TÜBİTAK

Galaksi Diskinin Kimyasal Evriminin APOGEE Taramasındaki Kırmızı Dev Yıldızlar ile İncelenmesi

Program Kodu: 1002

Proje No: 116F398

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Serap AK

Bursiyerler:
Sibel DÖNER
Burcu AKBULUT

EKİM 2018
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Galaksimizin evrim ve oluşumunun araştırılması için farklı nesneler ve gözlemsel veriler kullanılması önemlidir. Sığ ve derin gökyüzü tarama programlarından elde edilen gözlemsel fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerin birlikte kullanılması Galaksimizin daha ayrıntılı incelenmesini sağlar. Evrimleşmiş kırmızı yıldızlar, Hertzsprung–Russell (HR) diyagramında anakoldan sonra görülen en belirgin yapıdır ve duyarlı atmosfer model parametrelerinin belirlenmesi sonucunda iyi bir uzaklık göstergesi olarak kullanılabilir.

Görünen maddenin büyük kısmının toplandığı sarmal galaksilerin diskleri en önemli bileşenleridir. Galaksi diskinin nasıl oluştuğunun incelenmesi Galaksimizin oluşum ve evriminin anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, yıldızların tayfsal, kinematik ve yörünge parametrelerinin birlikte incelenerek metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanması önemlidir.

Projede SDSS-IV DR13'ün APOGEE kataloğundaki duyarlı verilerden kırmızı dev yıldızlar seçilerek parametreleri iyi bilinen bir örnek oluşturulmuş ve yanlılıkların en aza indirilmesi sağlanmıştır. Tayfsal APOGEE verileri bulunan kırmızı dev yıldızların bugünkü konumlarından ve Galaktik yörünge parametrelerinden itibaren metal bolluğu gradyentleri elde edilerek, bu gradyentlerin yıldız yaşlarına, popülasyon türlerine, yörünge basıklıklarına bağlılığı incelenmiş ve elde edilen sonuçların yıldızların radyal göçünden etkilenip etkilenmediği tartışılmıştır.

Projede, metal bolluğu gradyentleri Galaksi merkezine göre radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultular için hesaplanmıştır. Metal bolluğu gradyentleri hesaplanırken sonuçları doğrudan etkileyen Galaktik yörünge parametreleri (d, R_{gc}, Z, R_m, z_{max}, e_p, e_v, τ) ve popülasyon türleri eş zamanlı dikkate alınmış ve veri setindeki parametrelere gerekli sınırlamalar getirilmiştir. Yıldızların yaşlarının belirlenmesinde Bayesian istatistiğine dayalı bir yöntem kullanılmıştır. APOGEE tayfsal taramasından belirlenmiş evrimleşmiş yıldızların atmosfer model parametreleriyle PARSEC eş-yaş eğrileri karşılaştırılarak yıldızların yaşları tayin edilmiştir.

Bu çalışma, **Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Kurumu (TÜBİTAK)** tarafından 116F398 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TÜBİTAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……i
İÇİNDEKİLER……ii
TABLO LİSTESİ……iii
ŞEKİL LİSTESİ……iv
ÖZET……. vi
ABSTRACT……..vii
1. GİRİŞ……..1
2. LİTERATÜR ÖZETİ……....7
3. GEREÇ VE YÖNTEM……....11
3.1 SDSS-IV DR13 APOGEE Veri Seti……..11
3.2 Yıldızların Seçilmesi……..12
3.3 Yıldızların Kızarma ve Uzaklıklarının Hesabı……..12
3.4 Yıldızların Uzay Hızlarının Hesabı……..15
3.5 Yıldızların Galaktik Yörünge Parametrelerinin Belirlenmesi……..17
3.6 Yıldızların Metal Bolluğu Gradyentlerinin Hesabı……...19
3.7 Yıldızların Yaşının Hesabı……...20
4. BULGULAR……..22
4.1 Kırmızı Dev Yıldızlar……..22
4.2 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Kızarma ve Uzaklıkları……..23
4.3 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Uzay Hızları……..26
4.4 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Galaktik Yörünge Parametreleri……...29
4.5 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Kinematik Özellikleri……..30
4.6 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Metal Bolluğu Gradyentleri……...32
4.6.1 Bugünkü Konumlarına Göre Metal Bolluğu Gradyentleri……..33
4.6.2 Yörünge Parametrelerine Göre Metal Bolluğu Gradyentleri……..35
4.6.3 Yörünge Basıklıklarına Göre Metal Bolluğu Gradyentleri……..37
4.7 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Yaşları ve Yaş-Metal Bolluğu Arasındaki İlişki…...38
4.8 Kırmızı Yığın Yıldızlarının Yaş-Metal Bolluğu İlişkisi……..41
5. TARTIŞMA VE SONUÇ……45
KAYNAKLAR……51

