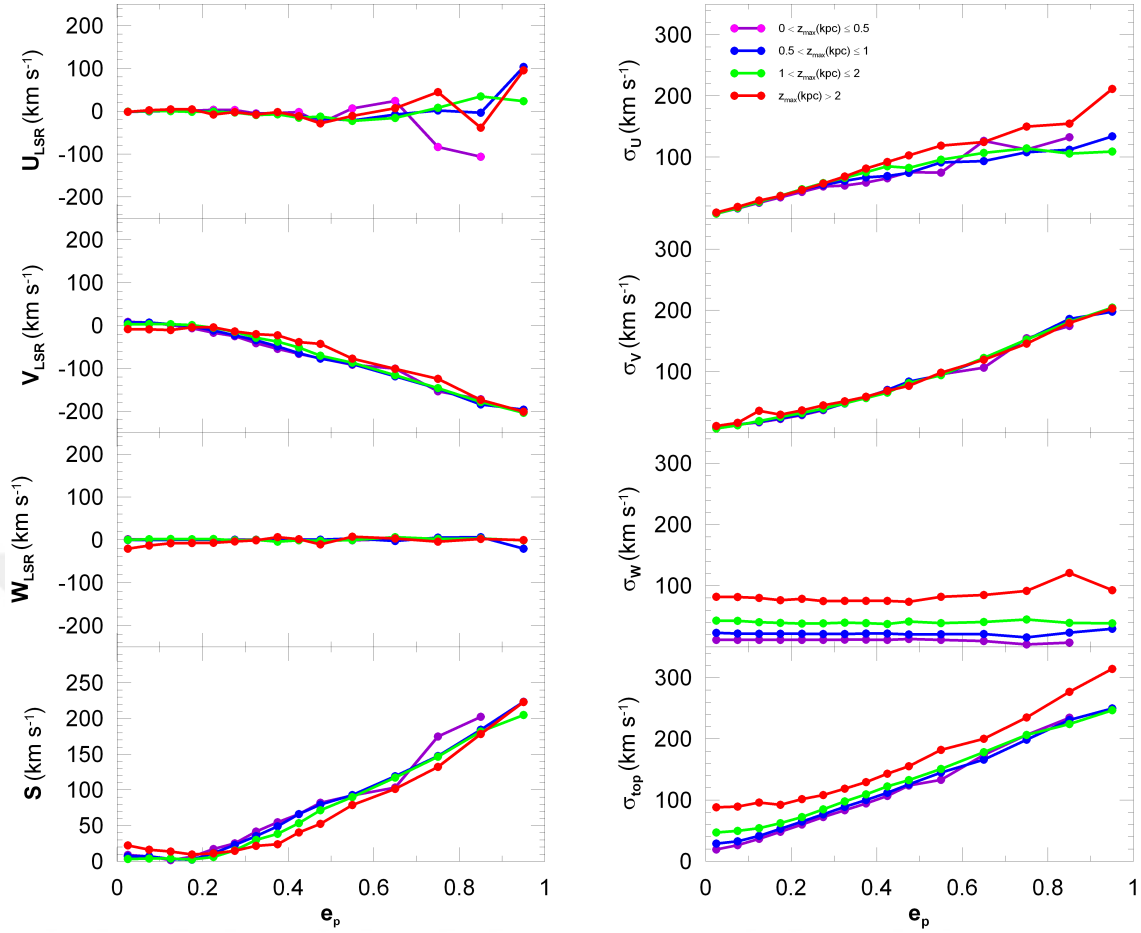
| $0.5 < z_{max}$ (kpc) $\leq 1$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\sigma_U$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_V$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_W$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_S$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 1050 | 7.78±5.48 | 8.50±4.61 | 23.01±5.40 | 28.81±9.23 |
| (0.05,0.10] | 2818 | 16.50±5.51 | 13.16±4.69 | 21.84±5.60 | 32.74±9.43 |
| (0.10,0.15] | 3742 | 26.44±5.31 | 18.02±4.72 | 21.56±5.55 | 41.51±9.29 |
| (0.15,0.20] | 3583 | 36.93±5.51 | 23.54±4.87 | 21.63±5.63 | 52.89±9.56 |
| (0.20,0.25] | 2925 | 46.36±5.56 | 29.81±5.00 | 21.44±5.63 | 64.69±9.66 |
| (0.25,0.30] | 2131 | 54.15±5.71 | 38.13±5.26 | 21.11±5.73 | 76.54±9.96 |
| (0.30,0.35] | 1286 | 61.04±5.75 | 47.48±5.34 | 21.05±5.65 | 88.86±9.99 |
| (0.35,0.40] | 765 | 66.81±5.87 | 57.04±5.53 | 21.70±5.64 | 99.95±10.17 |
| (0.40,0.45] | 425 | 69.23±6.02 | 69.53±6.06 | 21.92±5.74 | 111.95±10.66 |
| (0.45,0.50] | 268 | 74.02±6.17 | 83.38±6.34 | 20.45±5.78 | 125.41±10.98 |
| (0.50,0.60] | 174 | 91.49±6.63 | 93.92±6.42 | 20.78±5.92 | 144.67±11.42 |
| (0.60,0.70] | 60 | 93.52±6.82 | 120.00±7.58 | 21.02±5.92 | 166.02±12.34 |
| (0.70,0.80] | 21 | 107.83±6.84 | 151.68±8.70 | 15.65±5.73 | 198.53±12.81 |
| (0.80,0.90] | 12 | 112.03±5.07 | 185.96±10.25 | 23.26±6.37 | 231.03±13.35 |
| (0.90-1.00] | 7 | 134.18±7.64 | 197.57±7.30 | 29.75±6.56 | 249.90±13.08 |

**Tablo 4.7c:** $1 \leq z_{max} \leq 2$ kpc aralığındaki yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $1 \leq z_{max}$ (kpc) $\leq 2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\sigma_U$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_V$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_W$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_S$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 241 | 7.59±6.97 | 6.61±6.41 | 43.14±6.21 | 47.19±11.70 |
| (0.05,0.10] | 719 | 16.80±6.72 | 12.10±6.46 | 42.48±6.12 | 49.51±11.49 |
| (0.10,0.15] | 1194 | 26.82±6.90 | 18.79±6.48 | 40.45±6.32 | 54.05±11.72 |
| (0.15,0.20] | 1507 | 36.67±6.82 | 25.87±6.67 | 39.41±6.34 | 62.31±11.80 |
| (0.20,0.25] | 1488 | 47.62±6.95 | 32.03±6.70 | 38.18±6.21 | 72.37±11.81 |
| (0.25,0.30] | 1126 | 57.68±6.93 | 39.37±6.82 | 38.48±6.28 | 84.77±11.92 |
| (0.30,0.35] | 922 | 66.09±6.98 | 47.94±7.00 | 39.51±6.12 | 97.78±11.98 |
| (0.35,0.40] | 650 | 75.22±7.44 | 56.46±7.24 | 38.99±6.36 | 109.45±12.55 |
| (0.40,0.45] | 392 | 84.84±7.89 | 65.41±7.73 | 37.31±6.40 | 122.37±13.18 |
| (0.45,0.50] | 231 | 82.18±7.26 | 80.78±8.04 | 41.35±6.32 | 132.74±12.96 |
| (0.50,0.60] | 276 | 95.62±7.77 | 93.88±8.57 | 38.87±6.22 | 150.83±13.60 |
| (0.60,0.70] | 102 | 106.69±8.23 | 122.02±8.76 | 40.63±6.09 | 178.44±14.05 |
| (0.70,0.80] | 49 | 114.30±7.50 | 152.14±9.62 | 44.89±6.43 | 206.52±14.44 |
| (0.80,0.90] | 25 | 105.72±9.36 | 180.81±11.05 | 39.44±7.74 | 224.31±16.92 |
| (0.90-1.00] | 13 | 109.29±6.93 | 204.06±8.97 | 38.73±5.03 | 246.91±12.88 |

**Tablo 4.7d:** $z_{max} > 2$ kpc olan yıldızların uzay hızı dispersiyonu ortalamalarının düzlemsel basıklık ile değişimleri.

| $z_{max}$ (kpc) $> 2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_p$ aralığı | $N$ (yıldız) | $\sigma_U$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_V$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_W$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_S$ (km s$^{-1}$) |
| [0.00, 0.05] | 18 | 9.28±7.90 | 10.80±7.93 | 81.74±7.16 | 88.09±13.87 |
| (0.05,0.10] | 84 | 18.77±7.95 | 16.10±6.59 | 81.35±7.07 | 89.24±13.00 |
| (0.10,0.15] | 121 | 29.04±7.62 | 35.81±7.11 | 80.05±6.81 | 95.88±12.91 |
| (0.15,0.20] | 189 | 36.52±8.20 | 29.44±8.15 | 76.43±6.90 | 92.27±13.98 |
| (0.20,0.25] | 228 | 46.37±8.02 | 36.33±7.76 | 78.46±7.00 | 101.52±13.66 |
| (0.25,0.30] | 217 | 56.93±8.03 | 44.60±7.48 | 74.93±7.01 | 108.06±13.47 |
| (0.30,0.35] | 172 | 68.18±8.22 | 51.44±7.65 | 75.16±6.66 | 118.41±13.58 |
| (0.35,0.40] | 196 | 81.31±8.24 | 58.54±6.95 | 75.37±6.88 | 129.14±13.23 |
| (0.40,0.45] | 152 | 92.14±8.25 | 68.36±7.07 | 75.39±6.47 | 143.14±13.11 |
| (0.45,0.50] | 132 | 102.91±8.24 | 76.56±7.58 | 73.80±6.94 | 155.32±13.77 |
| (0.50,0.60] | 148 | 118.80±9.07 | 97.94±8.32 | 81.73±6.50 | 181.89±14.52 |
| (0.60,0.70] | 80 | 124.51±8.12 | 119.10±7.57 | 85.04±6.87 | 200.11±13.59 |
| (0.70,0.80] | 48 | 149.80±8.86 | 145.45±9.14 | 91.49±6.24 | 234.92±14.81 |
| (0.80,0.90] | 27 | 154.75±7.65 | 179.10±8.93 | 120.84±5.43 | 276.94±13.45 |
| (0.90-1.00] | 15 | 211.35±8.80 | 202.83±8.30 | 92.41±7.16 | 314.46±14.74 |




**Şekil 4.24:** Farklı $z_{max}$ aralıklarındaki KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri (sol panel) ve hız dispersiyonlarının (sağ panel) yatay basıklık parametresine göre değişimleri.

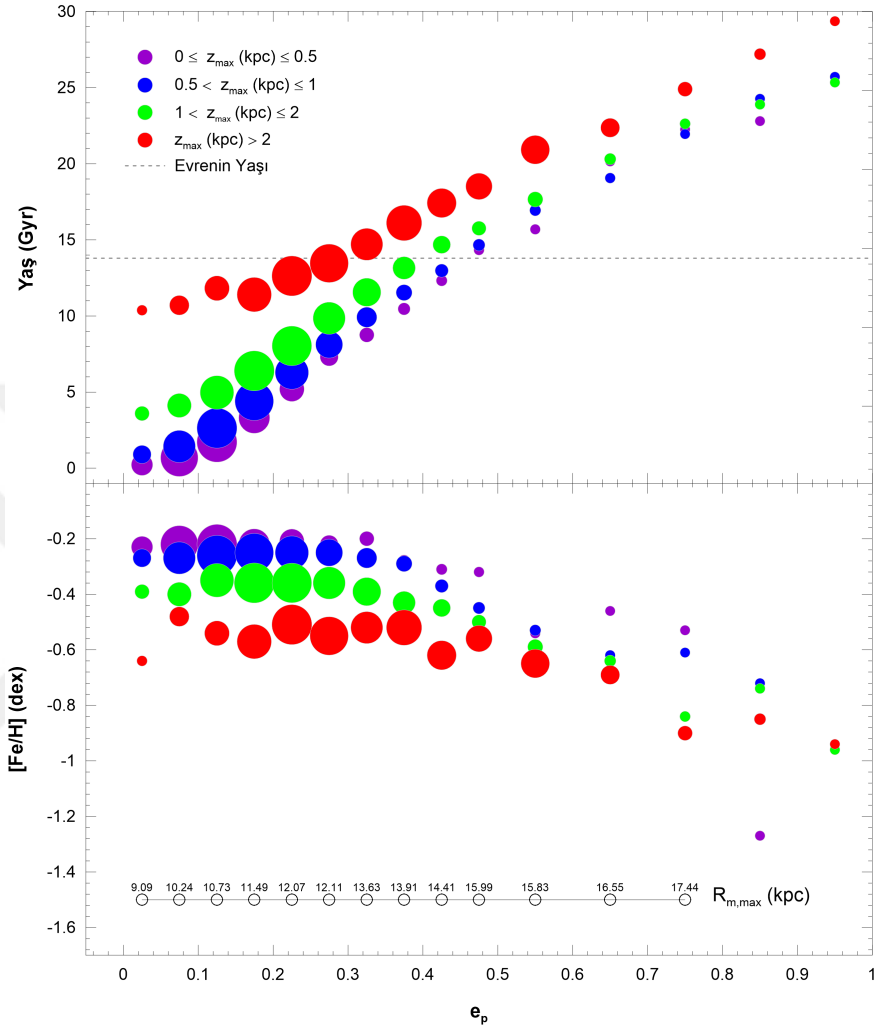
KY yıldızlarına ait uzay hız dispersiyonlarının $z_{max}$ ve $e_p$ ile değişimleri Şekil 4.24'ün sağ panelinde gösterilmiştir. Paneller üzerindeki farklı renkler dört farklı $z_{max}$ aralığını gösterir. KY yıldızlarının $\sigma_U$ dispersiyonu dört $z_{max}$ aralığında da $e_p$=0.3 basıklığına kadar doğrusal olarak artar. Bu basıklık değerinin ötesinde ise küçük $z_{max}$ değerlerinden büyük $z_{max}$'lara gidildikçe $\sigma_U$ dispersiyonlarının büyüdüğü görülmektedir. Dört $z_{max}$ aralığındaki tüm $\sigma_V$ dispersiyonlarındaki değişimler çember yörüngelerden basık yörüngelere doğru ilerledikçe 0 km s$^{-1}$'den yaklaşık 200 km s$^{-1}$'e doğrusal olarak artmaktadır. KY yıldızlarının $\sigma_W$ dispersiyonlarına bakıldığında ise, $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığı için her bir $e_p$ alt-örneğinin yaklaşık 10 km s$^{-1}$ değeri civarında olduğu görülmektedir. Artan $z_{max}$ ile $\sigma_W$ dispersiyonları sırasıyla yaklaşık 25, 40 ve 80 km s$^{-1}$ civarında hemen hemen sabit değerlerde değişmektedir. Toplam uzay hız dispersiyonları incelendiğinde ise 0 ile 2 kpc aralığındaki hız dispersiyonlarının hemen hemen birbirlerine yakın olduğu, Galaktik düzlemden 2 kpc ötedeki KY yıldızlarında

ise çember yörüngelerde yaklaşık 90 km $s^{-1}$'den başlayarak, en basık yörüngelere doğru neredeyse 320 km $s^{-1}$'e ulaştığı görülmüştür. Buna göre $\sigma_W$ dispersiyonunun, toplam uzay hızı dispersiyonuna etkisinin büyüktür.

Son olarak, RAVE DR4 kataloğundaki KY yıldızlarının farklı $z_{max}$ aralıklarındaki yatay yörünge basıklık parametresine sınırlama getirilerek oluşturulan alt-örneklerin kinematik yaş ve [Fe/H] parametrelerinin değişimleri incelenmiştir. Yörünge basıklıkları ile kinematik yaş arasındaki diyagram Şekil 4.25'in üst panelinde gösterilmiştir. Galaktik düzlemden $z_{max} \leq 2$ kpc uzaklık aralığında bulunan KY yıldızlarının $e_p$=0.4 değerine kadar kinematik yaşları 13.5 Gyr'a kadar arttırmaktadır. Daha büyük $z_{max}$ aralıklarında ise bu değer $e_p$=0.3 değerine denk gelmektedir. Daha basık yörüngelere doğru ilerledikçe dört $z_{max}$ aralığı için hesaplanan kinematik yaşlar Evrenin yaşından (Şekil 4.25 üst paneldeki gri kesikli çizgi) daha büyük sonuçlar vermektedir. Kinematik yaşların Evrenin yaşından daha küçük olduğu yıldızlar dikkate alındığında, $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığında yer alan yıldızların ortalama metal bollukları -0.23 dex ve yaş ortalamaları 5.56 Gyr'dır. Bu $z_{max}$ aralığında yıldızların yaşları 0.23 ile 12.32 Gyr arasında değişmektedir. $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc aralığında yer alan yıldızların ortalama metal bollukları -0.28 dex ve yaş ortalamaları 6.47 Gyr'dır. Bu $z_{max}$ aralığında yıldızların yaşları 0.89 ile 12.98 Gyr arasında değişmektedir. $1 < z_{max} < 2$ kpc aralığında yer alan yıldızların ortalama metal bollukları -0.38 dex ve ortalama yaşı 7.71 Gyr'dır. Bu $z_{max}$ aralığında yıldızların yaşları 10.38 ile 13.47 Gyr arasında değişmektedir.

Dört $z_{max}$ uzaklık aralığındaki KY yıldızlarının yatay yörünge basıklık parametresi ile [Fe/H] arasındaki değişimleri Şekil 4.25'in alt panelinde gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi $e_p$=0.4 değerine kadar küçük $z_{max}$'lardan büyük $z_{max}$'lara gidildikçe ortalama [Fe/H] değerlerinin gitgide fakirleştiği görülmektedir. Bu basıklık değerinin ötesinde, yıldızların yörüngeleri basıklaştıkça dört $z_{max}$ aralığındaki [Fe/H] değerleri doğrusal olarak birbirine paralel azalmaktadır. Aynı şeklin alt panelinde $e_p$ değişimi $R_{m,max}$ ile ilişkilendirilmiştir. Yörünge basıklıklarına göre alt gruplara ayrılmış KY yıldızlarının en büyük $R_{m,max}$ değerleri 9 ile 18 kpc arasında değişmektedir. Şekilden görüleceği gibi çember yörüngelerden basık yörüngelere doğru ilerledikçe, beklenildiği

gibi, $R_{m,max}$ değerleri artarken [Fe/H] değerleri azalmaktadır. Bu değişim seçilen dört $z_{max}$ değer aralığında da aynı yönlüdür.




**Şekil 4.25:** Farklı $z_{max}$ aralıkları ve $e_p$ alt-örneklerine ayrılmış KY yıldızlarının kinematik yaş (üst panel) ve metal bolluğuna (alt panel) göre değişimleri. Daire boyutları yıldız sayısıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca alt panelde $e_p$ alt-örneklerine karşılık gelen en büyük $R_m$ değerleri gösterilmiştir.