TÜBİTAK

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Kırmızı dev kolunun yıldız kütlesine göre astrofizik parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri……12

Tablo 3.2 PARSEC eş-yaş eğrileri ile elde edilen kütle modeli katsayıları 14

Tablo 3.3 Galpy *MWPotential2014* model parametreleri.....18

Tablo 4.1 KDK yıldızlarının farklı sınırlamalar için kinematik değerleri……31

Tablo 4.2 Galaktik düzlemden dik uzaklık (*Z)* aralıklarına ayrılmış KDK yıldızlarının bugünkü konumlarına göre radyal metal bolluğu gradyentleri. *N*, yıldız sayısını, [Fe/H], metal bolluğunun medyan değerini, d[Fe/H]/dR_{gc} ise radyal metal bolluğu gradyentini ifade eder. ……33

Tablo 4.3 Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklık (z_{max}) aralıklarına ayrılmış KDK yıldızlarının yörünge parametrelerine göre radyal metal bolluğu gradyentleri. N, yıldız sayısını, [Fe/H], metal bolluğunun medyan değerini, d[Fe/H]/dR_m ise radyal metal bolluğu gradyentini ifade eder……35

TÜBİTAK

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Galaksimizin bileşenlerinin şematik gösterimi...……..……1

Şekil 1.2 Güneş kütlesindeki bir yıldızın evrim aşamasında HR diyagramı üzerinde izleyeceği yolun şematik gösterimi...……4

Şekil 1.3 M3 küresel kümesinin renk-parlaklık diyagramı...……4

Şekil 3.1 *MilkyWayPotential2014* modelinin Galaksimiz için ürettiği dönme eğrileri…....18

Şekil 4.1 SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğundaki yıldızların T_{eff} - log g diyagramı……..23

Şekil 4.2 KDK yıldızlarının (a) sayı yoğunluğu (N) ve (b) metal bolluğu ([Fe/H]) değerlerine göre T_{eff} – log g diyagramları. ……..…….....24

Şekil 4.3 KDK yıldızlarının *S/N* oranlarının birikimli (üst panel) ve frekans (alt panel) dağılımı.……...…….…24

Şekil 4.4 KDK yıldızlarının uzaklıklarının birikimli (üst panel) ve frekans (alt panel) dağılımı……..……..25

Şekil 4.5 KDK yıldızlarının (a) (X, Y) ve (b) (X, Z) düzlemlerindeki uzaklık dağılımları ……26

Şekil 4.6 KDK yıldızlarının radyal hızları ile *S/N* oranları arasındaki dağılımı. Kesikli kırmızı çizgi medyan değerini gösterir.……..……..27

Şekil 4.7 KDK yıldızlarının toplam uzay hızı hatalarının frekans dağılımı. Siyah ok, toplam uzay hızı hatasına getirilen sınır değerini gösterir ……...28

Şekil 4.8 KDK yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin (a) *V-U* ve (b) *V-W* düzlemlerindeki hız dağılımları……..29

Şekil 4.9 KDK yıldızlarının *galpy* koduyla hesaplanan dinamik yörünge parametrelerinin dağılımları: (a) z_{max}, (b) R_m, (c) e_p ve (d) e_v ……..……30

Şekil 4.10 KDK yıldızlarının bugünkü konumlarına (R_{gc}) göre radyal metal bolluğu gradyentleri.……..…….34

Şekil 4.11 KDK yıldızlarının Galaktik düzleme dik bugünkü uzaklıklarına (Z) göre dikey metal bolluğu gradyentleri ……...35

Şekil 4.12 KDK yıldızlarının Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarına (R_m) göre radyal metal bolluğu gradyentleri ……..…….....36

Şekil 4.13 KDK yıldızlarının Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklıklarına (z_{max}) göre dikey metal bolluğu gradyentleri ……..……..…….37

Şekil 4.14 KDK yıldızlarının (e_p) yatay yörünge basıklıkları ve d[Fe/H]/dR_m radyal metal bolluğu gradyentleri arasındaki ilişki ……..……..38

Şekil 4.15 KDK yıldızlarının metal bolluğu aralıklarına göre yaş dağılımları……...39