# 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu Doktora tez çalışmasında, RAVE DR4'ten tespit edilen kırmızı yığın yıldızlarının atmosfer model parametreleri, kinematik ve yörünge dinamiğine ait veriler kullanılarak Galaksi diskinin kemo-dinamik yapısı araştırılmış ve literatürdeki oluşum senaryoları sınanmıştır.

RAVE DR4 (Kordopatis ve diğ. 2013), önceki veri sürümlerinden farklı olarak şimdiye kadar yayımlanmış en geniş kaynak arşivi olan ve girdi kataloğu güney gökyüzünün %80'ini kapsayan DENIS DR3 (DENIS Konsorsiyumu, 2005) fotometrisine dayalı olarak oluşturulmuş bir katalogtur. Bu katalogta, yıldızların başta radyal hız ve model atmosfer parametreleri olmak üzere başka kataloglarla eşleştirmeler yapılarak özhareket, kızılötesi görünür parlaklıklar, element bollukları, eş-yaş eğrileriyle belirlenen ve çok duyarlı olmayan yaş, kütle ve uzaklık parametreleri bulunmaktadır. KY yıldızlarının seçiminde RAVE DR4'teki atmosfer model parametrelerinden faydalanılmıştır. Bunun için katalogtaki yıldızların etkin sıcaklığına ve yüzey çekim ivmesi değerlerine, sırasıyla, $4000 < T_{eff}$ (K) $< 5400$ ve $1 <$ log $g$ (cm $s^{-2}$) $< 3$ sınırlamaları getirilerek KY yıldızları seçilmiştir.

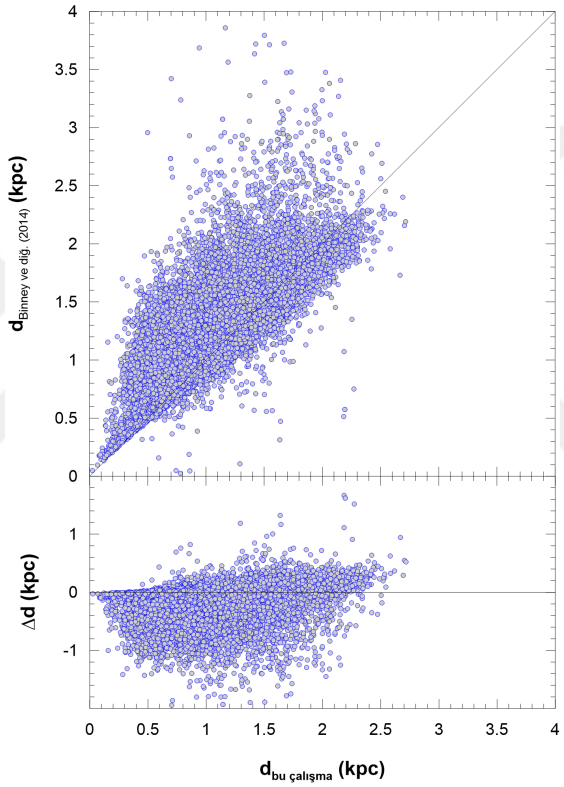
Nükleer evrimlerinin ileri aşamalarında bulunan KY yıldızları, H-R diyagramının soğuk ve parlak, dar bir bölgesinde yer alır. Bu da KY yıldızlarının *standart mum* olarak kullanılmasına fırsat verir. Yüksek ışıma güçleri bu yıldızların çok uzaktan bile görünmelerine ve kızılötesi parlaklıkları da yıldızlararası ortamdan daha az etkilenmelerine sebep olur. KY yıldızlarının bu özellikleri, Galaksimiz ve yakın galaksilerin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılması açısından astronomların sıklıkla tercih ettiği nesneler olmalarını sağlamıştır.

RAVE DR4 kataloğunda Binney ve diğ.'nin (2014) eş-yaş eğrilerine dayalı *Bayesian* uzaklık yöntemiyle hesaplanan uzaklıklar verilmiştir. Yıldızların model atmosfer

parametrelerine bağlı olan bu yöntem genellikle cüce yıldızlarda daha duyarlı uzaklık tayini yapılmasını sağlarken, dev yıldızlar söz konusu olduğunda azalan yüzey çekim ivmesiyle birlikte yıldız uzaklıkları sistematik olarak olduğundan daha büyük tayin edilmektedir. Ayrıca, Binney ve diğ.'nin (2014) yaptığı bu çalışma bir olasılık dağılımı fonksiyonuna dayalı olduğundan, seçilen güvenilirlik sınırının dışındaki değerlerin elde edilmesi durumunda yıldız uzaklıkları tayin edilememektedir. Bu nedenlerden dolayı çalışmamızda yıldızların uzaklıklarının belirlenmesinde fotometrik paralaks yöntemi kullanılmıştır. Yıldızların mutlak parlaklıkları, Groenewegen'in (2008) yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundaki yıldızlardan tayin ettiği $K_s$ bandındaki $\langle M_{Ks} \rangle$=-1.54±0.04 kadir olarak kabul edilmiştir. Çalışmada KY yıldızlarının uzaklıklarını daha iyi belirleyebilmek için Galaktik enlemi $|b|>10°$ olan kaynaklar seçilmiştir. Seçilen KY yıldızlarının uzaklıkları ve kızılötesi renk artıkları Bölüm 3.3'te anlatılan iteratif yöntemle hesaplanmıştır. Analizler 52,196 KY yıldızının Güneş'e göre 3 kpc içerisindeki bir uzay hacminde yer aldıklarını göstermiştir. Örneğin Güneş merkezli Galaktik dağılımları incelendiğinde ise medyan uzaklıklarının ($X$, $Y$, $Z$)=(+0.67, +0.09, -0.24) kpc olduğu görülmüştür. Bu değerlerin sıfıra eşit bulunmaması RAVE tarama programının gözlemsel stratejisinden kaynaklanmaktadır. Analizler KY yıldız örneğinin büyük bir kısmının birinci ve dördüncü Galaktik çeyreklerde ve güney Galaktik yarı kürede bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, KY yıldızları Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda $5.7 < R_{gc} < 9.7$ kpc ve Galaksi düzlemine dik doğrultuda ise $|Z| < 3$ kpc aralığında bulunur.

Çalışmamızda yıldızların uzay hızları ve Galaktik yörünge parametreleri hesaplanacağı için girdi olarak kullanılacak olan uzaklık parametresinin duyarlı belirlenmesi önemlidir. Fotometrik paralaks yöntemiyle hesaplanan uzaklıkların duyarlılıklarını görebilmek için RAVE DR4 kataloğunda Binney ve diğ. (2014) tarafından hesaplanan *Bayesian* istatistiğine dayalı uzaklıklarla karşılaştırılmıştır. Çalışmamızdaki 52,196 KY yıldızının ancak %87'sinin uzaklıklarının *Bayesian* istatistiğiyle tayin edilebildiği görülmüştür ki bu da çalışmamızın üstün yanlarından ilkini teşkil eder. İki farklı yöntemle tayin edilen yıldız uzaklıklarının karşılaştırması Şekil 5.1'de verilmiştir.

Karşılaştırmadan görüleceği gibi genel itibariyle iki yöntemden elde edilen uzaklıklar 2.5 kpc'e kadar birbiriyle uyumludur. Hesaplanan uzaklıkların ortalama farkları ve bu farkların standart sapma değerleri sırasıyla 87 ve 220 pc'tir. Şekil 5.1'den görüldüğü gibi Binney ve diğ.'nin (2014) yöntemiyle elde edilen uzaklıkların, bu çalışmada elde edilenlere göre yıldızları daha uzakta hesapladığı görülmektedir. Bu durum Binney ve diğ.'nin (2014) de çalışmalarında bahsetmiş olduğu sistematik hatayı yansıtmaktadır. Bu da uzaklık tayinin için seçilen fotometrik paralaks yönteminin ikinci üstünlüğüdür.




**Şekil 5.1:** Bu çalışmada ve Binney ve diğ.'nin (2014) yöntemiyle hesaplanan yıldız uzaklıklarının karşılaştırması.

KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri ve bu bileşenlerin hatalarının hesabında Johnson ve Soderblom'un (1987) matrisleri ve algoritması kullanılmıştır. Galaksimizin diferansiyel dönmesi Galaksi düzleminde olan $U$ ve $V$ uzay hızı bileşenlerini etkilediğinden bu iki uzay hızı bileşeni Mihalas ve Binney'in (1980) önerdiği yöntemle düzeltilmiştir. $W$ hız bileşeni Galaksi düzlemine dik doğrultuda olduğundan Galaktik diferansiyel dönmeden etkilenmemektedir. Uzay hızlarına getirilen bir diğer düzeltme de Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) tüm yıldız popülasyonlarında bulunan F ve G anakol yıldızları için hesapladığı yerel durağanlık standardıdır. Bu iki durum dikkate alınarak

örneğimizdeki KY yıldızlarının uzay hızları düzeltilmiştir. Çalışmada en duyarlı KY yıldız örneği seçiminde verilere uygulanan en son sınırlama toplam uzay hızı hatasına getirilmiştir. Yıldızların uzay hızı bileşenleri ve hataları Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritmasında kullanılan uzaklık, özhareket ve radyal hız girdi parametrelerinden etkilenir. Uzay hızı bileşenlerindeki bu etki, yıldızların toplam uzay hızının hatasında en belirgin haldedir. 52,196 KY yıldızlarının içerisinden büyük toplam uzay hızı hatasına sahip yıldızların çıkartılmasında Şekil 4.9'da verilen toplam uzay hızı hatası histogramından faydalanılmıştır. Dağılımın medyan hatası ve 1-$\sigma$ değeri dikkate alınarak hesaplanan toplam uzay hızı hatası $S_{ht}$=21 km $s^{-1}$ olarak elde edilmiş ve bu değerden daha büyük toplam uzay hızı hatasına sahip yıldızlar istatistik dışı bırakılmıştır. Bu şekilde istatistiğe katılan yıldız sayısı 47,406 olmuştur.

KY yıldızlarının yörünge dinamiği parametrelerinin hesabında Bovy'nin (2015) *Python* programlama dilinde hazırladığı *galpy* paketi kullanılmıştır. Bu paket içinde Samanyolu galaksisi için özel hazırlanmış olan *MWPotential2014* isimli alt paketçik 47,406 KY yıldızının Galaktik yörünge parametrelerinin hesabında kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda KY yıldızlarının ekvatoral koordinatları, radyal hızları, özhareket bileşenleri ve uzaklıkları girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Buradan KY yıldızlarının 3 Gyr zaman aralığında oluşturulan yörüngelerinden, yıldızların Galaksi düzlemine göre ulaştıkları en büyük uzaklık, Galaksi merkezinden olan en büyük ve en küçük uzaklıklar ile bu uzaklıkların ortalamaları, yatay ve dikey basıklık değerleri de çıktı parametreleri olarak elde edilmiştir. Bu şekilde RAVE DR4 kataloğunda sunulan verilere (ekvatoral ve Galaktik koordinatlar, radyal hız, öz hareket bileşenleri, kızılötesi görünür parlaklıklar, atmosfer model parametreleri) ilaveten örneğimizdeki KY yıldızları için uzaklık, uzay hızı bileşenleri, toplam uzay hızı, Galaktik yörünge parametreleri eklenerek daha geniş bir parametre uzayı elde edilmiştir. Bu verilerden itibaren KY yıldızları, Galaksi merkezine göre radyal ve Galaksi düzlemine göre dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentlerinin araştırılması ve yıldızların yörünge parametreleri ile hız dispersiyonlarının değişimlerinin incelenmesi için hazır hale getirilmiştir.

## 5.1. METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Samanyolu'nun evrim ve oluşumunun anlaşılmasında Galaksimizde yer alan nesnelerin kimyasal bollukları ve uzaklıkları önemlidir. Büyük Patlama'dan sonra madde çağına geçiş aşamasıyla beraber metal içeriği bakımından çok fakir ilkel Galaktik bulutların oluşumları başlamış ve ilk yıldızların oluşumu tetiklenmiştir. Büyük kütleli ilkel yıldızlar da merkezlerinde ürettikleri ağır elementleri süpernova patlamalarıyla uzaya saçmışlardır. Bu ağır element içerikli gaz açısal momentumun korunumuna uygun olarak Galaktik şişkin bölge ve Galaktik düzleme doğru akarak ikinci kuşak yıldızların oluşmasına zemin hazırlamıştır. İlkel Galaktik bulutun çökerek yıldız oluşturması aşamasından sonra, cüce galaksilerin Samanyoluyla etkileşimleri başlamış ve Galaksimizin ince diski ile karanlık halosunun boyutları büyümüştür. Bu durumun geçerliliğinin söz konusu olabilmesi için hem Galaksi merkezinden itibaren radyal doğrultuda hem de Galaksi düzlemine dik doğrultuda metal bolluğu gradyentlerinin olması gerekmektedir.

Bu Doktora tez çalışmasında, RAVE DR4 verilerinden seçilen KY yıldızları kullanılarak metal bolluğu gradyentlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu yıldızların hem bugünkü hem de Galaktik yörünge parametrelerinden hesaplanan konumlarından Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda ve Galaksi düzlemine dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların literatürde verilen değerlerle uyumları veya farklılıklarını gösterebilmek için geçen 15 yılı kapsayan detaylı bir tarama yapılmıştır. Literatür taramasında farklı Galaktik nesneler için farklı uzaklık ölçüm tekniklerinden elde edilen radyal ve dikey metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, Tablo 5.1a-c ve Tablo 5.2a-b'de verilmiştir. Tablolarda bahsi geçen metal bolluğu gradyenti, uzaklık ve yaş değerleri, sırasıyla, dex $kpc^{-1}$, kpc ve Gyr birimlerindedir.

**Tablo 5.1a:** Literatürde son 15 yılda verilen nesnelerin bugünkü konumlarından ($R_{gc}$) hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri.

| Yazar | Nesne | $d$[Fe/H]$/dR_{gc}$ | Açıklama | Bibliyografik Kod |
|---|---|---|---|---|
| Jacobson ve diğ. (2016) | Açık küme | -0.100±0.020 | $6<R_{gc}<12$ | 2016A&A...591A..37J |
| Cunha ve diğ. (2016) | Açık küme | -0.035±0.007 | $6<R_{gc}<25$ | arXiv:1601.03099 |
| Netopil ve diğ. (2016) | Açık küme | -0.086±0.009 | $5<R_{gc}<12$ | 2016A&A...585A.150N |
| | | -0.082±0.013 | $1<\tau<2.5$ | |
| Huang ve diğ. (2015) | KY | -0.082±0.003 | $\|Z\|\leq 0.1$ | 2015RA&A....15.1240H |
| | | -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 | $0.7<\|Z\|\leq 0.9$ | |
| | | -0.020±0.007 | $0.9<\|Z\|\leq 1.1$ | |
| Xiang ve diğ. (2015) | DnY | -0.100±0.003 | $\|Z\|\leq 0.1$; $2<\tau<16$ | 2015RA&A....15.1209X |
| | | -0.050±0.002 | $0.4<\|Z\|\leq 0.6$; $2<\tau<16$ | |
| | | -0.010±0.002 | $0.9<\|Z\|\leq 1.1$; $2<\tau<16$ | |
| Recio-Blanco ve diğ. (2014) | FGK anakol | -0.058±0.008 | İnce disk *[M/H]* | 2014A&A...567A...5R |
| | | +0.006±0.008 | Kalın disk *[M/H]* | |
| Mikolaitis ve diğ. (2014) | FGK anakol | -0.044±0.009 | Ana ince disk | 2014A&A...572A..33M |
| | | -0.028±0.018 | Temiz ince disk | |
| | | +0.008±0.007 | Ana kalın disk | |
| | | +0.008±0.007 | Temiz kalın disk | |
| Genovali ve diğ. (2014) | Sefeid | -0.021±0.029 | $5<R_{gc}<19$ | 2014A&A...566A..37G |
| Andreuzzi ve diğ. (2014) | Açık küme | -0.04 | $6<R_{gc}<22$ | 2011MNRAS.412.1265A |
| Hayden ve diğ. (2014) | KD | -0.090±0.002 | $0.00<\|Z\|<0.25$ $R_{gc}<15$ | 2014AJ....147..116H |
| | | -0.076±0.003 | $0.25<\|Z\|<0.50$ $R_{gc}<15$ | |
| | | -0.057±0.003 | $0.50<\|Z\|<1.00$ $0<R_{gc}<15$ | |
| | | -0.030±0.006 | $1.00<\|Z\|<2.00$ $0<R_{gc}<15$ | |
| Frinchaboy ve diğ. (2014) | Açık küme | -0.090±0.030 | $7.9\leq R_{gc}\leq 14.5$ | 2013ApJ...777L...1F |
| | | -0.200±0.080 | $7.9\leq R_{gc}\leq 10.0$ | |
| | | -0.020±0.090 | $10<R_{gc}\leq 14.5$ | |
| Boeche ve diğ. (2013) | FG anakol | -0.029±0.011 | $7.6<R_{gc}<8.3$ | 2013A&A...559A..59B |
| Carrell ve diğ. (2012) | FGK anakol | +0.015±0.005 | $0.5<\|Z\|<1.0$ eş-yaş yöntemi | 2012AJ....144..185C |
| | | +0.017±0.005 | $0.5<\|Z\|<1.0$ fotometrik yöntem | |
| Cheng ve diğ. (2012) | DnY | $-0.066^{+0.030}_{-0.044}$ | $0.15<\|Z\|<0.25$ | 2012ApJ...746..149C |
| | | $-0.064^{+0.015}_{-0.004}$ | $0.25<\|Z\|<0.50$ | |
| | | $-0.013^{+0.009}_{-0.002}$ | $0.50<\|Z\|<1.00$ | |
| | | $+0.028^{+0.007}_{-0.005}$ | $1.00<\|Z\|<1.50$ | |
| Yong ve diğ. (2012) | Açık küme | $-0.120^{+0.010}_{-0.140}$ | $\tau\geq 2.5$; $R_{gc}<13$ | 2012AJ....144...95Y |
| Karataş ve Klement (2012) | Anakol | -0.07±0.01 | $0<z_{max}<5$ | 2012NewA...17...22K |
| Luck ve Lambert (2011) | Sefeid | -0.062±0.002 | $4<R_{gc}<17$ | 2011AJ....142..136L |