Şekil 4.16 KDK yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisi……..40

Şekil 4.17 KDK yıldızlarının z_{max} aralıklarına göre yaş-metal bolluğu ilişkisi…… ……41
Şekil 4.18 KDK yıldızlarının sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş T_{eff} - log g diyagramı. Siyah dikdörtgen KY yıldızlarını gösterir……..……42
Şekil 4.19 KY yıldızlarının metal bolluğu aralıklarına göre yaş dağılımları ……..42
Şekil 4.20 KY yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisi. ……..……..……...43
Şekil 4.21 KY yıldızlarının z_{max} aralıklarına göre yaş-metal bolluğu ilişkisi……..….44

TÜBİTAK

ÖZET

GALAKSİ DİSKİNİN KİMYASAL EVRİMİNİN APOGEE TARAMASINDAKİ KIRMIZI DEV YILDIZLAR İLE İNCELENMESİ

Bu projede, APOGEE kataloğundan seçilen kırmızı dev kolu yıldızlara kinematik ve Galaksi dinamiğine ait yöntemler kullanılarak yıldızların uzay hızları ve yörünge parametreleri belirlenmiştir. Yıldızların popülasyon ayırımı için kinematik ölçütlerden yararlanılmıştır. Yıldızların tayfsal, fotometrik ve astrometrik verilerine sınırlamalar getirilerek, Galaksi diski için dikey ve radyal doğrultularda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Yıldızların yaşları atmosfer model parametreleri PARSEC eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılıp, en uygun yaş eğrisi Bayesien istatistik yöntem ile seçilerek tayin edilmiştir. Galaksi diskinin kimyasal evrimi hakkında bilgi elde etmek için yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişki popülasyon analizi yapılarak araştırılmış ve metalce zengin yıldızlardan fakir yıldızlara doğu gidildikçe yıldız yaşlarının arttığı görülmüştür. Kırmızı dev kolu yıldızlarından elde edilen yaş-metal bolluğu ilişkisinin eğimi -0.021 ± 0.001 dex/Gyıl iken kırmızı yığın yıldızlarından hesaplanan eğim -0.028 ± 0.001 dex/Gyıl'dır.

Galaksi düzlemine dik ve radyal doğrultulardaki metal bolluğu gradiyentleri değerlendirildiğinde Galaksi düzlemine yakın uzaklıklarda, Galaksi diskinde, belirgin bir metal bolluğu gradyentinin gözlendiği, düzlemden uzaklaştıkça gradyentin düzleştiği tesbit edilmiştir. Bu sonuç, Galaksi diskinin oluşumunun *İkili Çökme Modeli* ile uyumlu olduğunu gösterir.

Anahtar Kelimeler: Galaksi: Disk – Kinematik ve Dinamik – Oluşum ve Evrim, Yıldız: Kırmızı Dev – Popülasyonlar

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CHEMICAL EVOLUTION OF THE GALAXY DISC VIA RED GIANT STARS IN APOGEE SURVEY

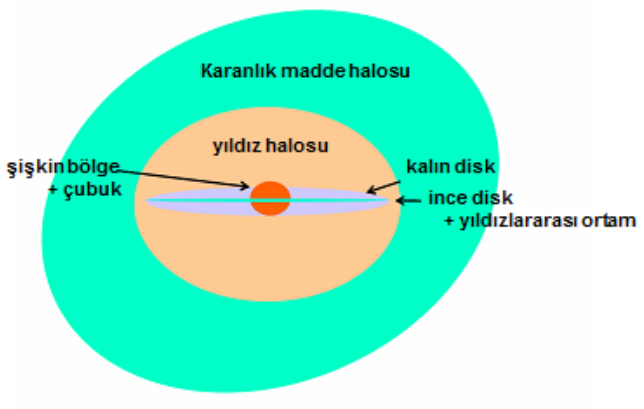
Using the kinematical and dynamical methods, space velocities and Galactic orbital parameters of the red giant branch stars that were selected from the APOGEE catalogue were calculated in this project. Population types of the stars were determined via the kinematical criteria. By setting limits to the photometric, spectroscopic and astrometric data of the stars, metallicity gradients of the Galactic disc were calculated in the vertical and radial directions. Ages of the stars were estimated by the best isochrone based on the Bayesian statistics method by comparing the atmospheric model parameters of the stars with PARSEC isochrones. The age-metallicity relation was investigated to learn chemical evolution of the Galactic disc via population analysis and it found that the age of the stars were increasing from metal-rich to metal-poor. While the age-metallicity relation slope derived from red giant branch stars is -0.021±0.001 dex/Gyr, the slope derived from red clump stars is -0.028±0.001 dex/Gyr.

When metallicity gradients in the radial directions and vertical to the galactic plane were evaluated, it was found while there was metallicity gradient in nearby distances to the Galaxy plane, metallicity gradient was smooth away from the plane. This result indicates that it is compatible with the *two infall model* of the Galactic formation.