Tablo 5.1a (devam)

| Yazar | Nesne | $d$[Fe/H]$/dR_{gc}$ | Açıklama | Bibliyografik Kod |
|---|---|---|---|---|
| Ruchti ve diğ. (2011) | KD, KY, YK, AD, anakol | +0.010±0.040 | $5<R_{gc}<10$ $\|Z\|<3$ | 2011ApJ...737....9R |
| Luck ve diğ. (2011) | Sefeid | -0.055±0.003 | $4<R_{gc}<16$ | 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 | $6\leq R_{gc}\leq 13.5$ | 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 | $7< R_{gc} <12$, $\tau \leq 0.8$ | 2009A&A...494...95M |
| Lemasle ve diğ. (2008) | Sefeid | -0.052±0.003 | $5< R_{gc} <17$ | 2008A&A...490..613L |
| Lemasle ve diğ. (2007) | Sefeid | -0.061±0.019 | $8< R_{gc} <12$ | 2007A&A...467..283L |
| Allende Prieto ve diğ. (2006) | FG anakol | 0 | $1<\|Z\|\leq 3$ | 2006ApJ...636..804A |
| Chen ve diğ. (2003) | Açık küme | -0.063±0.008 | $6< R_{gc} <15$ | 2003AJ....125.1397C |
| Hou ve diğ. (2002) | Açık Küme | -0.099±0.008 | $6.5< R_{gc} <16$ | 2002ChJAA...2...17H |
| Friel ve diğ. (2002) | Açık küme | -0.060±0.010 | $7< R_{gc} <16$ | 2002AJ....124.2693F |
| | | -0.023±0.019 | $\tau<2$ | |
| | | -0.053±0.018 | $2\leq \tau \leq 4$ | |
| | | -0.075±0.019 | $\tau>4$ | |
| Andrievsky ve diğ. (2002) | Sefeid | -0.130±0.030 | iç disk | 2002A&A...392..491A |

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

**Tablo 5.1b:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarına ($R_m$) göre hesaplanan metal bolluğu gradyentleri

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

**Tablo 5.1c:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin rehber yarıçaplarından hesaplanan ($R_g$) metal bolluğu gradyentleri.

| Yazar | Nesne | $d$[Fe/H]$/dR_g$ | Açıklama | Bibliyografik Kod |
|---|---|---|---|---|
| Plevne ve diğ. (2015) | F-G anakol | -0.083±0.030 | $0<z_{max}\leq 0.5$ [Fe/H] | 2015PASA...32...43P |
| | | -0.065±0.039 | $0.5<z_{max}\leq 0.8$ [Fe/H] | |
| | | -0.062±0.018 | $0<z_{max}\leq 0.5$ [M/H] | |
| | | -0.055±0.045 | $0.5<z_{max}\leq 0.8$ [M/H] | |
| Boeche ve diğ. (2014) | KY | -0.054±0.004 | $0<\|Z\|\leq 0.4$ | 2014A&A...568A..71B |
| | | -0.039±0.004 | $0.4<\|Z\|\leq 0.8$ | |
| | | -0.011±0.008 | $0.8<\|Z\|\leq 1.2$ | |
| | | +0.047±0.018 | $1.2<\|Z\|\leq 2.0$ | |
| Boeche ve diğ. (2013) | F-G anakol | -0.065±0.003 | $0<z_{max}\leq 0.4$ | 2013A&A...559A..59B |
| | | -0.059±0.006 | $0.4<z_{max}\leq 0.8$ | |
| | | +0.006±0.015 | $z_{max}>0.8$ | |

**Tablo 5.2a:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin Galaksi düzleminden olan bugünkü dik uzaklıklarından hesaplanan ($|Z|$) metal bolluğu gradyent değerleri.

| Yazar | Nesne | $d$[Fe/H]$/dZ$ | Açıklama | Bibliyografik Kod |
|---|---|---|---|---|
| Xiang ve diğ. (2015) | DnY | -0.110±0.020 | $\tau>11$ | 2015RAA....15.1209X |
| Huang ve diğ. (2015) | KY | -0.206±0.006 | $\|Z\|\leq 1$ $7<R_{gc}\leq 8$ | 2015RAA....15.1240H |
| | | -0.116±0.008 | $\|Z\|\leq 1$ $8< R_{gc} \leq 9$ | |
| | | -0.052±0.010 | $\|Z\|\leq 1$ $9< R_{gc} \leq 10$ | |
| | | ~0.000±0.012 | $\|Z\|\leq 1$ $10< R_{gc} \leq 11$ | |
| | | +0.008±0.008 | $\|Z\|\leq 1$ $11< R_{gc} \leq 12$ | |
| | | +0.057±0.012 | $\|Z\|\leq 1$ $12< R_{gc} \leq 13$ | |
| | | +0.047±0.012 | $\|Z\|\leq 1$ $13< R_{gc} \leq 14$ | |
| 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) | |
| | | -0.037±0.016 | Kalın disk (temiz) | |
| Schlesinger ve diğ. (2014) | G anakol | $-0.243^{+0.039}_{-0.053}$ | Tüm örnek | 2014ApJ...791..112S |
| Boeche ve diğ. (2014) | KY | -0.112±0.007 | $0<\|Z\|\leq 2$ | 2014A&A...568A..71B |
| Hayden ve diğ. (2014) | KD | -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 | $7<R_{gc}<10.5$, eş-yaş yöntemi | 2012AJ....144..185C |
| | F-G-K anakol | -0.125±0.008 | $7< R_{gc} <10.5$, fotometri yöntemi | |

Tablo 5.2a (devam)

| Yazar | Nesne | *d*[Fe/H]*/dZ* | Açıklama | Bibliyografik Kod |
|---|---|---|---|---|
| Peng ve diğ. (2012) | anakol | -0.210±0.050 | 0<*Z*<2 | 2012MNRAS.422.2756P |
| Katz ve diğ. (2011) | KD, KY,YK AD, anakol | -0.068±0.009 | Kalın disk | 2011A&A...525A..90K |
| Chen ve diğ. (2011) | KY | -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≤ *Z*≤ 4 | 2011A&A...535A.107K |
| Ruchti ve diğ. (2011) | KD, KY,YK AD, anakol | -0.090±0.050 | 6<$R_{gc}$<10, \|*Z*\|<3 | 2011ApJ...737....9R |
| Yaz ve diğ. (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 ve diğ. (2009) | F anakol | -0.15 | *Z*<4 | 2009MNRAS.395.1569S |
| Soubiran ve diğ. (2008) | KY | -0.300±0.030 | *d*<1 | 2008A&A...480...91S |
| Ak ve diğ. (2007a) | G anakol | -0.380±0.060 | 3 ≤ *Z*<5 | 2007NewA...12..605A |
| | | -0.080±0.070 | 5 ≤ *Z*<10 | |
| Ak ve diğ. (2007b) | G anakol | -0.160±0.020 | *Z*<3 Kuzey | 2007AN....328..169A |
| | | -0.220±0.020 | Z<3 Güney | |
| Allende Prieto ve diğ. (2006) | FG anakol | 0.03 | 1<\|Z\|≤3; [Fe/H]>-1.2 | 2006ApJ...636..804A |
| Marsakov ve Borkova (2006) | F anakol | -0.290±0.060 | İnce disk | 2006A&AT...25..157M |
| Karaali ve diğ. (2003) | G anakol | -0.2 | Z≤8 | 2003MNRAS.343.1013K |
| Bartasiute ve diğ. (2003) | F anakol | -0.230±0.040 | Z<1.3 | 2003BaltA..12..539B |

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

**Tablo 5.2b:** Literatürde son 15 yılda verilen, nesnelerin Galaktik yörünge parametrelerinden elde edilen Galaksi düzleminden dik uzaklıkları ($z_{max}$) için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri.

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

## 5.2. RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

### 5.2.1. KY Yıldızlarının Bugünkü Konumlarına Göre

Yıldızların Güneş'ten olan bugünkü uzaklıkları, KY yıldızlarının $K_s$ bandındaki görünen parlaklığı ile Groenewegen'in (2006) *Hipparcos* KY yıldızlarından bu bant için hesapladığı $M_{Ks}$=-1.54±0.04 kadir değeri kabul edilerek Pogson bağıntısıyla hesaplanmıştır. Yıldızların bugünkü konumları için radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanırken, KY yıldızlarının metal bollukları ([Fe/H]) RAVE DR4 kataloğundan alınmış ve yıldızların Güneş'ten olan uzaklıkları ise Galaksi merkezinden olan uzaklıklarına çevrilerek kullanılmıştır. KY yıldızları $5.7 < R_{gc} < 9.7$ kpc uzaklık aralığında yer almaktadır. Bölüm 4.6.1'de bahsedildiği gibi, KY yıldızlarının radyal metal bolluğu gradyentleri incelenirken örnek, yıldızların bugünkü konumlarına ($R_{gc}$) göre Galaksi düzleminden dik doğrultuda üç $|Z|$ aralığı için hesaplanmıştır. Verilere geçirilen doğrusal fitlerden $0 < |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.047±0.003, -0.001±0.003 ve +0.015±0.008 dex kpc$^{-1}$ bulunmuştur. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça KY yıldızlarının ortalama metal bolluğu değerinde bir azalma olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Tablo 5.1a'da verilen literatür çalışmalarında hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleriyle karşılaştırılmıştır: Huang ve diğ. (2015), LAMOST gökyüzü taramasından seçilen KY yıldızlarının Galaksi düzleminden dik doğrultudaki uzaklıklarını 0.2 kpc'lik aralıklara ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplamışlardır. Analizlerinde Galaktik düzlemden 1 kpc mesafeye gidildikçe radyal metal bolluğu gradyentinin -0.082±0.003 dex kpc$^{-1}$'ten -0.020±0.007 dex kpc$^{-1}$'e düzgün bir şekilde değiştiğini göstermişlerdir. LAMOST gökyüzü taramasından seçilen 2 ile 16 Gyr yaş aralığındaki dönüm noktası yıldızlarını kullanan Xiang ve diğ. (2015), örneğini Galaksi düzleminden dik uzaklıklarına göre 1 kpc'e kadar uzanan üç gruba ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini elde etmiştir. Buna göre radyal metal bolluğu gradyentlerinin Galaksi düzleminden dik doğrultuda 1.1 kpc'e doğru gittikçe -0.100±0.003'den -0.010±0.007 dex kpc$^{-1}$'e düzgün bir şekilde azaldığını göstermişlerdir. Bu iki çalışmada bulunan eğilim çalışmamızdakine benzemekle beraber elde ettiğimiz radyal metal bolluğu gradyentleri Xiang ve diğ.'nin (2015) sonuçlarına göre daha küçüktür. F, G, K tayf türlerindeki anakol yıldızlarının

radyal metal bolluğu gradyentlerini Galaktik popülasyonlara ayırarak inceleyen Recio-Blanco ve diğ. (2014) ve Mikolaitis ve diğ. (2014) ince disk bileşeni için, sırasıyla, -0.058±0.008 dex kpc$^{-1}$ ve -0.044±0.009 dex kpc$^{-1}$ ve kalın disk bileşeni için, sırasıyla, -0.006±0.008 dex kpc$^{-1}$ ve -0.008±0.007 dex kpc$^{-1}$ değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada yoğun olarak ince disk yıldızlarının bulunduğu $|Z|\leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı ile kalın disk yıldızlarının hâkim olduğu $1<|Z|\leq 3$ kpc uzaklık aralığı dikkate alındığında hesaplanan -0.047±0.003 ve +0.015±0.008 dex kpc$^{-1}$ değerleri hatalar mertebesinde iki çalışmayla da uyumludur. Hayden ve diğ. (2014) APOGEE taramasından belirledikleri kırmızı dev yıldızları kullanarak $0.5<|Z|\leq 1$ kpc'lik uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyentini -0.057±0.003 dex kpc$^{-1}$ olarak vermişlerdir. Bu çalışmada aynı uzaklık aralığı için hesaplanan -0.003±0.001 dex kpc$^{-1}$ değeri, Hayden ve diğ.'ne (2014) göre oldukça farklıdır. Bu farkın nedeni çalışmadaki KY yıldızlarının APOGEE gözlemlerine göre daha kısa uzaklık aralığı için hesaplanmasından kaynaklanabilir. Lemasle ve diğ.'nin (2007), $8< R_{gc} <12$ kpc aralığındaki Sefeid değişenlerini kullanarak hesapladıkları -0.061±0.019 dex kpc$^{-1}$'lik radyal metal bolluğu gradyenti, $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc aralığı için bulunan -0.047±0.003 dex kpc$^{-1}$ değeriyle hata mertebeleri içinde uyumlu bulunmuştur. SEGUE gökyüzü taramasından seçilen FG anakol yıldızlarının tayfsal analizini yapan Allende Prieto ve diğ. (2006), $1<|Z|\leq 3$ kpc uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyentini 0 dex vermektedirler. Bu sonuç çalışmamızda aynı aralık için elde edilen değere çok yakındır. Tablo 5.1a'dan görüleceği gibi çalışmamızda elde ettiğimiz radyal metal bolluğu gradyentleri farklı nesnelerden hesaplanan gradyentlerle uyumludur.

### 5.2.2. KY Yıldızlarının $z_{max}$ Dağılımlarına Göre

RAVE DR4 verilerinden seçilen KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametreleri Bovy'nin (2015) *galpy* paketindeki *MWPotential2014* kodunda tanımlanan Galaktik potansiyel bileşenlerine uygun olarak hesaplanmıştır. KY yıldızlarının Galaksi merkezine ortalama uzaklık ($R_m$) parametresine göre radyal metal bolluğu gradyentleri incelenirken bu yıldızlar Galaksi düzleminden dik doğrultuda ulaştıkları en büyük uzaklıklarına göre dört $z_{max}$ aralığına ayrılmıştır. $R_m$ ile [Fe/H] verilerine geçirilen doğrusal fitler $0\leq z_{max} \leq 0.5$, $0.5< z_{max} \leq 1$, $1< z_{max} \leq 2$ ve $z_{max}>2$ kpc uzaklık aralıkları için, sırasıyla, -0.025±0.002, -0.003±0.001, +0.024±0.004 ve +0.030±0.001 dex kpc$^{-1}$

olarak hesaplanmıştır. Dört farklı $z_{max}$ aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri Galaktik düzlemden uzaklaştıkça negatif değerlerden önce sıfır değerine ardından pozitif değerlere ulaşmaktadır. Bu bulgular radyal metal bolluğu gradyentlerinin Galaksimizin ince disk popülasyonun etkin olduğu bölgelerde negatif, kalın disk bileşenin etkin olduğu bölgelerde ise pozitif değerlerde bulunduğunu göstermektedir.

Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentlerinin literatür taraması Tablo 5.1b'de verilmiştir. Bu yöntemle Galaktik disk incelemelerinde kullanılan nesneler F-G anakol yıldızları, KY yıldızları ve açık kümelerdir. Bu yöntemi kullanan en güncel çalışma Plevne ve diğ.'ne (2015) aittir. Araştırmacılar RAVE DR4 kataloğundaki F ve G tayf türünden anakol yıldızlarını seçerek [Fe/H] ve *[M/H]* parametreleri için $R_m$ uzaklıklarına göre radyal metal bolluğu gradyentlerini elde etmişlerdir. Analizlerinden [Fe/H] ve *[M/H]* bollukları için $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ ve $0.5 < z_{max} \leq 0.8$ kpc uzaklık aralıklarında hesaplanan gradyentler, sırasıyla, (-0.083±0.030, -0.063±0.011) ve (-0.048±0.037, -0.028±0.057) dex kpc$^{-1}$ bulunmuştur. Çalışmamızdaki aynı uzaklık aralıkları ve [Fe/H] bollukları için sırasıyla, -0.025±0.002 ve -0.003±0.001 dex kpc$^{-1}$ hesaplanmıştır. İki çalışmanın karşılaştırılmasından bu doktora tez çalışmasında, bulunan sonuçların Plevne ve diğ.'ne (2015) göre, sırasıyla, yaklaşık 3.3 ve 16 kat daha pozitif değerlerde bulunduğu görülmüştür.

RAVE DR3 verilerinden seçilen F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarını kullanan Coşkunoğlu ve diğ. (2012), Bensby ve diğ.'nin (2003; 2005) yüksek olasılıklı ince disk yıldızları (*TD/D≤0.1*) ve yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinden hesaplanan dikey basıklık parametresine göre ($e_v \leq 0.04$) her bir tayf türü için [Fe/H]-$R_m$ düzlemi üzerinde radyal metal bolluğu gradyentlerini ayrı ayrı hesaplamışlardır. Buna göre F ve G tayf türlerindeki anakol yıldızlarının *TD/D≤0.1* popülasyon olasılığı sınırlamasına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.043±0.005 ve -0.033±0.007dex kpc$^{-1}$'dir. Öte yandan dikey yörünge basıklığından ($e_v \leq 0.04$) ince diski en iyi temsil eden örnek seçildiğinde F ve G tayf türlerindeki anakol yıldızları için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri ise -0.051±0.005 ve -0.020±0.006 dex kpc$^{-1}$'dir. Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) *TD/D≤0.1* ve $e_v \leq 0.04$ sınırlamalarıyla seçilen

G tayf türü anakol yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, Doktora tez çalışmasında, $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığındaki KY yıldızlarından hesaplanan değerlerle (-0.025±0.002 dex kpc$^{-1}$) uyumludur. F tayf türündeki anakol yıldızlarından hesaplanan (-0.043±0.005 dex kpc$^{-1}$) metal bolluğu gradyenti ise çalışmamızda hesaplanan değerlerden yaklaşık iki kat büyüktür.

Bilir ve diğ. (2012), RAVE DR3 verilerinden 6781 KY yıldızını seçerek Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) izlediği yöntemden yıldızları popülasyon türlerine ve dikey yörünge basıklarına ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplamışlardır. Bensby ve diğ.'nin (2003; 2005) yüksek olasılıklı ince disk popülasyonu kriterine (*TD/D≤0.1*) göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti -0.041±0.003 dex kpc$^{-1}$ ve dikey basıklık sınırına ($e_v \leq 0.07$) göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti de -0.041±0.007 dex kpc$^{-1}$'tir. Ayrıca bu araştırmacılar dikey basıklık sınırı $e_v \leq 0.07$'den $e_v \leq 0.12$'ye çektiklerinde örnekteki yıldız sayısı üç kat artmış ve radyal metal bolluğu gradyenti -0.025±0.040 dex kpc$^{-1}$ hesaplanmıştır. Aynı yıldız türünü inceleyen bu iki çalışmadaki radyal metal bolluğu gradyentleri karşılaştırıldığında hem yıldız popülasyonlarından hem de dikey basıklık parametresine uygulanan sınırlamadan ($e_v \leq 0.07$) elde edilen (-0.041±0.003 dex kpc$^{-1}$) değer bu çalışmadakinden yaklaşık iki kat daha büyükken, dikey basıklık parametresi sınırının $e_v \leq 0.12$'ye çekilmesiyle, hesaplanan -0.025±0.040 dex kpc$^{-1}$ radyal metal bolluğu gradyenti bu çalışmada $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı için hesaplanan değer ile birebir uyumlu bulunmuştur.

Güneş civarındaki F ve G tayf türündeki anakol *Hipparcos* yıldızlarını *ubvy-*$H_\beta$ fotometrisiyle analiz eden Nordström ve diğ. (2004), yıldızların kinematik ve yaş analizlerini yapmışlardır. Güneş civarındaki yaklaşık 13,500 yıldızı üç yaş grubuna ayırarak, $\tau \leq 1.5$, $4 < \tau < 6$ ve $\tau > 10$ Gyr, sırasıyla, bu gruplar için radyal metal bolluğu gradyentlerini -0.076±0.014, -0.099±0.011 ve +0.028±0.036 dex kpc$^{-1}$ olarak hesaplamışlardır. Çalışmamızdaki radyal metal bolluğu gradyent değerleri dikkate alındığında Nordström ve diğ.'nin (2004) daha büyük değerler hesapladığı görülmektedir. Bu durum çalışmalarda farklı türden nesnelerin kullanılmasından kaynaklanabilir.

Literatürde radyal metal bolluğu gradyenti hesaplamalarında kullanılan bir başka uzaklık göstergesi de rehber yarıçap ($R_g$)'dir. Rehber yarıçapa göre tüm yıldız yörüngelerinin kusursuz çember oldukları varsayılmaktadır. Tablo 5.1c'de RAVE DR4 veri sürümünden yapılan üç radyal metal bolluğu gradyenti çalışması görülmektedir. Plevne ve diğ. (2015) ve Boeche ve diğ. (2013), F ve G tayf türlerindeki anakol yıldızlarını kullanarak $z_{max}$ uzaklık aralıklarına ayırdıkları örnekleri için hemen hemen benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Düşük $z_{max}$ uzaklık aralıklarında dik bir metal bolluğu gradyenti hesaplandığı görülürken, Galaktik düzlemden daha büyük uzaklıklarda gradyentler pozitif olmaktadır. İki çalışmanın sonucu birbiriyle uyumluyken, bu çalışmada hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinden daha negatif değerler bulmuşlardır. Çalışmalarında hem KY yıldızı hem de rehber yarıçap yöntemini kullanan Boeche ve diğ.'nin (2014), 17,950 KY yıldızının dört $|Z|$ uzaklık aralığı için, $0 \leq |Z| \leq 0.4$, $0.4 < |Z| \leq 0.8$, $0.8 < |Z| \leq 1.2$ ve $1.2 < |Z| \leq 2$ kpc, hesapladığı radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.054±0.004, -0.039±0.004, -0.011±0.008 ve +0.047±0.018 dex kpc$^{-1}$'tir. Çalışmamızda dört $z_{max}$ aralığı için hesapladığımız gradyentler -0.025±0.002 ile +0.047±0.001 dex kpc$^{-1}$ aralığında değiştiğinden, Boeche ve diğ.'nin (2014) sonuçlarıyla uyumlu değildir. Bunun birçok nedeni olabilir: i) Boeche ve diğ. (2014) yıldızları bugünkü konumlarına göre $|Z|$ aralıklarına ayırmışken, çalışmamızdaki KY yıldızları $z_{max}$ uzaklıklarına göre ayrılmıştır. ii) Her iki çalışma RAVE DR4'ten seçilen KY yıldız örneklerini kullanmış olsa bile, analizlerde kullanılan yıldız sayıları açısından farklılıklar içermektedir. Çalışmamızda seçilen KY yıldız örneği Boeche ve diğ.'den (2014) üç kat daha büyüktür.

### 5.2.3. KY Yıldızlarının $z_{max}$ ve $e_p$ Dağılımlarına Göre

Tablo 5.1a-c'den görülebileceği gibi literatürdeki radyal metal bolluğu gradyenti çalışmalarında çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun ana nedeni hem diski temsil eden nesnelerden hem de kullanılan nesnelerin uzaklık tayin yönteminden kaynaklanmaktadır. Çalışmamızda literatürde kullanılan yöntemler dışında yeni bir sınırlama daha getirilerek daha güçlü radyal metal bolluğu gradyentlerinin hesaplandığı gösterilmiştir. Buna göre incelenen yıldız örneğinin hem Galaktik düzlemden olan dik uzaklıklarına hem de yörünge düzlemi üzerindeki basıklık değerlerine uygulanan sınırlamalarla literatürde verilen tüm değerlerin sağlanabildiği görülmüştür. Radyal

metal bolluğu gradyenti hesabı için geliştirdiğimiz yeni yöntem Bölüm 4.6.4'te detaylı olarak anlatılmıştır. Önceki bölümlerde bahsi geçen Galaktik düzleme olan dik uzaklık aralıkları ($z_{max}$) bu yeni yöntem için de aynı kabul edilmiş, $0 \leq z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$ ve $z_{max} > 2$ kpc, ve her bir $z_{max}$ aralığı dört farklı yatay basıklık ($e_p$) değerine göre gruplanarak, $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$, her bir grup için [Fe/H]-$R_m$ düzlemi üzerinde radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Doktora tez çalışmasında, yapmış olduğumuz analizlerde en güçlü gradyentin $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığında olduğu görülmüştür. Yörünge basıklıklarının artmasıyla birlikte, yani $e_p \leq 0.05$'ten, $e_p \leq 0.20$'ye doğru ilerledikçe radyal metal bolluğu gradyentlerinin -0.089±0.010 dex kpc$^{-1}$'ten -0.044±0.002 dex kpc$^{-1}$'e azaldığı görülmüştür. $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc uzaklık aralığında ise aynı yörünge basıklığı değişimi için radyal metal bolluğu gradyentleri -0.039±0.011 dex kpc$^{-1}$'ten, -0.031±0.002 dex kpc$^{-1}$'e azalmıştır. Fakat bu değişim hemen hemen sabittir. Son iki uzaklık aralığında ise, $z_{max} > 1$ kpc, yörünge basıklık değişimlerinden sıfır ya da pozitif radyal metal bolluğu gradyentlerinin elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlar küçük $z_{max}$ aralıklarında güçlü, yüksek $z_{max}$ aralıklarında ise zayıf veya pozitif radyal metal bolluğu gradyentlerinin elde edildiğini göstermektedir. Sonuçlar Tablo 5.1a-c'de verilen literatür değeriyle uyumludur. Ayrıca bu bulgular, Chiappini ve diğ.'nin (1997) Galaksinin ikili çökme modeliyle de uyumludur. İnce diskte görülen negatif radyal metal bolluğu gradyenti içten dışı doğru oluşumu desteklerken, kalın disk popülasyonu için hesaplanan pozitif radyal metal bolluğu gradyenti ise birleşme senaryolarının etkin olduğunu göstermektedir.

Bu Doktora tez çalışmasında, radyal metal bolluğu gradyent hesaplamalarında $z_{max}$ ile birlikte $e_p$ sınırlaması kullanılmıştır. KY örneğinden seçilen farklı parametre değerleri için hem küçük hem büyük radyal metal bolluğu değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerler Galaksimizin farklı bileşenleri için elde edilmiş olup literatürdeki Galaksi oluşum modellerinin geçerliliklerinin sınanmasında gözlemsel ipuçları sağlamıştır.

## 5.3. DİKEY METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

### 5.3.1. KY Yıldızlarının Bugünkü Konumlarından

Tez çalışmasındaki KY yıldızları, Bölüm 4.6.1'de anlatıldığı gibi, Galaksi düzleminden dik doğrultuda $0<|Z|<3$ kpc uzaklık aralığında bulunurlar ve yıldızların bugünkü konumlarına göre dikey metal bolluğu gradyenti hesabı bu aralıktaki tüm yıldızlar için yapılarak -0.219±0.003 dex kpc$^{-1}$ değeri bulunmuştur. Son 15 yıl içerisinde Galaksinin farklı bölgelerine uzanan çeşitli nesneler kullanılarak elde edilen dikey metal bolluğu gradyent çalışmalarının sonuçları derlenmiş ve Tablo 5.2a'da listelenmiştir. Çalışmada elde edilen dikey metal bolluğu gradyentleri literatürdeki benzer uzaklık sınırları içerisinde bulunan farklı yıldız türleriyle yapılan çalışmalarla kıyaslandığında genel olarak uyumlu bulunmuştur. Farklı nesnelerle ve bugünkü konumlarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentlerinin elde edildiği çalışmalar ile doktora tez çalışmasında, elde edilen sonuçların kıyası aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

Peng ve diğ.'nin (2012) BATC ve SDSS taramasından seçtikleri orta Galaktik enlemlerdeki yıldız alanlarında ve $0<Z<2$ kpc uzaklık aralığında bulunan anakol yıldızlarından hesapladıkları dikey metal bolluğu değeri, -0.210±0.003 dex kpc$^{-1}$, olup bu değer çalışmamızdakine çok yakındır. Chen ve diğ. (2011), SDSS taramasının DR8 verilerinden seçilen, $1<|Z|<3$ kpc aralığındaki kırmızı yatay kol yıldızlarını kullanarak dikey metal bolluğu gradyentini -0.220±0.020 dex kpc$^{-1}$ hesaplamışlardır. Ak ve diğ.'nin (2007b) SDSS verilerinden seçilen kuzey ve güney Galaktik yarı kürelerde bulunan G-tayf türündeki anakol yıldızlarını kullanarak, $Z<3$ kpc dik uzaklık aralığı için hesapladıkları dikey metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.160±0.020 dex kpc$^{-1}$ ve -0.220±0.020 dex kpc$^{-1}$'tir. Özellikle güney Galaktik yarıküredeki yıldızlardan hesaplanan dikey metal bolluğu gradyent değeri, çalışmada hesaplanan değerle uyumlu olmakla beraber kuzey Galaktik yarı küre için hesaplanan gradyent değeri hata mertebeleri içerisinde çalışmamızdakiyle uyumludur. Bartasiute ve diğ.'nin (2003) $Z<1.3$ kpc uzaklık aralığındaki F tayf türündeki anakol yıldızlarıyla yaptığı çalışmada kiloparsek başına -0.230±0.040 dex'lik bir dikey metal bolluğu gradyenti hesaplamıştır. Doktora tez çalışmasındaki KY yıldızlarının bugünkü konumlarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri, literatürde benzer uzaklık aralığında farklı tarama

programlarındaki farklı nesneler kullanılarak yapılan çalışmaların Tablo 5.2a'da verilen sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur.

### 5.3.2. KY Yıldızlarının $z_{max}$ Dağılımlarına Göre

KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerinin elde edilmesiyle hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentlerinin hesabı yıldızların %99'unun $z_{max} \leq 3$ kpc içerisinde yer aldığı uzaklık aralığı için hesaplanmış ve dikey metal bolluğu gradyenti -0.157±0.002 dex kpc$^{-1}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç yıldızların bugünkü konumlarından hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentinden (-0.219±0.003 dex kpc$^{-1}$) mutlak olarak daha küçüktür. Bunun nedeni dikey metal bolluğu gradyent hesaplarında incelenen $|Z|$ ve $z_{max}$ aralıklarındaki yıldız uzaklıklarının homojen bir dağılım göstermemesidir. Şekil 4.16 ve 4.18'den görüleceği gibi yıldızların bugünkü konumları dikkate alındığında yıldızların büyük kısmı $|Z| \leq 1.5$ kpc uzaklık aralığında yer alırken, Galaktik yörünge parametrelerinden hesaplanan $z_{max}$ aralıklarında KY yıldızlarının 3 kpc'e kadar homojen dağıldıkları görülmüştür. Bu da iki farklı yöntemle elde edilen sonuçların farklı bulunmasının nedenini açıklamaktadır. Çalışmamızda elde edilen sonuçların kıyaslandığı, derlenen dikey metal bolluğu gradyenti çalışmaları Tablo 5.2b'de listelenmiştir. Farklı nesnelerle ve Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyent çalışmaları, çalışmamızda elde edilen sonuçla kıyaslanarak aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan en güncel dikey metal bolluğu gradyenti çalışması Plevne ve diğ.'ne (2015) aittir. RAVE DR4'teki F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarını inceleyen araştırmacılar $z_{max} \leq 825$ pc ve $z_{max} \leq 1.5$ kpc uzaklıklarındaki dikey metal bolluğu gradyentlerini, sırasıyla, -0.176±0.039 ve -0.119±0.036 dex kpc$^{-1}$ hesaplamışlardır. Bu değerler çalışmamızdaki sonuçlardan az da olsa farklıdır. Bunun nedeni iki çalışmada farklı tür nesnelerin kullanılmış olmasıdır. RAVE DR4 örneği görünen parlaklık bakımından sınırlı bir örnek olduğundan ($9 < I_D <$ 12 kadir) ve F-G tayf türündeki anakol yıldızları da KY yıldızlarına göre daha büyük mutlak parlaklıklara sahip olduğundan, bu yıldızlar Güneş komşuluğuna daha yakın bulunurlar. Fakat bu durum KY yıldızları için geçerli değildir. $z_{max}$ uzanımları farklı

olan bu nesneler için hesaplanacak dikey metal bolluğu gradyentleri farklılıklar içerebilir.

RAVE DR3 verilerindeki 6,781 KY yıldızını inceleyen Bilir ve diğ. (2012a), yıldızların kinematik ve dikey Galaktik yörünge basıklığına sınır getirerek, dikey metal bolluğu gradyentlerini hesaplamışlardır (Tablo 5.2b). Bensby ve diğ.'nin (2003; 2005) kinematik ayrımını (*TD/D*) dikkate alan araştırmacılar, yüksek olasılıklı ince disk yıldızlarını ($TD/D \leq 0.1$) ve ayrıca dikey basıklık oranına ($e_v<0.07$) sınırlama getirerek dikey metal bolluğu gradyentlerini, sırasıyla, -0.109±0.008 ve -0.260±0.031 dex kpc$^{-1}$ olarak hesaplamışlardır. Bilir ve diğ.'nin (2012a) elde ettiği bu değerler çalışmamızda bulunan değere daha yakındır. Fakat Bilir ve diğ.'nin (2012a) kinematik kriterlere ayırdığı örnek $z_{max}$=3 kpc'e kadar ulaşmasına karşın, örneğin büyük kısmı 1.5 kpc'ten daha küçük uzaklıklarda bulunmaktadır. Doktora tez çalışmasında, ise KY örneği, Bilir ve diğ.'ne (2012a) göre üç kat daha fazla yıldız içermekte ve dikey metal bolluğu gradyent hesabında dikkate alınan $z_{max}$ aralıklarına hemen hemen eşit sayıda yıldız düşmektedir; bu da elde edilen istatistiksel sonuçların duyarlılığını arttırmaktadır. *Hipparcos* uydu verilerini kullanan Soubiran ve diğ. (2008), Güneş civarında 1 kpc'lik uzay hacmi içinde bulunan KY yıldızlarını belirleyerek dikey metal bolluğu gradyentini -0.300±0.030 dex kpc$^{-1}$ hesaplamışlardır. Ayrıca bu araştırmacılar örneklerindeki KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerini tayin ederek $z_{max} \leq 1.2$ kpc aralığındaki yıldızlardan dikey metal bolluğu gradyentini -0.310±0.060 dex kpc$^{-1}$ bulmuşlardır. Bu gradyent değerlerinin çalışmamızda elde edilen sonuçla karşılaştırıldığında daha dik olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Soubiran ve diğ.'nin (2008) kullandığı KY yıldızlarının çoğunlukla ince disk bileşenine ait olmasındandır. Örneğimizdeki KY yıldızları ise $z_{max} \leq 3$ kpc'e kadar uzandığından iki farklı popülasyonun etkisini içermektedir. Bu da hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentinin daha sığ çıkmasına neden olmaktadır. Çalışmamızda elde edilen dikey metal bolluğu gradyenti Galaksi diskinin bütünü için verilmiştir.

### 5.3.3. KY Yıldızlarının $z_{max}$ ve $e_p$ Dağılımlarına Göre

Bu Doktora tez çalışmasında, metal bolluğu gradyentinin hesaplanması için literatüre yeni bir yöntem önerilmiştir. Galaktik diskteki metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasında yıldızların Galaktik düzlemden olan dik uzaklıklarıyla, Galaktik

düzlem üzerindeki yörünge basıklığının dikkate alınması durumunda duyarlı sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Yöntemin KY yıldızları için Galaksi düzlemine dik doğrultuda uygulanması Bölüm 4.6.4'te verilmiş olup, sonuçlar Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Galaktik düzlemden 0 ile 3 kpc uzaklık aralığındaki KY yıldızları kullanılarak dikey doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$ aralıkları için sırasıyla, $d[Fe/H]/dz_{max}$=-0.175±0.007, -0.156±0.006, -0.153±0.004, -0.144±0.002 dex kpc$^{-1}$ hesaplanmıştır. Yatay yörünge basıklığına getirilen ilk sınırlama ($e_p \leq 0.05$) ile son sınırlama ($e_p \leq 0.20$) yıldız sayısı bakımından dikkate alındığında yaklaşık 10 katlık bir artış olmasına rağmen, hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri birbirine çok yakındır. Bu sonuçlar Galaksi diskine ait dikey metal bolluğu gradyentinin -0.175±0.007 ile -0.144±0.002 dex kpc$^{-1}$ aralığında değiştiğini göstermektedir ki bu da literatürde şimdiye kadar Güneş civarındaki KY yıldızlarından yapılmış en büyük örnekten elde edilmiştir. Bu sonuçlar da Bölüm 5.3.2'deki dikey metal bolluğu gradyentinin yalnız $z_{max}$'a bağlı bir şekilde çözülmesinden bulunan -0.157±0.002 dex kpc$^{-1}$ değeriyle uyumludur.

## 5.4. KY YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU, KİNEMATİK YAŞ VE YÖRÜNGE PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

KY yıldızlarının kinematik özellikleriyle metal bollukları arasındaki ilişkiler Bölüm 4.7'de detaylıca incelenmiştir. Analizlerin ilk aşamasında 47,406 KY yıldızının uzay hızı bileşenlerine ait ortalama değerler ile bu bileşenlerin hız dispersiyonları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

Çalışmada KY yıldızlarının hesaplanan hız dispersiyonları, trigonometrik paralaksları iyi bilinen F ve G tayf türündeki 714 anakol yıldızının yüksek ayırma güçlü tayf verilerini analiz eden Bensby ve diğ.'nin (2014) çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar yıldızların kinematik verileriyle farklı element bolluklarını birlikte analiz ederek Güneş civarındaki yıldızların popülasyon türlerini belirlemişlerdir. Bensby ve diğ.'nin (2014) ince disk (TN), kalın disk (TK) ve halo (HL) popülasyonları için hesaplanan uzay hız dispersiyonları, sırasıyla, $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W)_{TN}$=(35, 20, 16), $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W)_{TK}$=(67, 38, 35) ve $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W)_{HL}$=(160, 90, 90) km s$^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızdaki tüm KY yıldızları için hesaplanan yaklaşık uzay hız dispersiyonları ise

$(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W)_{KY}$=(45, 36, 28) km $s^{-1}$'dir. İki çalışmada elde edilen sonuçlar kıyaslandığında çalışmamızdaki sonuçların Bensby ve diğ.'nin (2014) ince disk ve kalın disk popülasyonları için vermiş olduğu uzay hız dispersiyonlarının ara değerlerinde bulunduğu görülmüştür. KY yıldızlarından elde edilen bu sonuçlar şaşırtıcı değildir çünkü çalışmamızda bir popülasyon ayırımına gidilmemiştir; fakat örneğimizdeki KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerinden biri olan $z_{max}$ dikkate alındığında yıldızların büyük kısmının Galaktik düzlemden 0 ile 3 kpc dik uzaklık aralığında bulunduğu görülmektedir ki bu da yıldızların ince disk ve kalın disk popülasyonlarına ait olduklarını göstermektedir.