Key words: Galaxy: Disc – Kinematics and Dynamics – Formation and Evolution, Star: Red Giant – Population

1. GİRİŞ

Işık ile hava kirliliğinin ve Ay'ın olmadığı açık bir gecede, gökyüzünde gördüğümüz puslu şerit Güneş'in de içinde bulunduğu birkaç yüz milyon yıldızı içeren Galaksimizin diskidir. Galaksimiz, bu puslu şeritten çok daha fazla öğe içeren bir sistemdir**.** Genellikle, Galaksimizin bileşenleri olarak disk ve halo verilebilir. Ancak, ayrıntıya gidildiğinde bileşen sayısı artar. Bu durumda, Galaksimizin bileşenleri olarak Şişkin Bölge, Çubuk, İnce Disk, Kalın Disk, Yıldız Halosu, Karanlık Madde Halosu ve Yıldızlararası Ortamdan bahsedilebilir (Şekil 1.1). Hatta spiral kolları ve yıldızlar halkasını da sayabiliriz. Bu bileşenleri oluşturan nesnelerin uzay dağılımları, kimyasal yapıları, kinematik ve dinamik özellikleri birbirinden farklıdır.



Şekil 1.1 Galaksimizin bileşenlerinin şematik gösterimi.

Bir galaksinin en önemli bileşeni, görünen maddenin büyük kısmının toplandığı galaksi diskidir. Bu nedenle, bir galaksi diskinin nasıl oluştuğunun anlaşılması aslında galaksi oluşum teorilerinin en önemli hedefidir. Galaksi diskinin geçmişini sorgulamak için kullanılan yöntemlerden ilki yıldızların kinematiğine dayalı olup diskin ısınma geçmişine ait ipuçlarını verir. İkincisi ise yıldızların kimyasal yapılarının bilinmesini gerektirir. Özellikle, Galaksimizin diski 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 zamanı 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 Galaksimizin diski boyunca metal bolluğu gradyentleri farklı türden yıldızların kullanılmasıyla hesaplanmıştır.

Samanyolu Galaksisi'nin oluşumu ve evrimi farklı yıldız popülasyonlarının yörüngelerini etkilemiştir. Karanlık madde halosundan baryonik maddeye dönüşen ilkel Galaktik bulutun çökmesiyle, Samanyolu Galaksisi'nin en yaşlı bileşenleri olan halo ve şişkin bölge oluşmuştur.

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, dış kaynaklı gaz akışlarıyla da beslenen geniş çaplı bir gaz çöküşü sonucunda yeni yıldız oluşum patlaması gerçekleşmiştir. Galaksi düzlemine yığışmış çok sayıda yıldız ve yıldızlararası gaz, Galaksi merkezi etrafında çember 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 maddelerin neden olduğu çekimsel tedirginliklerden etkilenir.

Galaksimizin oluşumu ve evrimi gözlemlerle desteklenerek ilk kez Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (1962, ELS) tarafından modellenmiştir. Araştırmacılar, Güneş civarında bulunan anakol yıldızlarının metal bollukları ve yörünge basıklıkları arasında bir ilişki olduğunu tesbit ederek Galaksimizin çok büyük bir gaz bulutunun içe doğru çökmesiyle oluştuğunu ve çöktükçe metal bakımından zenginleştiğini, bu sürecin de 10^8 yılın birkaç katı zamanda oluştuğunu öne sürmüşlerdir. *Yekpare çöküş* olarak bilinen bu model, Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evriminin araştırılmasında yıldızların dinamik, kinematik ve kimyasal özelliklerinin çok önemli bir yer tuttuğunu göstermiştir. ELS modelinde Galaksimizin çok hızlı bir sürede oluşmasını sorgulayan Searle ve Zinn (1978, SZ) haloda bulunan bazı küresel kümeleri inceleyerek metal bolluklarının ve yaşlarının büyük farklılık gösterdiğini tespit etmiş ve ELS'nin (1962) modelini kullanarak gözlenen kimyasal bolluk ve yaş dağılımlarının hızlı serbest düşme evresinde üretilemeyeceği sonucuna vararak Galaksimizin tek bir bulutun çöküşü yerine daha uzun bir sürede (~1 Gyıl) çok sayıda küçük ilkel galaksi parçalarının üst üste hiyerarşik olarak yığılıp birikmesiyle oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Galaksimizin oluşumunu açıklamaya çalışan bu iki model Galaksimizde gözlenen olayları açıklamaya yetmemektedir. Chiappini, Matteucci ve Gratton (1997) tarafından önerilen *İkili Çökme Modeli* ise günümüzde gözlenmiş birçok özellikle örtüşen en geçerli model olarak değerlendirilmektedir. Bu modelde Galaksimizin biri hızlı, diğeri yavaş ve hala devam eden iki ana çökme dönemi geçirdiği varsayılır. İlk çökme döneminde halo, şişkin bölge gibi küresel bileşenler ve kalın diskin büyük bir kısmı oluşurken, daha yavaş süren ve hala devam eden ikinci çökme sırasında ise ince disk şekillenir. Modelde