Örneğimizdeki KY yıldızlarının farklı alt-örneklere ayrılarak hız dispersiyonlarının hesaplanmasıyla, Wielen'in (1977) kinematik yaş tayini yönteminin uygulanması mümkün olmuştur. Galaktik düzlemden 100 pc'lik uzaklık aralıklarıyla alt-örneklere ayrılan KY yıldızlarının uzay hızı dispersiyonları hesaplanarak Bölüm 3.7'de verilen (3.36) ve (3.37) eşitlikleriyle Wielen'in (1977) kinematik yaş hesapları yapılmıştır. KY yıldızlarının Galaktik düzlemden dik uzaklıkları ile bu uzaklıklar için hesaplanan uzay hız dispersiyonlarının değişimi Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Şekle göre her üç uzay hız bileşenine ait dispersiyonlar ile toplam uzay hız dispersiyonu 3 kpc uzaklığa kadar hemen hemen düzgün artmaktadır. Bu bulgu, kalın disk bileşeninin ince diskten ayrık bir popülasyon olmadığını gösteren önemli bir delil olup literatürdeki diğer çalışmalar tarafından da desteklemektedir (Ivezic ve diğ. 2008 ve Bovy ve diğ. 2012a-c).

Ivezic ve diğ. (2008), SDSS fotometrisini kullanarak yaklaşık 60,000 F ve G tayf türünden anakol yıldızının metal bolluğunu ve uzaklıklarını fotometrik yöntemler kullanarak hesaplamıştır. Ivezic ve diğ.'nin (2008) analizleri sonucunda 0.5 ile birkaç kpc aralığındaki yıldızların ortalama metal bolluklarının -0.6 ile -0.8 dex aralıklarında düzgün bir şekilde değiştiği görülmüş ve disk popülasyonları arasında bir ayrım bulunmadığı ortaya konmuştur. Bovy ve diğ. (2012a), SEGUE tayf verilerini analiz ederek Galaksinin disk kalınlığının yaş ile değiştiğini vurgulamış ve yıldızların popülasyon sınıflamasında [$\alpha$/Fe] bolluklarını kullanarak, ince disk ile kalın disk popülasyonunun yükseklik ölçeklerinin sürekli olarak arttığını göstermişlerdir. Bunun sonucu olarak da kalın diskin ayrık bir bileşen olmadığını vurgulamışlardır. Bu

çalışmada, RAVE DR4 verilerinden KY yıldızlarının uzay hız dispersiyonlarının $z_{max}$ ile düzgün değişimi, SDSS ve SEGUE verilerinden elde edilen sonuçlarla uyumlu bulunmuştur.

Doktora tez çalışmasında, KY yıldızlarının Galaktik düzlemden dik uzaklık aralıkları ile bu uzaklık aralıkları için hesaplanan kinematik yaşların değişimleri Şekil 4.23'te yıldızların sayı yoğunluğuna göre gösterilmiştir. Örneğimizin büyük kısmı ($z_{max}$=2.2 kpc) için hesaplanan ortalama kinematik yaşlar, Galaksimizin yaşıyla uyum içerisindedir (Bennett ve diğ. 2013). Galaksimizin ince disk popülasyonu için verilen en büyük yaş 10 Gyr'dır (Cox, 2000). Bu bulgu, KY yıldızları için $z_{max}$=1.2 kpc uzaklığında sağlanmaktadır ki bu da ince diskin etkin olduğu uzaklık aralığı içinde yer alır.

Yıldızların Galaktik düzleme dik uzaklıklarının yanı sıra yatay düzlemdeki yörünge basıklığının da dikkate alınarak metal bolluğu gradyenti hesaplamalarının yapılması gerektiği, *ilk kez,* bu doktora tez çalışmayla gösterilmiştir. Bu tespitin geçerliliğinin sınanmasında yatay yörünge basıklığının yıldızların metal bollukları ve kinematik yaşlarına göre değişimleri araştırılmış ve bu parametrenin metal bolluğu gradyentlerinde etkisi olduğu ortaya konmuştur. Çalışmamızda yıldızların yatay yörünge basıklığı ile metal bolluğu ve kinematik yaş değişimleri, seçilen dört $z_{max}$ aralığı için Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Örneğimizdeki KY yıldızlarının yatay düzlemdeki yörünge basıklıklarının $e_p$=0.3 değerine kadar hemen hemen her $z_{max}$ aralığı için sabit bir metal bolluğunda bulunduğu ve bu noktadan sonra artan $e_p$ değerleriyle belirli eğilimler doğrultusunda metalce fakirleştiği görülmüştür (bkz. Şekil 4.25 alt panel). Şekil 4.25'in üst panelinde ise artan $e_p$ değerleriyle hesaplanan kinematik yaşlar her bir $z_{max}$ uzaklık aralığıyla artmaktadır. Artış değerleri yörünge basıklığı $e_p$=0.4'e kadar Galaksinin yaşıyla uyumludur. Buradan yörünge basıklık değerleri büyüdükçe her bir $z_{max}$ uzaklık aralığındaki ortalama metal bolluğu değerlerinin sabit kaldığı fakat kinematik yaş ile de arttığı görülmüştür.

## 5.5. SONUÇLARIN KEMO-DİNAMİK GALAKSİ MODELLERİYLE KARŞILAŞTIRMASI

Elli yıldan uzun bir süredir Samanyolu'nun oluşumu ve evriminin gözlemsel ve teorik yöntemlerle açıklanması Galaksi astrofiziğinin en sıcak konularından biridir. Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evrimi hakkında bilgilerimizin artması bugün Evrende farklı kırmızıya kayma gösteren ve farklı evrim aşamalarındaki galaksilerin oluşumlarının anlaşılmasına zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle, öncelikle kendi Galaksimizin oluşumunun ve evriminin modern gözlem teknikleriyle ortaya konması ve bu bulgulardan kimyasal ve dinamik süreçleri içeren galaksi oluşum modellerinin tasarlanması gerekmektedir. Bu modeller, ELS'nin (1962) Güneş civarındaki sınırlı bir örnekten itibaren yıldızların yörünge basıklığı, *W* uzay hız bileşeni ve yörüngesel açısal momentumlarını dikkate alarak geliştirdiği ilk model ile başlamıştır. Bu model, halo ile disk arasında bir dikey metal bolluğu gradyenti olmasını gerektirir. SZ (1978) ise Galaksimizin halosunda yer alan küresel kümelerin farklı metal bolluklarında bulunmasını dikkate alarak halonun oluşumu için yekpare çöküşü takiben, Galaksimizin cüce galaksilerle birleşmesiyle Galaktik halonun farklı kimyalarda bulunan nesnelerden meydana geldiğini iddia eder. Bu modele göre de Galaksinin halosunda bir dikey metal bolluğu gradyentinin olmaması gerekir. Modern gözlem teknolojilerinin geliştirilmesiyle birlikte Güneş civarında daha geniş bir uzay hacminde bulunan nesnelerin gözlenmesi, yerel grup içerisindeki cüce galaksilerle etkileşimlerin ortaya çıkması Galaksi oluşumunun ve evriminin beklenenden çok farklı olduğunu göstermiştir. Özellikle, SMC ve LMC'den Galaksimize akan madde köprülerinin keşfiyle Samanyolu evriminin izole olmadığı gösterilmiştir (Putman ve diğ. 1998; Lehner, 2001; Fox ve diğ. 2014). Chiappini ve diğ. (1997), Galaksimizin içerisindeki yüksek hızlı bulutların varlığından yola çıkarak cüce galaksilerden gelen maddelerle birlikte ince diskin boyutlarının zamanla büyüdüğünü gösteren ikili çökme modelini önermişlerdir. Bu modele göre ELS'nin (1962) yekpare çöküş senaryosu kabul edilerek hızlı bir çökmeyle Galaksinin halo ve şişkin bölge bileşenleri oluşmuş ve daha sonra meydana gelen yavaş gelişen ikinci bir çökmeyle Galaksi diski oluşmuştur. Disk oluşumundan sonraki süreçte, Galaksi diski birleşmeler yoluyla büyümeye devam etmiştir. Galaksi merkezinde yıldızlararası madde daha yoğun ve dinamik etkilere de daha açık olduğundan, Galaksi diskinin sınırına doğru uzanan bölgelere göre yıldız

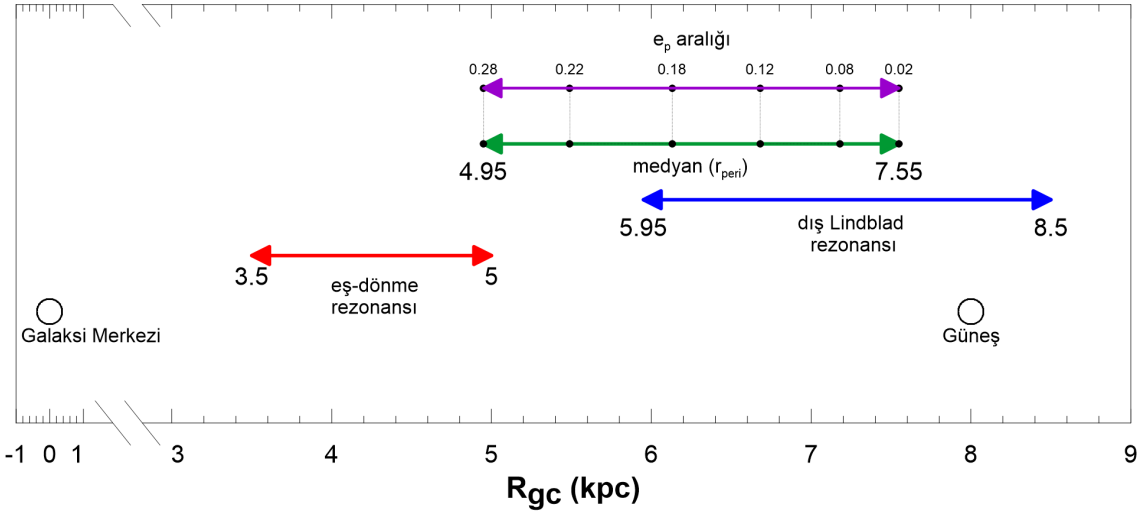
oluşum oranı açısından daha aktiftir. Bu süreç, Galaksi merkezine yakın bölgelerdeki yıldızların metalce zengin olmasına neden olurken, Galaksi merkezinden daha uzakta maddece seyrek olan bölgelerindeki yıldızlar ise metalce fakir kalabilmektedir. Bunun sonucunda da Galaksi diski boyunca bir radyal metal bolluğu gradyentinin oluşması beklenir.

Bu doktora tez çalışmasında, ELS'nin (1962) iddia ettiği gibi Galaksimizin yekpare çökmesiyle dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin olduğu gösterilmiştir. Bu durum, örneğimizdeki KY yıldızlarının hem Galaksi düzlemine dik doğrultuda bugünkü konumlarından hem de yıldızların Galaksi düzlemine dik doğrultuda ulaştıkları en büyük uzaklıklardan ve yatay basıklık parametresine getirilen sınırlamalarla ayrılan alt-örneklerden, dikey metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasıyla ispatlanmıştır. Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri, Galaksimizin diski için yaklaşık -0.157±0.002 dex $kpc^{-1}$ sonucunu vermektedir. Benzer sonuçlar literatürde dikey metal bolluğu gradyentlerinin, yıldızların bugünkü konumları ve $z_{max}$ değerlerine göre F-G tayf türü anakol yıldızları, KY yıldızları ve açık kümelerden elde edilmiştir (Plevne ve diğ. 2015; Xiang ve diğ. 2015; Huang ve diğ. 2015; Mikolaitis ve diğ. 2015; Schlesinger ve diğ. 2014; Bilir ve diğ. 2012a).

Çalışmamızda radyal metal bolluğu gradyentinin en dik olduğu koşullar, KY yıldızlarının $z_{max}$ ve $e_p$ parametrelerine getirilen sınırlamalar ile elde edilmiştir. Galaksi oluşum modellerinin geçerliliklerinin sınanmasında Şekil 4.25'in önemli bir yeri vardır. Şekilden de görüleceği gibi yörünge basıklık parametresinin $e_p$=0.3 değerinin ötesinde her bir $z_{max}$ aralığı için metal bolluğu değerinde belirgin bir azalmanın olduğunu göstermektedir ki bu da Chiappini ve diğ.'nin (1997) ikili çökme modelinin önerdiği gibi Galaksi diskinin dışına doğru bir metal bolluğu gradyentinin olduğuna işaret eder. Bununla birlikte, yörünge basıklığının $e_p \leq 0.3$ olduğu durumlarda radyal metal bolluğu gradyentlerinin sığ değerlerde bulunduğu bu çalışmada gösterilmiştir. Bunun nedenlerinden biri Galaksimizin merkezi bölgesinde yer aldığı düşünülen uzun çubuğun Güneş civarına uygulamış olduğu dinamik etkidir. Dehnen'e (2000) göre Galaksimizin uzun bir çubuğu bulunmaktadır. Galaktik çubuk, saat yönünde diğer yıldızlarla birlikte aynı doğrultuda dönmektedir. Yıldızların bu hareketine *eş-dönme rezonansı (ER)* denir. Bununla birlikte, Galaksideki çubuğun iki farklı bölgeye de rezonans etkisi

bulunmaktadır. Bunlar *iç (İLR)* ve *dış Lindblad rezonansı (DLR)* olarak bilinirler. Yıldızların azimutal ve radyal doğrultulardaki açısal frekanslarının toplamı ile dış Lindblad rezonansı oluşurken, bu niceliklerin farkları ise iç Lindblad rezonansının meydana gelmesine neden olur. Genel olarak bir rezonans yörüngesine yerleşen yıldız her zaman belli bir doğrultuda kuvvet etkimesine maruz kalarak, başka yörüngeler üzerinde dolanmaya zorlanır. Düz bir Galaksi dönme eğrisi üzerinde dış Lindblad rezonansı ile eş-dönme rezonansı arasında $R_{DLR} \sim 1.7 R_{ER}$ şeklinde bir ilişki vardır. Eş dönme rezonansı ($R_{ER}$) Galaksi mekezinden 3 ile 5 kpc uzaklık aralığında etkindir. Bu da dış Lindblad rezonansının Galaksi merkezinden 6 ile 9 kpc uzaklık aralığında etkili olacağını gösterir (Dehnen, 2000). Galaksi çubuğunun dinamik etkisi, Galaksi diskinin iç yörüngelerinde doğan yıldızların nükleer evrimleri boyunca disk içerisinde radyal doğrultuda yörüngelerinin değişimine neden olur.

Bu doktora tez çalışmasında, $0 \leq e_p \leq 0.3$ aralığındaki KY yıldızlarının bir kısmının radyal göç yaptığını iddia etmekteyiz. Bu iddiamızı destekleyebilmek için Şekil 5.2'de Galaksimizin farklı bölgelerinde oluşan rezonans bölgeleri ve $0 \leq e_p \leq 0.3$ aralığındaki KY yıldızlarının Galaksi merkezine göre en yakın medyan uzaklıklarının yatay basıklıkla değişimleri gösterilmiştir. Şekilde kırmızı renkli doğru eş-dönme rezonansı, mavi renkli doğru dış Lindblad rezonansının etkinlik bölgelerini temsil etmektedir. Yeşil renkli doğru ise KY yıldızlarının Galaksi merkezine göre yörüngelerinde bulunabildikleri en yakın konumların medyan uzaklıklarını ve mor renkli doğru ise her bir medyan değere karşılık gelen $e_p$ değerlerinin ortalamalarına karşılık gelmektedir. Şekilden de görüleceği gibi yörünge basıklıkları $e_p = 0.2$'ye kadar olan yıldızların Galaksimizin dış Lindblad rezonansından etkilendiği, daha basık yörüngelerin ise eş-dönme rezonansının baskın olduğu bölgeye kadar uzandığı görülmektedir. Bu durumda yatay yörünge basıklığı $e_p = 0.3$'e kadar uzanan yıldızların dış Lindblad rezonansına maruz kalıp doğum yerlerini terk ederek Güneş civarına sürüklendiği görülmektedir. Sonuç olarak, Güneş civarında seçilen yıldız örneklerinden, duyarlı radyal metal bolluğu gradyentinin hesaplanabilmesi için radyal göçe maruz kalan yıldızların tespit edilip örnekten çıkartılması gerekmektedir. Radyal göçe maruz kalan yıldızların tespiti ise çok zordur. Bunun için $z_{max}$ ve $e_p$ parametrelerine getirilen sınırlamalar ile çember yörüngelerde hareket eden yıldızların seçilmesiyle Galaktik diskte beklenen radyal metal bolluğu gradyentleri elde edilebilir.




**Şekil 5.2:** Güneş ile Galaksi merkezi arasında gerçekleşen rezonans bölgelerinin Galaksi merkezine göre etki ettikleri radyal uzanımlar

Sonuç olarak, bu doktora tez çalışmasında Galaksi diskinde bulunan 47,406 KY yıldızının RAVE DR4 taramasından alınan radyal hız, özhareket, model atmosfer parametreleri ile bu yıldızların sabit bir mutlak parlaklık değeri için hesaplanan uzaklıkları birleştirildiğinde yıldızların uzay hızı bileşenleri, hız dispersiyonları ve kinematik yaşları hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler ile Galaksi diskinde metal bolluğu gradyentleri araştırılarak, Galaksi diskinin oluşumu ve kemo-dinamik yapısı hakkında şu ipuçları ortaya konmuştur:

(i) Metal bolluğu gradyentleri söz konusu olduğunda, literatürde en yaygın kullanılan yöntem olan, yıldızların Galaksi merkezine göre bugünkü konumlarından hesaplanan gradyentlerin, Güneş civarında incelenen uzay hacmi içerisinde farklı popülasyonlara ait olup da bu bölgeden geçiş yapan cisimlerden çok etkilendikleri görülmüştür. Dolayısıyla yıldızların Galaksi düzleminden bugünkü dik uzaklıklarına ($Z$) uygulanan sınırlamalar, bu tür gradyent hesaplarında yanıltıcı olmaktadır. Diğer bir yöntemde ise KY yıldızlarının Galaksi merkezi etrafında 3 Gyr içerisinde tamamladıkları yörünge dinamiği parametreleri dikkate alınarak metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Yörünge dinamiğine göre yıldızların Galaksi diski üzerinde ulaşabildikleri en büyük ve en küçük konumsal uzanımları bilindiğinden, metal bolluğu gradyenti hesaplarında yıldız popülasyonları problemi daha gerçekçi bir bakış açısından ele alınmış olur. Böylece yıldızların Galaksi düzleminden dik doğrultuda ulaşabilecekleri en büyük uzaklıklara göre çeşitli Galaktik popülasyonların baskın

olduğu ya da geçiş yaptığı bilinen uzaklık aralıklarına bölünerek oluşturulan alt-örneklerden hesaplanan metal bolluğu gradyentleri, Galaksi diskinin oluşumu hakkında şu sonuçları vermiştir: *Radyal metal bolluğu gradyentlerine bakıldığında*, ince diskin baskın olduğu $z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığında rölatif olarak zayıf bir metal bolluğu gradyenti bulunmuştur. Bu sonuç, Chiappini, Matteucci ve Graton'un (1997) önerdiği ikili çökme modelinin bir parçası olan içten dışa doğru oluşum teorisini, yani Galaksi diskinin ilk çöküşle meydana gelen şişkin bölgedeki yıldızların nükleer evriminin ve ikinci çökme döneminde dışta bulunan uydu galaksilerle birleşme ve gaz çalma olayları sonucunda bu gazın yeni bir yıldız oluşumu patlamasını tetikleyip çok uzun bir zamanda (~8 milyar yıl) çökerek Galaksi diskini oluşturduğu teoriyi, desteklemektedir. *Dikey metal bolluğu gradyenti sonuçlarına bakıldığında* ise Galaksi düzlemine dik doğrultuda içten dışa doğru Galaksimizde belirgin bir gradyent hesaplanmıştır ki bu sonuç da Galaksimizin 3 kpc'lik bu kısmının bir bütün olarak çöktüğünü doğrular niteliktedir.