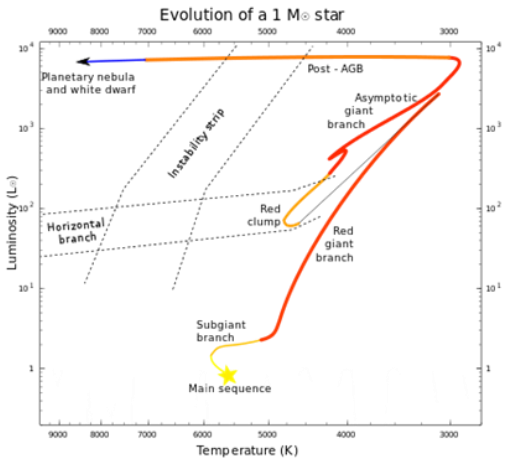
ilk çökme dönemi 0.8 ile 1 Gyıl'da ilkel Galaktik bulutun yekpare çökmesiyle gerçekleşir. Halo ve şişkin bölgenin oluşmasının ardından yavaş süren (8 Gyıl) ikinci çökme dönemi başlar ve ince diskin oluşumu tetiklenir. Her ne kadar *İkili Çökme Modeli* Galaktik bileşenlerin oluşumuna dair birçok gözlemsel bulguyla örtüşen bir model olsa da kalın disk bileşeninin nasıl oluştuğunu tam olarak açıklayamamaktadır. Kalın diskin oluşumuna yönelik senaryolar Galaksi astrofiziğinde önemli bir tartışma konusudur.

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

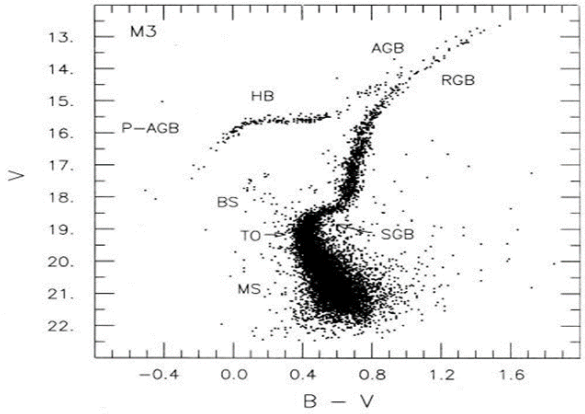
Galaksideki metal bolluğu dağılımı bir doğrultu boyunca hesaplandığında bu doğrultudaki metal bolluğu gradyenti elde edilmiş olur. Belli bir referans noktasından itibaren artan uzaklıkla metal bolluğunun değişmesi metal bolluğu gradyentinin varlığını gösterir. Tanımlanmış çeşitli uzaklıklar kullanılarak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

Galaksimizin kimyasal evriminin incelenmesinde en uygun nesneler farklı tayf türü ve ışıma gücünden yıldızlardır. Evrimleşmiş kırmızı yıldızlar, Hertzsprung–Russell (HR) diyagramında anakoldan sonra görülen en belirgin yapıdır. Galaksi ve Galaksi-dışı yıldız popülasyonlarının evrimini anlamamızda önemli nesnelerdir. Evrimleşmiş kırmızı yıldızlar, tek-kabuk yanan kırmızı dev kolu (KDK) yıldızları, çekirdeklerinde helyum yakan kırmızı yığın (KY) yıldızları ve çift-kabuk yanan asimptotik dev kolu (ADK) yıldızları olarak ayrılabilir. Anakol yıldızlarının evrim aşamasında çekirdekte üç-α reaksiyonlarının başlamasıyla evrimleşen yıldızın HR diyagramı üzerinde *alt dev* koluyla *helyum parlama* bölgesinde izlediği yol KDK olarak bilinir. KDK'daki yıldızlar G ile M tayf türündendir. Şekil 1.2'de Güneş kütlesindeki bir anakol yıldızının çekirdeğindeki hidrojeni tüketmesinin ardından, KDK üzerinde izlediği yol temsili olarak gösterilmiştir. Şekil 1.3'te ise KDK yıldızlarının gözlemsel evrim yolları gösterilmiştir. Projede,

Galaksi diskinin kimyasal evriminin araştırılması için SDSS-IV DR13 APOGEE veri tabanından seçilen KDK yıldızları kullanılmıştır.



Şekil 1.2 Güneş kütlesindeki bir yıldızın evrim aşamasında HR diyagramı üzerinde izleyeceği yolun şematik gösterimi.



Şekil 1.3 M3 küresel kümesinin renk-parlaklık diyagramı.

KDK yıldızlarının belirlenmesinde yıldız evrim modelleri kullanılır. Bu modeller farklı kütle, ağır element bolluğu ve yaştaki yıldızlar için üretildiğinden, HR diyagramı üzerindeki KDK duyarlı bir şekilde oluşturulabilir. Projede, KDK yıldızlarının alt ve üst sınırlarına karşılık gelen astrofizik parametreler (T_{eff}, log g, [Fe/H]) geniş bir kütle ve ağır element bolluğu aralığındaki güncel evrim yollarını içeren Bressan vd.'nin (2012) PARSEC modeli kullanılarak daha duyarlı seçilmiştir. Evrimleşmiş yıldızlar, duyarlı atmosfer model parametrelerinin belirlenmesi sonucunda iyi bir uzaklık göstergesi olarak kullanılabilir. Şekil 1.2'deki HR diyagramından da görüleceği gibi, kırmızı dev yıldızların ışıma güçleri anakol yıldızlarına göre yaklaşık 10^3 kat daha fazla olabilir. Bu da sınırlı görünen parlaklık aralığında gökyüzünü sistematik bir şekilde inceleyen tarama programlarındaki en uzak yıldızların kırmızı dev olacağını gösterir. APOGEE gibi yüksek çözünürlüklü tayfların alındığı tarama programlarında, yıldızların atmosfer model parametrelerinin duyarlı olacağı dikkate alınırsa, Galaksi diksinin incelenmesinde iyi bir uzaklık göstergesi de olan kırmızı dev yıldızların kullanılmasının uygun olduğu anlaşılır.

20. yüzyılın son çeyreğinde sayısal dedektör teknolojisinin gelişmesiyle artan gökyüzü taramaları sayesinde, geniş gökyüzü alanları, sistematik şekilde sığ ve derin parlaklıklara ulaşılarak gözlenmeye başlamıştır. Taramalar fotometrik gözlemlerle başlamış, kısa süre sonra bunlara tayfsal tarama gözlemleri de eklenmiştir. Bu sistematik programların en önemlilerinden biri olan SDSS, gökyüzünü kuzey Galaktik kutuptan Galaktik ekvatora doğru adım adım taramaya 2000 yılında başlamıştır (York vd., 2000).

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

Programın başlangıç hedefinde, gökyüzünün 10000 derece karelik bir bölgesinde Galaktik yapı ve Galaksi-dışı nesnelerin incelenmesi sayesinde yakın ve uzak evren anlayışımızın geliştirilmesi bulunmaktaydı (York vd., 2000). SDSS taraması sonucunda elde edilen fotometrik ve tayfsal verilerin analizlerinden elde edilen bulgular sayesinde astronomi ve astrofizik açısından önemli sonuçlara ulaşılması, bu konuda çalışan araştırmacıların SDSS taramasının yeni kuşak araştırmalara ışık tutabilmesi için, mevcut projede gözlenen gökyüzü parçaları daha güneysel yıldız alanlarını kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Ancak ilerleyen yıllarda bu hedefler çok aşılmış, üretilen bilginin etkisi büyük olduğundan, proje kabuk değiştirerek taramalar Galaksinin daha güneyindeki kaynakları da içerecek şekilde genişletilmiştir. Fotometrik gözlemleri farklı dönemlerde tayfsal gözlemler takip etmiştir. SDSS gözlemleri sırasında çok sayıda fiberin bir arada kullanılması sayesinde aynı anda 640 nesnenin düşük çözünürlüklü ($R \sim 2000$) tayfları, $S/N \sim 25$'lik ortalama sinyal/gürültü oranı ile alınmıştır.