(ii) Tez çalışmasında dikkat edilen önemli bir unsur da Galaksinin etkileşim halinde bulunduğudur. Gerek yıldızların nükleer evrimleri, gerek Galaksinin kendi iç etkileri (gaz akıntıları, yıldız akıntıları, dev molekül bulutları, çubuk, spiral kollar vb.) ve gerekse Galaksi dışı etkiler (uydu galaksi birleşmeleri, gaz akıntıları, vb.), Samanyolu'nda bulunan yıldız ve diğer nesneleri kimyasal ve kinematik bakımdan zamanla değiştirmektedir. Galaksimizin farklı popülasyonlarındaki yıldızların genel özellikleri düşünüldüğünde, özellikle disk yıldızlarının Galaksi merkezi etrafında çember yörüngelerde dolandığı ve Galaksi düzleminden dik doğrultuda uzaklaştıkça yıldız yörüngelerinin basıklaştığı bulunmuştur. Ayrıca, yıldızlar yaşlandıkça çevrelerindeki ortamla etkileşimlerinin bir sonucu olarak hız dispersiyonlarının artabileceği ve yine bu etkilerle özelikle radyal doğrultularda yıldızların göç edebilecekleri tespit edilmiştir. Güneş civarında, geniş bir uzay hacminde yapılan bu çalışmada, hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentlerinin bu etkilere maruz kalıp kalmadığını incelemek üzere yıldız yörüngelerinin yatay ve dikey doğrultulardaki basıklık diyagramlarına bakıldığında, yıldızların Galaksi düzleminden uzaklaştıkça dikey basıklık parametresinde beklenen bir davranış göstererek basıklaştığı fakat yatay basıklık parametresinin ise yalnızca ortalama değer olarak basıklaştığı ve her dik uzaklık aralığında tüm basıklık değerlerinde KY yıldızlarının bulunabildiği

görülmüştür. Bu davranıştan yola çıkarak, KY yıldızlarının yatay basıklık parametresi $e_p$'ye sınırlamalar getirerek çember yörüngedeki ($e_p$<0.05) yıldızları seçecek şekilde radyal metal bolluğu gradyentleri yeniden hesaplanmıştır. Buradan $z_{max}\leq$ 0.5 kpc uzaklık aralığında kalan iki KY alt-örneğindeki yıldızların yörüngeleri çember iken en dik metal bolluğu gradyentlerinin hesaplandığı ve gittikçe artan basıklıktaki yıldızlar eklendikçe gradyentlerin düzleşmeye başladığı görülmüştür. Yani, yıldızların yörünge basıklaşmasının sebepleri bilinmese de Güneş civarındaki metal bolluğu gradyentleri bu yıldızlarca kirletilmektedir. Dolayısıyla literatürde Güneş civarı için yıldız yörünge dinamiğini hesaba katan metal bolluğu çalışmalarını yapan araştırmacıların, $e_p$ parametresini hesaplamalarında dikkate almaları gerektiği sonucuna varılmış ve bu tespit, "Local Stellar Kinematics from RAVE Data - VII. Metallicity Gradients from Red Clump Stars" başlıklı makale ile SCI kapsamındaki *Publications of the Astronomical Society of Australia* adlı dergide yayımlanarak, literatüre kazandırılmıştır.

(iii) Yıldızların yatay yörünge basıklıklarına göre metal bollukları incelendiğinde (Şekil 4.25), her bir $z_{max}$ aralığında, $e_p$=0.3 değerine kadar farklı ve sabit bir metal bolluğu değerinde bulunduğu ve bu $e_p$=0.3 değerinden sonra ise her bir aralıktaki KY yıldızlarının benzer eğilimlerle metalce fakirleştikleri tespit edilmiştir. Artan $e_p$ değeriyle yıldızların Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarının da arttığı görülmüş ve bu durum yine Chiappini, Matteucci ve Graton'un (1997) önerdiği ikili çökme modelinin içten dışa oluşum senaryosunu desteklemektedir.

(iv) $e_p$=0.3 değerinden daha basık yörüngelerdeki yıldızların Galaksi merkezine en yakın konum ($r_{peri}$) değerlerine bakıldığında, yıldızların yörüngeleri 0.02'den 0.28'e doğru basıklaştıkça, medyan $r_{peri}$ uzaklıkları 7.55'ten 4.95 kpc'e değişmiştir. Şekil 5.2'den görüleceği gibi Galaktik çubuğun Güneş ile Galaksi merkezi arasındaki çeşitli bölgeler üzerinde rezonans yani bir dış kuvvet uyguladığı bölgeler vardır. Şekil incelediğinde özellikle yıldız yörüngeleri basıklaştıkça, Galaksinin daha iç kısımlarına uzanabilen bu yıldızlar eş-dönme rezonansından etkilenmiş ve Güneş civarına göç etmiş olabilirler.

# 6. KAYNAKLAR


Abazaijan, K., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A. ve diğ., 2004, The Second Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *Astronomical Journal*, 128, 502-512.

Abedigamba, O. P., Balona, L. A., Medupe, R., 2016, Distance Moduli of Open Cluster NGC 6819 from Red Giant Clump Stars, *New Astronomy*, 46, 90-93.

Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., Cabrera-Lavers, A., 2007a, The Metallicity Distributions in High-latitudes with SDSS, *New Astronomy*, 12, 605-612.

Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., 2007b, 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, 169-177.

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.

Alves, D. R., 2000, K-Band Calibration of the Red Clump Luminosity, *The Astrophysical Journal*, 539, 732-741.

Anders, F., Chiappini, C., Santiago, B. X. ve diğ., 2014, Chemodynamics of the Milky Way. I. The First Year of APOGEE Data, *Astronomy and Astrophysics*, 564, id.A115, 24.

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, Yu. V., 2002, Using Cepheids to Determine the Galactic Abundance Gradient. III. First Results for the Outer Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 392, 491-499.

Anguiano, B., Zucker, D. B., Scholz, R.-D. ve diğ., 2015, Identification of Globular Cluster Stars in RAVE Data - I. Application to Stellar Parameter Calibration, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 451, 1229-1246.

Anguiano, B., De Silva, G. M., Freeman, K. ve diğ., 2016, Identification of Globular Cluster Stars in RAVE Data - II. Extended Tidal Debris around NGC 3201, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457, 2078-2085.

Antoja, T., Helmi, A., Bienayme, O. ve diğ., 2012, Kinematic Groups Beyond the Solar Neighbourhood with RAVE, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 426, L1-L5.

Antoja, T., Helmi, A., Dehnen, W. ve diğ., 2014, Constraints on the Galactic Bar from the Hercules Stream as Traced with RAVE Across the Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 563, id.A60, 17.

Antoja, T., Monari, G., Helmi, A. ve diğ., 2015, The Imprints of the Galactic Bar on the Thick Disk with RAVE, *The Astrophysical Journal Letters*, 800, article id. L32, 7.

Baade, W., 1946, A Search for the Nucleus of Our Galaxy, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 58, 249–252.

Baade, W., 1957, Galaxies and Their Stellar Population, *The Observatory*, 165-171.

Babusiaux, C., 2012, Stellar Populations in the Galactic Bulge, 2012, SF2A-2012: *Proceedings of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics*, *2012*, 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.

Balick, B., Brown, R. L., 1974, Intense Sub-arcsecond Structure in the Galactic Center, *Astrophysical Journal*, 194, 265.

Bartasiute, S., 1995, The Transition from Disk to Halo As Seen from the Correlations between Kinematics and Metallicity, *Stellar populations proceedings of the 164th symposium of the International Astronomical Union*, held in the Hague, the Netherlands, August 15 -19, 1994, 164, 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.

Becklin, E. E., Neugebauer, G., 1968, Infrared Observations of the Galactic Center, *Astrophysical Journal*, 151, 145.

Bekki, K., Chiba, M., 2001, Formation of the Galactic Stellar Halo. I. Structure and Kinematics, *The Astrophysical Journal*, 558, 666-686.

Bellazini, M., Ibata, R., Martin, N. ve diğ., 2006, The Core of the Canis Major Galaxy as Traced by Red Clump Stars, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 366, 865.

Bennett, C. L., Larson, D., Weiland, J. L. ve diğ., 2013, Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results, *The Astrophysical Journal Supplement*, 208, article id. 20, 54.

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

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

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

Bensby, T., 2014, Characterisation of the Galactic Thick Disk, *Setting the Scene for Gaia and LAMOST, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium,* 298, 17-27.

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.

Bienaymé, O., Famaey, B., Siebert, A. ve diğ., 2014, Weighing the Local Dark Matter with RAVE Red Clump Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 571, 92.

Bijaoui, A., Recio-Blanco, A., de Laverny, P., Ordenovic, 2012, Parameter Estimation from a Model Grid Application to the Gaia RVS Spectra, *Statistical Methodology*, 9, 55-62.

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

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

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

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Coşkunoğlu, B., Seabroke, G. M., 2011, Identification of Field Dwarfs and Giants in the Second Radial Velocity Experiment Data Release, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 418, 444-455.

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S. ve diğ., 2012a, Local Stellar Kinematics from RAVE Data – III. Radial and Vertical Metallicity Gradients based on Red Clump Stars, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 421, 3362-3374.

Bilir, S., Karaali, S., Dağtekin, N. D. ve diğ., 2012b, Transformations from WISE to 2MASS, SDSS and BVI Photometric Systems: II. Transformation Equations for Red Clump Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 29, 121-131.

Bilir, S., Ak, T., Ak, S. ve diğ. 2013a, A New Absolute Magnitude Calibration for Red Clump Stars, *New Astronomy*, 23, 88-97.

Bilir, S., Önal, Ö., Karaali, S. ve diğ., 2013b, Luminosity-Colour Relations for Red Clump Stars, *Astrophysics and Space Science*, 344, 417-427.

Binney, J., Merrifield, M., 1998, G*alactic Astronomy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Binney, J., 2013, Dynamics for Galactic Archaeology, *New Astronomy Reviews,* 57, 29.

Binney, J., Burnett, B., Kordopatis, G. ve diğ., 2014, New Distances to RAVE Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437, 351-370.

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

Blaauw, A., Gum, C. S., Pawsey, J. L., Westerhout, G., 1959, Note: Definition of the New I.A.U. System of Galactic Co-Ordinates, *Astrophysical Journal*, 130, 702.

Bobylev, V. V., Stepanishchev, A. S., Bajkova, A. T., Gontcharov, G. A., 2009, Kinematics of Tycho-2 Red Giant Clump Stars, *Astronomy Letter*, 35, 836-849.

Bobylev, V. V., 2010, Parameters of the Local Warp of the Stellar-Gaseous Galactic Disk from the Kinematics of Tycho-2 Nearby Red Giant Clump Stars, *Astronomy Letters*, 36, 634-644.

Boeche, C., Siebert, A., Williams, M. ve diğ., 2011, The RAVE Catalog of Stellar Elemental Abundances: First Data Release, *The Astronomical Journal*, 142, article id. 193, 20.

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.

Bono, G., Matsunaga, N., Inno, L., Lagioia, E. P., Genovali, K., 2013, Stellar Populations in the Galactic Center, Cosmic Rays in Star-Forming Environments, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, 34, 115.

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

Bovy, J., Rix, H. W., Hogg, D. W., 2012a, The Milky Way Has No Distinct Thick Disk, *Astrophysical Journal*, 751, 131.

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

Bovy, J., Rix, H. W., Hogg, D. W. ve diğ., 2012c, The Vertical Motions of Mono-abundance Sub-populations in the Milky Way Disk, *Astrophysical Journal*, 755, 115.

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

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

Bovy, J., Bird, J. C., García, P., Ana E., Majewski, S. R., Nidever, D. L., Zasowski, G., 2015, The Power Spectrum of the Milky Way: Velocity Fluctuations in the Galactic Disk, *The Astrophysical Journal*, 800, article id. 83, 12.

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

Bragaglia, A., Carretta, E., Gratton, R. G. ve diğ., 2001, Metal Abundance of Red Clump Stars in Open Clusters, *Astronomical Journal*, 121, 327.

Bragaglia, A., Carretta, E., Gratton, R., D'Orazi, V., Cassisi, S., Lucatello, S., 2010, Helium in First and Second-generation Stars in Globular Clusters from Spectroscopy of Red Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 519, id.A60, 9.

Bullock, J. S., Johnston, K. V., 2005, Tracing Galaxy Formation with Stellar Halos. I. Methods, *Astrophysical Journal*, 635, 931-949.

Burkert, A., Truran, J. W., Hensler, G., 1992, The Collapse of Our Galaxy and the Formation of the Galactic Disk, *Astrophysical Journal*, 391, 651-658.

Burnett, B., Binney, J., Sharma, S. ve diğ., 2011, Distance Determination for RAVE Stars Using Stellar Models. III. The Nature of the RAVE Survey and Milky Way Chemistry, *Astronomy and Astrophysics*, 532, id.A113, 14.

Cabrera-Lavers, A., Hammersley, P. L., González-Fernandez, C. ve diğ., 2007, Tracing the Long Bar with Red Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 465, 825-838.

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.

Cannon, R. D., Lloyd, C., 1969, The Main Sequence Gap and Red Giant Clump of NGC 6939, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 144, 449-458.

Cannon, R. D. , 1970, Red Giants in Old Open Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 150, 111-135.

Cao, L., Mao, S., Nataf, D., Rattenbury N. J., Gould, A., 2013, A New Photometric Model of the Galactic Bar Using Red Clump Giants, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 434, 595.

Carraro, G., Monaco, L., Villanova, S., 2014, Abundance Analysis of Red Clump Stars in the Old, Inner Disci open cluster NGC 4337: a Twin of NGC 752?, *Astronomy and Astrophysics*, 568, 86.

Carraro, G, 2015, The Milky Way Disk, *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*, 57, 138-144.

Carrell, K., Wilhelm, R., Chen, Y., 2012a, Red Clump Stars in the Sagittarius Tidal Streams, *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.

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, *Astrophysical Journal*, 477, 765-780.

Chiappini, C., Anders, F.; Minchev, I., 2014, Galactic Archaeology: What Changes When Ages are Known? *EAS Publications Series*, 67-68, 169-176.

Chiappini, C., Minchev, I., Anders, F., Brauer, D., Boeche, C., Martig, M., 2015, Asteroseismology of Stellar Populations in the Milky Way, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, 39, 111.

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.

Christensen, L. L., de Martin, D., Shida, R. Y., 2009, *Cosmic Collisions: The Hubble Atlas of Merging Galaxies*, Springer-Verlag New York, ISBN: 978-0-387-93853-0

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

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, 781-806.

Conrad, C., Scholz, R.-D., Kharchenko, N. V. ve diğ., 2014, A RAVE Investigation on Galactic Open Clusters. I. Radial Velocities and Metallicities, *Astronomy and Astrophysics*, 562, id.A54, 16.

Cooper, A. P., Cole, S., Frenk, C. S. ve diğ., 2010. Galactic Stellar Haloes in the CDM Model*, Monthly Notices of Royal Astronomical Society,* 406, 744-466.

Correnti, M., Bellazzini, M., Ibata, R. A. ve diğ., 2010, The Northern Wraps of the Sagittarius Stream as Traced by Red Clump Stars: Distances, Intrinsic Widths and Stellar Densities, *Astrophysical Journal*, 721, 329-356.

Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S. ve diğ., 2011, Local Stellar Kinematics from RAVE Data - I. Local Standard of Rest, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1237-1245.

Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Önal, Ö., Yaz, E., Gilmore, G., Seabroke, G. M., Local Stellar Kinematics from RAVE Data - II. Radial Metallicity Gradient, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 2844-2854.

Cox, A. N., 2000, *Allen's Astrophysical Quantities*, AIP Press; Springer, New York, ISBN: 0387987460.

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, *arXiv:1601.03099*.

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

De Bruijne, J. H. J., Allen, M., Azaz, S., Krone-Martins, A., Prod'homme, T., Hestroffer, D., 2015, Detecting Stars, Galaxies, and Asteroids with Gaia, *Astronomy and Astrophysics*, 576A, 74.

De Lucia, G., Helmi, A., 2008, The Galaxy and Its Stellar Halo: Insights on their Formation from a Hybrid Cosmological Approach, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 391, 14-31.

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

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

Dehnen, W., 2000, The Effect of the Outer Lindblad Resonance of the Galactic Bar on the Local Stellar Velocity Distribution, *The Astronomical Journal*, 119, 800-812.

Deng, L., Newberg, H. J., Liu, C., 2012, LAMOST Experiment for Galactic Understandaing and Exploration (LEGUE)-The Survey's Science Plan, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 735-754.

Duran, Ş., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., Coşkunoğlu, B., 2014, Local Stellar Kinematics from RAVE Data: IV. Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 30, id.e043, 18.

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

Driver, S. P., Hill, D. T., Kelvin, L. S. ve diğ., 2011, Galaxy and Mass Assembly (GAMA): Survey Diagnostics and Core Data Release, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 413, 971.

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.

Efremov, Y., 2011, On the Spiral Structure of the Milky Way Galaxy, *Astronomy Reports*, 55, 108.

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.

Eggleton, P. P., 1968, Low-Mass Red Giants: Helium or Nitrogen Flash?, *Astrophysical Journal*, 152, 345-347.

Eisenhauer, F. ve diğ., 2005, Sinfoni in the Galactic center: young Stars and infrared flares in the central light-month, *Astrophysical Journal*, 628, 246-259.

ESA, 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues, *VizieR On-line Data Catalog: I/239.*

Fiorucci, M., Munari, U., 2003, The Asiago Database on Photometric Systems (ADPS). II. Band and Reddening Parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 401, 781-796.

Font, A. S., Johnston, K. V., Bullock, J. S., Robertson, B. E., 2006. Chemical Abundance Distributions of Galactic Halos and Their Satellite Systems in a ΛCDM Universe, *Astrophysical Journal*, 638, 585-595.

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

Friel, E. D., Janes, K. A., Tavarez, M. ve diğ., 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.

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

Fulbright, J. P., Wyse, R. F. G., Ruchti, G. R. ve diğ., 2010, The RAVE Survey: Rich in Very Metal-poor Stars, *The Astrophysical Journal Letters*, 724, L104-L108.

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.

Gerola, H., Seiden, P. E., 1978, Stochastic Star Formation and Spiral Structure of Galaxies, *Astrophysical Journal,* 223, 129-135.

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, *Astrophysical Journal*, 689, 1044.

Gilmore, G., Reid, N. , 1983, New Light on Faint Stars. III - Galactic Structure towards the South Pole and the Galactic Thick Disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 202, 1025-1047.

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

Gilmore, G., Wyse, R. F. G., Norris, J. E., 2002, Deciphering the Last Major Invasion of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 574, L39-L42.

Gilmore, G., Randich, S., Asplund, M. ve diğ., 2012, The Gaia-ESO Public Spectroscopic Survey, *The Messenger*, 147, 25-31.

Girard, T. M., van Altena, W. F., Zacharias, N. ve diğ., 2011, The Southern Proper Motion Program. IV. The SPM4 Catalog, *The Astronomical Journal*, 142, article id. 15, 12.

Girardi, L., Groenewegen, M. A. T., Weiss, A., Salaris, M., 1998, Fine Structure of the Red Giant Clump from HIPPARCOS Data, and Distance Determinations Based on Its Mean Magnitude, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 301, 149-160.

Girardi, L., Salaris, M., 2001, Population Effects on the Red Giant Clump Absolute Magnitude, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 323, 109.

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

Gontcharov, G. A., 2008, Red Giant Clump in the Tycho-2 Catalogue, *Astronomy Letters*, 34, 785-796.

González-Fernandez, C., Asensio Ramos, A., Garzon, F., Cabrera-Lavers, A., Hammersley, P. L., 2014, Infrared Extinction in the Inner Galaxy Through Red Clump Giants, *Astrophysical Journal*, 782, article id. 86, 11.

Grenon, M., 1972, On Metal Rich and SMR Stars, *Age des Etoiles, Proceedings of IAU Colloq. 17*, held in Paris, France, 18-22 September, 1972. Edited by G. Cayrel de Strobel and A. M. Delplace. Observatoire de Paris-Meudon, 55.

Grenon, M., 1980, Metal Abundances of Young Stellar Groups, Star Cluster, *Proceedings of IAU Symposium No. 85*, held 27-30 August 1979 in Victoria, British Columbia, Kanada. Editör: J.E. Hesser. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 231.

Groenewegen, M. A. T., 2008, The Red Clump Absolute Magnitude Based on Revised Hipparcos Parallaxes, *Astronomy and Astrophysics*, 488, 935-941.

Habing, H., 1988, IRAS Edge-on View of Our Galaxy - The disk, *Astronomy and Astrophysics*, 200, 40.

Hartkopf, W. I., Yoss, K. M., 1982, A Kinematic and Abundance Survey at the Galactic Poles, *Astronomical Journal*, 87, 1679-1709.

Hayashi, H., Chiba, M., 2006, Dynamical Effects of Cold Dark Matter Subhalos on a Galactic Disk, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 58, 835-846.

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.

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

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

Hawkins, K., Jofré, P., Gilmore, G., Masseron, T., 2014, On the Relative Ages of the α-rich and α-poor Stellar Populations in the Galactic Halo, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445, 2575-2588.

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, 1, 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, A80.

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

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.-W, Zhang, H.-W. 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, id 1240-1263.

Ivezic, Z., Sesar, B., Juric, M. ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. II. Stellar Metallicity, *The Astrophysical Journal*, 684, 40.

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.

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

Jones, B. J. T., Wyse, R. F. G., 1983, The Formation of Disc Galaxies, *Astronomy and Astrophysics* 120, 165-180.

Karaali, S., Ak, S. G., Bilir, S., Karataş, Y., Gilmore, G., 2003, 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., Yaz Gökçe, E., 2013, Absolute Magnitude Calibration for Red Clump Stars, *Astrophysics and Space Science*, 346, 89.

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

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

Katz, N., 1992, Aspects of Hierarchical Galaxy Formation Involving Gas Dynamics, *Astronomical Society of the Pacific*, 104, 852-856.

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.

Kazantzidis, S., Bullock, J. S., Zentner, A. R., Kravtsov, A. V., Moustakas, L. A., 2008, Cold Dark Matter Substructure and Galactic Disks. I. Morphological Signatures of Hierarchical Satellite Accretion, *The Astrophysical Journal*, 688, 254-276.

Keenan, P. C., Barnbaum, C., 1999, Revision and Calibration of MK Luminosity Classes for Cool Giants by HIPPARCOS Parallaxes, *The Astrophysical Journal*, 518, 859-865.

Kim, M., Kim, E., Lee, M. G. ve diğ., 2002, Determination of Distance to M33 Based on the Tip of the Red Giant Branch and the Red Clump, *Astronomical Journal*, 123, 244.

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.

Kiss, L. L., Moór, A., Szalai, T. ve diğ., 2011, A Search for New members of the β Pictoris, Tucana-Horologium and ε Cha Moving Groups in the RAVE Database, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411, 117-123.

Klement, R., Fuchs, B., Rix, H.-W., 2008, Identifying Stellar Streams in the First RAVE Public Data Release, *The Astrophysical Journal*, 685, 261-271.

Klement, R., 2008, *Stellar Phase-Space Structure and Dynamics in the Solar Neighbourhood,* Doktora tezi, Ruperto-Carola University of Heidelberg.

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

Kordopatis, G., Gilmore, G., Steinmetz, M. ve diğ., 2013, The RAdial Velocity Experiment (RAVE): Fourth Data Release, *Astronomical Journal*, 146, article id. 134, 36.

Kordopatis, G., Wyse, R. F. G., Gilmore, G. ve diğ., 2015a, The Gaia-ESO Survey: Characterisation of the [α/Fe] Sequences in the Milky Way Discs, *Astronomy and Astrophysics*, 582, 122.

Kordopatis, G., Binney, J., Gilmore, G. ve diğ., 2015b, The Rich are Different: Evidence from the RAVE Survey for Stellar Radial Migration, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 447, 3526.

Kormendy, J., Drory, N., Bender, R., Cornell, M., 2010, Bulgeless Giant Galaxies Challange Our Picture of Galaxy Formation by Hierarchical Clustering, *Astrophysical Journal*, 723, 54.

Kos, J., Zwitter, T., Grebel, E. K. ve diğ., 2013, Diffuse Interstellar Band at 8620 Å in RAVE: A New Method for Detecting the Diffuse Interstellar Band in Spectra of Cool Stars, *The Astrophysical Journal*, 778, article id. 86, 11.

Kos, J., Zwitter, T., Grebel, E. K. ve diğ., 2014, Pseudo-three-dimensional Maps of the Diffuse Interstellar Band at 862 nm, *Science*, 345, Issue 6198, 791-795.

Kunder, A., Bono, G., Piffl, T. ve diğ., 2014, Spectroscopic Signatures of Extratidal Stars Around the Globular Clusters NGC 6656 (M 22), NGC 3201, and NGC 1851 from RAVE, *Astronomy and Astrophysics*, 572, id.A30, 10.

Laney, C. D., Joner, M. D., Pietrzyński, G., 2012, A New Large Magellanic Cloud K-band Distance from Precision Measurements of Nearby Red Clump Stars, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 419, 163.

Launhardt, R., Zylka, R., Mezger, P. G., 2002, The Nuclear Bulge of the Galaxy. III. Large-scale Physical Characteristics of Stars and Interstellar Matter, *Astronomy and Astrophysics*, 384, 112.

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

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

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

Lindblad, P. O., 1960, The Development of Spiral Structure in a Galaxy Approached by Numerical Computations, *Stockholms Observatoriums Annaler*, 21, 4, 73.

Lin, C. C., Shu, F. H. 1964, On the Spiral Structure of Disk Galaxies, *Astrophysical Journal*, 140, 646-655.

Lin, C. C., 1971, Theory of Spiral Structure, *Highlights of Astronomy*, 2, 88-121.

Liu, C., van de Ven, G., 2012, Chemo-orbital Evidence from SDSS-SEGUE G-Type Dwarf Stars for a Mixed Origin of the Milky Way's Thick Disc, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society,* 425, 2144.

López-Corredoira, M., 2014, Milky Way Rotation Curve from Proper Motions of Red Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 563, 128.

López-Corredoira, M., Abedi, H., Garzon, F., Figueras, F., 2014, Vertical Velocities from Proper Motions of Red Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 572, 101.

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

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

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

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

Marsakov, V. A., Borkova, T. V., 2006, Magnesium Abundance in the Galactic Thin-disc Stars and Subsystem Formation History, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 25, 157-159.

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

Matijevič, G., Zwitter, T., Munari, U. ve diğ., 2010, Double-lined Spectroscopic Binary Stars in the Radial Velocity Experiment Survey, *The Astronomical Journal*, 140, 184-195.

Matijevič, G., Zwitter, T., Bienaymé, O. ve diğ., 2011, Single-lined Spectroscopic Binary Star Candidates in the RAVE Survey, *The Astronomical Journal*, 141, article id. 200, 9.

Matteucci, F., Francois, P., 1989, Galactic Chemical Evolution - Abundance Gradients of Individual Elements, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 239, 885-904.

Matteucci, F., 2008, Chemical Enrichment and Feedback in Low Metallicity Environments: Constraints on Galaxy Formation, Low-Metallicity Star Formation: From the First Stars to Dwarf Galaxies, *Proceedings of the International Astronomical Union*, 255, 134-141.

Matteucci, F., 2012, Modeling the Chemical Evolution of the Milky Way, *The Chemical Evolution of the Milky Way*, held January 23-27, 2012 at the Sexten Center for Astrophysics (SCfA).

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

McWilliam, A., 1997, Abundance Ratios and Galactic Chemical Evolution, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 35, 503-556.

Melia, F., Falcke, H., 2001, The Supermassive Black Hole at the Galactic Center, *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 39, 309.

Mengel, J., Sweigart, A. V., 1981, The Helium-Core Flash in Globular Cluster Stars, Astrophysical Parameters for Globular Clusters, *Proceedings of IAU Colloquium No. 68*, held 7-10 October 1981, 277.

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

Mikolaitis, Š., Hill, V., Recio-Blanco, A. 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., Chiappini, C., Martig, M. ve diğ., 2014, A New Stellar Chemo-Kinematic Relation Reveals the Merger History of the Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal Letters*, 781, article id. L20, 6.

Minchev, I., Chiappini, C., Martig, 2016, Milky Way Chemo-dynamics in the Era of Gaia, arXiv:1601.0131.

Minniti, D., Saito, R. K., Alonso-Garcia, J., 2011, The Edge of the Milky Way Stellar Disk Revealed Using Clump Giant Stars as Distance Indicators, *Astrophysical Journal*, 733, 43.

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

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.

Monet, D. G., 1998, The 526,280,881 Objects in the USNO-A2.0 Catalog, American Astronomical Society, 193rd AAS Meeting, id.120.03; *Bulletin of the American Astronomical Society*, 30, 1427.

Monaco, L., Boffin, H. M. J., Banifacio, P. ve diğ., 2014, A Super Lithium Rich Red Clump Star in the Open Cluster Trumpler 5, *Astronomy and Astrophysics*, 564, 6.

Mueller, M. W., Arnett, W. D. 1976, Propagating Star Formation and Irregular Structure in Spiral Galaxies, *Astrophysical Journal*, 210, 670-678.

Munari, U., Siviero, A., Bienaymé, O. ve diğ., 2009, RAVE Spectroscopy of Luminous Blue Variables in the Large Magellanic Cloud, *Astronomy and Astrophysics*, 503, 511-520.

Munari, U., Henden, A., Frigo, A. ve diğ., 2014, APASS Landolt-Sloan BVgri Photometry of RAVE Stars. I. Data, Effective Temperatures, and Reddenings, *The Astronomical Journal*, 148, article id. 81, 15.

Mutch, S. J., Croton D. J., Poole, G. B., 2011, The Mid-life Crisis of the Milky Way and M31, *Astrophysical Journal*, 736, 84.

Mushotzky, R. F., Edelson, R., Baumgartner, W., Gandhi, P., 2011, Kepler Observations of Rapid Optical Variability in Active Galactic Nuclei, *The Astrophysical Journal Letters*, 743, article id. L12, 6.

Nataf, D. M., Udalski, A., Gould, A., Fouqué, P., Stanek, K. Z., 2010, The Split Red Clump of the Galactic Bulge from OGLE-III, *The Astrophysical Journal Letters*, 721, L28-L32.

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

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.

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

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

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.

Oort, J. H., Rougoor, G. W., 1960, The Position of the Galactic Centre, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 121, 171.

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

Özdönmez, A., Güver, T., Cabrera-Lavers, A., Ak, T., 2016, The Distances of the Galactic Novae, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 461, 1177.

Paczynski, B., 1998, Metallicity of Red Clump Giants in Baade's Window, *Acta Astronomica*, 48, 405-412.

Paczyński, B., Stanek, K. Z., 1998, Galactocentric Distance with the Optical Gravitational Lensing Experiment and HIPPARCOS Red Clump Stars, *The Astrophysical Journal*, 494, L219-L222.

Pagel, B. E. J., Patchett, B. E., 1975, Metal Abundances in Nearby Stars and the Chemical History of the Solar Neighborhood, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 172, 13-40.

Pasetto, S., Grebel, E. K., Zwitter, T. ve diğ., 2012, Thin Disk Kinematics from RAVE and the Solar Motion, *Astronomy and Astrophysics*, 547, 71.

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.

Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G. ve diğ., 1999, Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae, *The Astrophysical Journal*, 517, 565-586.

Perryman, M. A. C., Lindegren, L., Kovalevsky, J. ve diğ., 1997, The HIPPARCOS Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, 323, L49-L52.

Piatti, A. E., 2012, The Star Field Giant Branch Clump Vertical Structure in the Large Magellanic Cloud, *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*, 55, 337-341.

Piddington, J. H., Minnett, H. C., 1951, Observations of Galactic Radiation at Frequencies of 1200 and 3000 Mc/s, *Australian Journal of Scientific Research A*, 4, 459.

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

Pillepich, A., Vogelsberger, M., Deason, A. ve diğ., 2014, Halo Mass and Assembly History Exposed in the Faint Outskirts: The Stellar and Dark Matter Haloes of Illustris Galaxies, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 444, 237-249.

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

Press, W. H., Schechter, P, 1974, Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation, *Astrophysical Journal*, 187, 425-438.

Prochaska, J. X., Naumov, S. O., Carney, B. W., McWilliam, A., Wolfe, A. M., 2000, The Galactic Thick Disk Stellar Abundances, *Astronomical Journal*, 120, 2513.

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

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

Quinn, P. J., Hernquist, L., Fullagar, D. P., 1993, Heating of Galactic Disks by Merge, *Astrophysical Journal*, 403, 74-93.

Rattenbury, N. J., Mao, S., Sumi, T., Smith M. C., 2007, Modelling the Galactic Bar Using OGLE-II Red Clump Giant, Stars, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 378, 1064.

Rattenbury, N. J., Mao, S., Debattista, V. P. ve diğ., 2009, Proper Motion Dispersions of Red Clump Giants in the Galactic Bulge: Observations and Model Comparisons, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 378, 1165.

Recio-Blanco, A., Bijaoui, A., de Laverny, P., 2006, Automated Derivation of Stellar Atmospheric Parameters and Chemical Abundances: the MATISSE Algorithm, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 370, 141-150.

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

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

Reid, M. J., Brunthaler, A., 2004, The Proper Motion of Sagittarius A*. II. The Mass of Sagittarius A*, *Astrophysical Journal*, 616, 872.

Riess, A. G., Filippenko, A. V., Challis, P. ve diğ., 1998, Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant, *The Astronomical Journal*, 116, 1009-1038.

Robin, A., Creze, M., Mohan, V., 1992, The Edge of the Galactic Disk, *Astrophysical Journal*, 400, L25.

Roeser, S., Demleitner, M., Schilbach, E., 2010, The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 139, 2440-2447.

Roman, N. G., 1955, A Catalogue of High-Velocity Stars, *Astrophysical Journal Supplement*, 2, 195-223.

Rossi, G., Sheth, R. K., Park, C., Hernandez-Monteagudo, C., 2009, Non-Gaussian Distribution and Clustering of Hot and Cold Pixels in the Five-year WMAP sky, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 399, 304.

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

Ruchti, G. R., Fulbright, J. P., Wyse, R. F. G. ve diğ., 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.

Ruphy, S., Robin, A., Epchtein, N. ve diğ., 1996, New Determination of the Disc Scale Length and the Radial Cutoff in the Anticenter with DENIS Data, *Astronomy and Astrophysics*, 313, L21.

Rybka, S. P., 2006, The Separation of Red Horizontal Branch Giants from Reduced Proper Motions, *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel*, 22, 225-230.

Rybka, S. P., 2008, Peculiarities of Galactic Rotation in the Solar Neighborhood from the Data on Red Clump Giants, *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 24, 99-104.

Salaris, M., Girardi, L., 2002, Population Effects on the Red Giant Clump Absolute Magnitude: The K Band, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 337, 332-340.

Salaris, M., 2013, Evolutionary Properties of Stellar Standard Candles: Red Clump, AGB Clump and White Dwarfs, *Advancing the Physics of Cosmic Distances, Proceedings of the International Astronomical Union*, IAU Symposium, 289, 145-152.

Saguner, T., Munari, U., Fiorucci, M., Vallenari, A., 2011, A spectroscopic Survey of Faint, High-Galactic-latitude Red Clump Stars. II. The Medium Resolution Sample, *Astronomy and Astrophysics*, 540, A10.

Sarajedini, A., 1999, WIYN Open Cluster Study. III. The Observed Variation of the Red Clump Luminosity and Color with Metallicity and Age, *The Astronomical Journal*, 118, 2321-2326.

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.

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

Schwarzschild, M., Härm, R., 1962, Red Giants of Population II., *Astrophysical Journal*, 136, 158-165.

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

Seabroke, G. M., Gilmore, G., Siebert, A. ve diğ., 2008, Is the Sky Falling? Searching for Stellar Streams in the Local Milky Way Disc in the CORAVEL and RAVE Surveys, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 384, 11-32.

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

Siebert, A., Bienaymé, O., Soubiran, C., 2003, Vertical Distribution of Galactic Disk Stars. II. The Surface Mass Density in the Galactic Plane, *Astronomy and Astrophysics*, 399, 531-541.