SDSS gökyüzü taramasında, asteroidlerden Evren'in büyük ölçekli yapısına kadar uzanan geniş kapsamlı bir Evren haritasının yapıldığı *Legacy* taraması bulunmaktadır. Ayrıca öte-gezegenler, süpernovalar, değişken cisimler, X-ışın kaynakları, diğer galaksiler ve Evren'in büyük ölçekli yapısının incelendiği alt tarama programları da yapılmıştır. BOSS (**B**aryon **O**scillation **S**pectroscopic **S**urvey), SEGUE (1-2) (**S**loan **E**xtension for **G**alactic **U**nderstanding and **E**xploration 1-2), APOGEE (**A**pache **P**oint **O**bservatory **G**alaxy **E**volution **E**xperiment), MARVELS (**M**ulti-object **A**PO **R**adial **V**elocity **E**xoplanet **L**arge-area **S**urvey), MARVELS (The

Multi-Object **A**PO **R**adial **V**elocity **E**xoplanet **L**arge-area **S**urvey) ve MANGA (**MA**pping **N**earby **G**alaxies at **A**PO). Çalışmamızda, Kuzey yarıküre verilerinin yer aldığı APOGEE taramasına ait veriler kullanılmıştır.

Apache Point Gözlemevi Galaktik Evrim Deneyi olarak bilinen APOGEE, yüksek çözünürlüklü, elektromanyetik tayfın yakın kızılötesi bölgesinde ($1.51 < \lambda(\mu m) < 1.70$) tayf gözlemlerinin yapıldığı, Galaksimizin yapısının ve evriminin araştırılmasına adanmış bir gökyüzü tarama programıdır (Majewski vd., 2015). Yüksek çözünürlüklü ($R \sim 22500$) ve yüksek sinyal/gürültü ($S/N>100$) oranlı kızılötesi APOGEE tayfları, Galaksimizin diski ve şişkin bölgesindeki yıldızlararası ortamda bulunan gaz ve tozun kızarma ve sönümlemesinden etkilenmez. APOGEE taramasında Galaksimizin şişkin bölge, çubuk, disk ve halosunda bulunan yaklaşık 100000 kırmızı dev yıldıza ait hassas radyal hız, atmosfer model parametreleri (T_{eff}, log g, [Fe/H] ve [α/Fe]) belirlenmiş ve yıldız tayfı üzerinde 23 elemente (C, CI, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, TiII, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ge ve Rb) ait bolluk analizi yapılmıştır. Bu elementlerin seçilmesinin nedeni, farklı Galaktik popülasyonlarda bulunan hedef yıldızların oluşumlarının, yani Galaksimizin kimyasal bakımdan evriminin anlaşılmasının hedeflenmiş olmasıdır.

SDSS-IV DR13 veri tabanı içinde yaklaşık 163000 yıldızın APOGEE programı kapsamında yapılmış kızılötesi tayfsal gözlemleri bulunmaktadır. APOGEE hedef yıldızları Galaksinin disk, şişkin bölge ve halosunda yer almakla birlikte, Kepler/CoRoT, halo akıntıları, Sagittarius akıntısı, yıldız kümeleri ve parlak standart yıldızların bulunduğu Galaksimizin bazı özel bölgeleri de bu program kapsamındadır. APOGEE veri tabanında yaklaşık 163000 yıldızının göksel ekvatoral koordinatları (α, δ), Galaktik koordinatları (l, b), radyal hızları (γ),atmosfer model parametreleri (T_{eff}, log g, [Fe/H]), yakın kızılötesi J, H ve K_s parlaklıkları (2MASS; Skrutskie vd., 2006), 23 elemente ait bolluk ölçümleri, PPMXL (Roeser vd., 2010) kataloğundan derlenmiş öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ) başta olmak üzere 197 sütun bilimsel ve teknik veri bulunmaktadır. APOGEE tayflarından ölçülen radyal hızların hassasiyeti 0.5 km/sn'den daha iyidir. Böylelikle yıldız yörüngeleri üzerindeki spiral kollar ve Galaktik çubuğun pertürbasyonu ayırt edilebilecektir. Her ne kadar SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğunda öz hareket bileşenlerine ait veriler olsa da, Roeser vd. (2010) tarafından yayınlanmış PPMXL kataloğunda nesnelerin tamamına ait öz hareket verileri bulunduğundan, ve bir takım yanlılıklar fark edildiğinden, bu parametrelere düzeltmeler uygulanarak katalog güncellenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Galaksi diskinin geçmişine dair ipuçları, yapısındaki nesnelerin *kinematik* ve *kimyasal* özelliklerinin incelenmesiyle ortaya çıkar. Disk yıldızlarının kinematik özelliklerinin incelenmesi diskin geçirdiği ısınma süreçleri hakkında bilgiler verirken, farklı mekanizmalarla oluştuğu bilinen elementlere ait kimyasal bolluk oranlarının analizi de diskteki yıldız oluşum geçmişine ışık tutar. Bu araştırmalara yıldızların yaş bulgusu da katıldığında Galaksinin oluşum ve evrimi teorilerine sınırlamalar getirilmesi ve yeni nesil modellerin geliştirilmesi mümkün olur. Yani, yıldızların kimyası ve kinematik özellikleri arasındaki ilişkiler, nükleosentez ve dinamik evrimin birlikte nasıl değiştiklerinin göstergeleridir (Kordopatis vd. 2015).