Siebert, A., Bienaymé, O., Binney, J. ve diğ., 2008, Estimation of the Tilt of the Stellar Velocity Ellipsoid from RAVE and Implications for Mass Models, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 391, 793-801.

Siebert, A., Williams, M. E. K., Siviero, A. ve diğ., 2011a, The Radial Velocity Experiment (RAVE): Third Data Release, *Astronomical Journal*, 141, 6.

Siebert, A., Famaey, B., Minchev, I. ve diğ., 2011b, Detection of a Radial Velocity Gradient in the Extended Local Disc with RAVE, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 2026-2032.

Siebert, A., Famaey, B., Binney, J. ve diğ., 2012, The Properties of the Local Spiral Arms from RAVE Data: Two-dimensional Density Wave Approach, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425, 2335-2342.

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.

Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R. ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *Astronomical Journal*, 131, 1163.

Smith, M. C., Ruchti, G. R., Helmi, A. ve diğ., 2007, The RAVE Survey: Constraining the Local Galactic Escape Speed, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 379, 755-772.

Sofue, Y., Honma, M., Omodaka, T., 2009, Unified Rotation Curve of the Galaxy-Decomposition into de Vaucouleurs Bulge, Disk, Dark Halo, and the 9 kpc Rotation Dip, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 61, 227.

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

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.

Spergel, D. N. verde, L., Peiris, H. V. ve diğ., 2003, First-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 148, 175-194.

Spergel, D. N., Bean, R., Doré, O. ve diğ., 2007, Three-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Implications for Cosmology, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 170, 377-408.

Spitzer, L. Jr., Schwarzschild, M., 1951, The Possible Influence of Interstellar Clouds on Stellar Velocities, *Astrophysical Journal*, 114, 385-397.

Spitzer, L. Jr., Schwarzschild, M., 1953, The Possible Influence of Interstellar Clouds on Stellar Velocities. II., *Astrophysical Journal*, 118, 106.

Spitzer, L. Jr., 1956, On a Possible Interstellar Galactic Corona, *Astrophysical Journal*, 124, 20.

Springel, V., White, S. D. M., Jenkins, A. ve diğ., 2005, Simulations of the Formation, Evolution and Clustering of Galaxies and Quasars, *Nature*, 435, 629-636.

Stanek, K. Z., Udalski, A., Szymanski, M. ve diğ., 1997, Modelling the Galactic Bar Using Red Clump Giants, *Astrophysical Journal*, 477, 163.

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, *Astronomical Journal*, 132, 4.

Straižys, V., Laugalys, V., 2009, Extinctions and Distances of Dark Clouds from ugriJHK Photometry of Red Clump Giants: The North America and Pelican Nebulae Complex, *Baltic Astronomy*, 18, 141.

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

Stewart, K., Bullock, J., Wechsler, R., Maller, A., Zentner, A., 2008, Merger Histories of Galaxy Halos and Implications for Disk Survival, *Astrophysical Journal*, 683, 597.

Subramanian, S., Subramaniam, A., 2013, Structure of the Large Magellanic Cloud from Near Infrared Magnitudes of Red Clump Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 552, 144.

Tautvaišiene, G., Edvardsson, B., Puzeras, E. ve diğ., 2010, C, N and O Abundances in Red Clump Stars of the Milky Way, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 409, 1213.

Tautvaišiene, G., Barisevicius, G., Chorniy, Y. ve diğ., 2013, Red Clumps Stars of the Milky Way–laboratories of Extra-mixing, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 430, 621.

Thomas, H.-C., 1967, Sternentwicklung VIII. Der Helium-Flash bei einem Stern von 1. 3 Sonnenmassen, *Zeitschrift für Astrophysik*, 67, 420-455.

Tully, R., Courtois, H., Hoffman Y., Pomarede, D., 2014, The Laniakea Supercluster of Galaxies, *Nature*, 513, 71.

Twarog, B. A., Anthony-Twarog, B. J., Bricker, A. R., 1999, Zeroing the Stellar Isochrone Scale: The Red Giant Clump Luminosity at Intermediate Metallicity, *The Astronomical Journal*, 117, 1816-1826.

Udalski, A., 1998, The Optical Gravitational Lensing Experiment: Population Effects on the Mean Brightness of the Red Clump, *Acta Astronomica*, 48, 38.

Udalski, A., 2000, The Optical Gravitational Lensing Experiment: Red Clump Stars as Distance Indicators, *Astrophysical Journal*, 531, L25-L28.

van den Bergh, S., 1962, The Color-Magnitude Diagram of High-Velocity Stars, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 74, 308.

van den Bergh, S., 1999, Galaxy Formation: Clumps that Survive to Tell a Tale, *Nature*, 402, 29.

van Leeuwen, F., 2007, Validation of the New Hipparcos Reduction, *Astronomy and Astrophysics*, 474, 653-664.

Velazquez, H., White, S. D. M., 1999, Sinking Satellites and the Heating of Galaxy Discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 304, 254-270.

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.

Vidojević, S., Ninković S., 2009, Kinematics and Metallicity Analysis for Nearby F, G and K Stars, *Astronomische Nachrichten*, 330, 46-54.

Villalobos, Á., Helmi, A., 2008, Simulations of Minor Mergers - I. General Properties of Thick Discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 391, 1806-1827.

Wan, J.-C., Liu, C., Deng, L.-C. ve diğ., 2015, Red Clump Stars from the LAMOST Data I: Identification and Distance, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15, 1166.

Wegg, C., Gerhard, O., 2013, Mapping the Three-Dimensional Density of the Galactic Bulge with VVV Red Clump Stars, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 435, 1874.

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.

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

Williams, M. E. K., Steinmetz, M., Sharma, S. ve diğ., 2011, The Dawning of the Stream of Aquarius in RAVE, *The Astrophysical Journal*, 728, article id. 102, 14.

Williams, M. E. K., Steinmetz, M., Binney, J. ve diğ., 2013, The Wobbly Galaxy: Kinematics North and South with RAVE Red-Clump Giants, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 436, 10.

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, *Astronomical Journal*, 140, 1868.

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

Wylie-de Boer, E., Freeman, K., Williams, M., Steinmetz, M., Munari, U., Keller, S., Tracing the Origin of the Aquarius Stream. I, 2012, *The Astrophysical Journal*, 755, article id. 35, 7.

Wyse, R. F. G., Gilmore, G., 1993, Chemical and Dynamical Evolution of the Galaxy, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series The Globular Cluster-Galaxy Connection*, 48, 727.

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.

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

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

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

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

Yaz Gökçe, E., Karaali, S., Duran, S. 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, 12.

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.

Yoshii, Y., 1982, Density Distribution of Faint Stars in the Direction of the North Galactic Pole, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 34, 365-379.

Zacharias, N., Urban, S. E., Zacharias, M. I., Wycoff, G. L., Hall, D. M., Monet, D. G., Rafferty, T. J., 2004, The Second US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC2), *The Astronomical Journal*, 127, 3043-3059.

Zacharias, N., Finch, C., Girard, T. ve diğ., 2010, The Third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3), *The Astronomical Journal*, 139, 2184-2199.

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

Žerjal, M., Zwitter, T., Matijevič, G. ve diğ., 2013, Chromospherically Active Stars in the RAdial Velocity Experiment (RAVE) Survey. I. The Catalog, *The Astrophysical Journal*, 776, article id. 127, 12.

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

Zhao, G., Qiu, H.-M., Zhang, H.-W., 2001, High Resolution Spectroscopic Observations of Hipparcos Red Clump Giants: Metallicity and Mass Determinations, *Astrophysical Journal*, 551, 85.

Zhao, G., Zhao, Y., Chu, Y. ve diğ., 2012, LAMOST Spectral Survey – An Overview, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 723.

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.

Zoccali, M., Hill, V., Lecureur, A. ve diğ., 2008, The Metal Content of Bulge Field Stars from FLAMES-GIRAFFE Spectra I. Stellar Parameters amd Iron Abundances, *Astronomy and Astrophysics*, 486, 177.

Zoccali, M., Minniti, D., 2009, Formation and Evolution of the Galactic Bulge, *XII Latin American IAU Regional Meeting Revista Mexicana de Astronomía y Astrofisica (Serie de Conferencias),* 35, 85-90.

Zwitter, T., Siebert, A., Munari, U. ve diğ., 2008, The Radial Velocity Experiment (RAVE): Second Data Release, *Astronomical Journal*, 136, 421-451.

Zwitter, T., Matijevič, G., Breddels, M. A. ve diğ., 2010, Distance Determination for RAVE Stars Using Stellar Models. II. Most Likely Values Assuming a Standard Stellar Evolution Scenario, *Astronomy and Astrophysics*, 522, id.A54, 15.

# 7. ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|---|---|
| Adı Soyadı | Özgecan ÖNAL TAŞ |
| Doğum Yeri | Bandırma |
| Doğum tarihi | 27.12.1982 |
| Uyruğu | Türkiye Cumhuriyeti |
| Telefon | 0 538 739 61 63 |
| E-posta adresi | ozgecan.onal@istanbul.edu.tr |
| Web adres | http://aves.istanbul.edu.tr/ozgecan.onal/ |



| Eğitim Bilgileri | |
|---|---|
| **Lisans** | |
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Fakülte | Fen Fakültesi |
| Bölümü | Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü |
| Mezuniyet Yılı | 2005 |

| Lisans (Çift Anadal) | |
|---|---|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Fakülte | Fen Fakültesi |
| Bölümü | Fizik Bölümü |
| Mezuniyet Yılı | 2006 |

| Yüksek Lisans | |
|---|---|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Enstitü Adı | Fen Fakültesi |
| Anabilim Dalı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü |
| Programı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü |
| Mezuniyet Tarihi | 2 Temmuz 2008 |

| Doktora | |
|---|---|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Enstitü Adı | Fen Fakültesi |
| Anabilim Dalı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü |
| Programı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü |
| Mezuniyet Tarihi | 5 Ağustos 2016 |

**Makale,Bildiriler, Projeler, Yurtdışı Deneyimi, Yayın İstatistiği**

**Makaleler**

**1.** Önal Taş, Ö., Bilir, S., Seabroke, G., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., 2016, Local Stellar Kinematics from RAVE data - VII. Metallicity Gradients from Red Clump Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia,* vol.33, ide044, pp.20.

**2.** Bilir, S., Göğüş, E., Önal Taş, Ö., Yontan, T., A New Ranking Scheme for the Institutional Scientific Performance, *Journal of Scientometric Research*, vol.4, pp.70-76, 2015.

**3.** Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz Gökçe, E., Önal Taş, Ö., Ak, T., Local Stellar Kinematics From Rave Data - V. Kinematic Investigation of the Galaxy with Red Clump Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol.31, no.13, pp.1-15, 2014.

**4.** Ak, S., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Tuncel Güçtekin, S., Önal Taş, Ö., Dağtekin, N.D., Duran, Ş., Coşkunoğlu, B., Yontan, T., Yaz Gökçe, E., Eker, Z., Colour Transformations Between $BVR_C$ and $g'r'i'$ Photometric Systems for Giant Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol.31, no.14, pp.1-14, 2014.

**5.** Bilir, S., Göğüş, E., Önal Taş, Ö., Dağtekin, N.D., Yontan, T., Research Performance of Turkish Astronomers in the Period of 1980 - 2010, *Scientometrics*, vol.97, pp.477-489, 2013.

**6.** Bilir, S., Önal, Ö., Cabrera-Lavers, A., Çakmak, H., Luminosity - Colour Relations for Red Clump Stars, *Astrophysics & Space Sciences*, vol.344, pp.417-427, 2013.

**7.** Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Dağtekin, N.D., Yontan, T., Gilmore, G., Seabroke, G.M., Local Stellar Kinematics from RAVE Data - III. Radial and Vertical Metallicity Gradients based on Red Clump Stars", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, no.4, pp.3362-3374, 2012.

**8.** Bilir, S., Karaali, S., Dağtekin, N.D., Önal, Ö., Ak, S., Ak, T., Cabrera-Lavers, A., Transformations from WISE to 2MASS, SDSS and BVI Photometric Systems: II. Transformation Equations for Red-Clump Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol.42, pp.3362-3374, 2012.

**9.** Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Yaz Gökçe E., Önal, Ö., Gilmore, G., Seabroke, G.M., Local Stellar Kinematics from RAVE Data – II. Radial Metallicity Gradient, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, vol.419, pp.2844-2854, 2012.

**10.** Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Yaz Gökçe, E., Coşkunoğlu B., Cabrera-Lavers A., Identification of Field Dwarfs and Giants in the Second Radial Velocity Experiment Data Release, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, vol.418, pp.444-455, 2011.

**11.** Bilir, S., Karaali, S., Ak S., Dağtekin, N.D., Önal, Ö., Yaz Gökçe, E., Coşkunoğlu, B., Cabrera-Lavers, A., Transformations between the WISE, 2MASS, SDSS and BVRI Photometric Systems – I. Transformation Equations for

Dwarfs, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, vol.417, pp.2230-2238, 2011.

**12.** Rowlinson, A., O'Brien, P., Tanvir, N., Zhang, B., Evans, P.A., Lyons, N., Levan, A.J., Willingale, R., Page, K.L., Önal, Ö., Burrows, D., Beardmore, A.P., Ukwatta, T.N., Berger, E., Hjorth J., Fruchter, A.S., Tunnicliffe, R.L., Fox, D.B., Cucchiarai A., The Unusual X-Ray Emission of the Short Swift GRB 090515: Evidence for the Formation of a Magnetar?, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, vol.409, pp.531-540, 2010.

**Bildiriler**

**1.** Bilir, S., Göğüş, E., Önal, Ö., Yontan, T., Türkiye'deki Astronomi Çalışmalarına Genel Bakış ve Kurumların Bilimsel Performans Değerlendirmesinde Yeni Bir Yaklaşım, *19. Ulusal Astronomi Kongresi*, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015, ss.81-90 (yayında).

**2.** Önal, Ö., Bilir, S., Karaali, S., Cabrera-Lavers, A., Çakmak, H., Kırmızı Yığın Yıldızları Için Işıma Gücü - Renk İlişkileri, *XVII. Ulusal Astronomi ve Uzay Billimleri Kongresi*, Malatya, Türkiye, 27 Ağustos - 1 Eylül 2012, ss.295-302.

**3.** Bilir, S., Göğüş, E., Önal, Ö., Dağtekin, N.D., Yontan, T., 1980 – 2010 Yılları Arası Türkiye'de Yapılan Astronomi Çalışmaları, *Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 14 - 15 Mayıs 2012, cilt.1, ss.1-15.

**4.** Rowlinson, A., Önal, Ö., O'Brien, P., GRB 090515'In Sıradışı X-Işın Emisyonu, *XVII. Ulusal Astronomi Kongresi*, Adana, Türkiye, 31 Ağustos - 4 Eylül 2010, cilt.1.

**5.** Önal, Ö., Rowlinson, A., O'Brien, P., Kısa Süreli Swift Gama-Işın Patlamalarının Işık Eğrisi Morfolojisi, *XVII. Ulusal Astronomi Kongresi*, Adana, Türkiye, 31 Ağustos - 4 Eylül 2010, cilt.1.

**6.** Önal, Ö., Solmaz, A., Ötegezegen Çalışmalarının Bugünü ve Gelecegi, *Güneş ve Güneş Benzeri Yıldızlar Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 11 Haziran 2010, cilt.1.

**Projeler**

**1.** BAP (Doktora) Projesi, 36224, 11634 TL, Araştırmacı, *Radyal Hız Deneyindeki Kırmızı Yığın Yıldızlarının Kinematik Analizi*, Ocak 2013-devam ediyor, Yürütücü: Prof. Dr. Selçuk Bilir.

**2.** TÜBİTAK 1001 Projesi, 114F347, 300,000 TL, Bursiyer, *Samanyolu'nun Metal Bolluğu Haritası*, Nisan 2015-devam ediyor, Yürütücü: Prof. Dr. Serap Ak.

**3.** TÜBİTAK 1002 Projesi, 210T114, 10,420 TL, Bursiyer, *Dev yıldızlarda Işıma Gücü – Renk İlişkileri*, Mart 2011- Mart 2012, Yürütücü: Doç. Dr. Selçuk Bilir.

**4.** BAP (Yüksek Lisans) Projesi, T-935/06102006, 3,000 TL, Araştırmacı, *Süpernovalarla İlişkili Gama-Işın Patlamalarının (GRB) Gama ve Optik Işın Özellikleri Arasındaki İlişkiler*, 2006-2007, Yürütücü: Doç. Dr. A. Talât Saygaç.

**Yurt-Dışı Deneyimi**

**1.** Önal Taş, Ö., Bilir, S., 2013, Luminosity Colour Relations for Red Clump Stars (bildiri), Asiago Winter School: Very High Time and Space Resolution Astrophysics, Asiago, İTALYA.

**2.** Önal, Ö., O'Brien, P., Rowlinson, A., 2009, On the Nature of the Short Gamma-Ray Bursts Detected by *SWIFT* (poster), The Shocking Universe: Gamma-Ray Bursts and High Energy Shock Phenomena Conference, San Servolo, Venedik, İTALYA.

**3.** Önal, Ö., Saygaç, A. T., Della Valle, M., 2008, Correlation Between Optical and Gamma-Ray Properties of Gamma-Ray Bursts Associated with Supernovae (bildiri), International School for Young Astronomers 2008, İstanbul, TÜRKİYE.

**4.** Önal, Ö., Al-Shamouty, K., 2008, Copenhagen (tiyatro oyunu; *Margaret Bohr* rolüyle), Yönetmen: Randall Smith (CfA, Harvard Üniv.), COSPAR Capacity Building Workshop on Space Astrophysics, İskenderiye, MISIR.

* ***Marie-Curie Early Stage Training Programme: SPARTAN Fellowship*** ile 2009 yılı Haziran ile Eylül ayları arasında İngiltere'deki Leicester Üniversitesi Fizik ve Astronomi Bölümü'nün X-Işın ve Gözlemsel Astrofizik grubundan Paul O'Brien ve ekibiyle çalışmak üzere üç ay ziyaretçi araştırmacı olarak bulundum.

**Yayın İstatistiği**

Tablo 1. 2015 yılına kadar yayımlanmış 10 bilimsel makaleye yapılan atıflar ve araştırmacının h-indeksi**.

| | |
|---|---|
| Results found<br>*Bulunan sonuç* | 10 |
| Sum of the Times Cited<br>*Atıfların Toplamı* | 127 |
| Sum of Times Cited without self-citations<br>*Kendine Verdiği Atıflar Dışında Alınan Atıfların Toplamı* | 120 |
| Citing Articles<br>*Atıf Alınan Makaleler* | 102 |
| Citing Articles without self-citations<br>*Kendine Atıf Verdiği Makaleler Dışında Atıf Alınan Makaleler* | 98 |
| Average Citations per Item<br>*Makale Başına Ortalama Atıf Sayısı* | 12.70 |
| h-index<br>*h-indeksi* | 5 |

** Tablo verileri 14.07.2016 11:00 itibariyle Web of Knowledge'tan alınmıştır.