Kırmızı dev yıldızlar, gözlemsel renk-parlaklık diyagramının parlak ve kırmızı tarafında bulunan geniş konvektif zarflara sahip nesnelerdir. Kırmızı dev yıldızların üç ana sınıfı (kırmızı dev kolu, kırmızı yığın ve asimptotik dev kolu yıldızları), yaşlı ve orta-yaş yıldız popülasyonlarının fotometrik gözlemlerinden elde edilen, uzaklık (Pulone, 1992; Lee vd., 1993), metal bollukları (Sarajedini, 1994) ve yıldız oluşumu (Girardi ve Salaris, 2001; Salaris ve Girardi, 2002; Maness vd., 2007) hakkında bilgiler sağlarlar.

SDSS'in önemli bir alt çalışma programı olan APOGEE'de elde edilen tayf verilerinin analizleri ilk kez SDSS'in DR10-12 veri sürümlerinde yayınlanmıştır (Alam vd., 2015). Ayrıca tayf verilerinin indirgemelerinde bazı önemli gelişmeler dikkate alınarak, tüm yıldızların tayfları yeni yönteme göre yeniden indirgenmiştir (Garcia-Perez vd., 2016). İndirgemede kullanılan yöntem, yüksek çözünürlüklü APOGEE verilerinin geniş bir sentetik tayf kütüphanesinde yer alan veriler ile karşılaştırılmasına dayanır. APOGEE yıldız model parametreleri ve kimyasal bolluk hesaplama algoritması (ASPCAP), yıldızların astrofizik parametrelerini ve bolluklarını iki adımda hesaplar: ilk adımda tüm APOGEE tayflarının fitleriyle atmosfer model parametreleri belirlenirken, ikinci adımda bu parametreler kullanılarak bilinen α-element bolluklarını hesaplayabilmek için, α-elementlerinin tayf üzerinde baskın olduğu bölgelere sınırlamalar getirilerek duyarlı fitler yapılır. Bu yolla α-elementlerinin bollukları tayin edilir (Garcia-Perez vd., 2016).

Bovy vd. (2012) APOGEE'nin ilk veri sürümlerini kullanarak Galaksi diskinin rotasyon eğrisini elde etmişler ve karanlık maddenin yoğunluğunu hesaplamışlardır. Anders vd. (2014) SDSS DR10 verileriyle birlikte yayımlanan APOGEE tayfsal verilerini kullanarak, Samanyolu Galaksisi'nin kemo-dinamik özelliklerini ortaya çıkartmıştır. Araştırmacılar, yaklaşık 20000 evrimleşmiş yıldızın Galaktik yörünge parametrelerini, yıldızların α-element ve metal

bolluklarıyla birlikte analiz ederek, metal bolluğu dağılımı ve gradyentleri incelemiştir. 1.5 < z < 3 kpc aralığında yer alan APOGEE yıldızlarının Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda pozitif bir metal bolluğu gradyenti olduğunu, α-element bolluk gradiyentlerinin ise negatif değerlerde bulunduğunu göstermişlerdir. Hayden vd. (2015), SDSS-III DR12 APOGEE verileri içinde yaklaşık 70000 kırmızı dev yıldızı seçerek, Galaksi diskinin iç ve dış kısımlarında bulunan yıldızların α-element ve metal bolluklarının farklı dağılımları olduğunu göstermiştir. Çalışmanın bulgularına göre, iç diskte bulunan evrimleşmiş yıldızlar düşük metal bolluğuna ve yüksek α-element bolluğuna sahipken, dış diskteki yıldızlar metalce zengin fakat α-elementleri bakımından fakirdir. Galaksi oluşum modellerine göre, Galaksi'nin iç ve dış kısımlarında görülen metal bolluğu farklılığı yıldızların radyal göçünden kaynaklanmaktadır. Ness vd. (2015), SDSS-III DR12 APOGEE verilerinden Galaksi'nin iç kısmında yer alan şişkin bölgenin kırmızı dev yıldızlardan itibaren kinematik bir haritasını çıkartarak, bölgenin sıcak bir bileşen olduğunu göstermişlerdir. Anders vd. (2016), SDSS-III DR12 APOGEE taramasından Galaktik düzleme yakın 418 kırmızı dev yıldızı kullanarak, radyal metal bolluğu gradyentinin Galaksinin oluşumundan beri geçirdiği değişimi analiz etmişlerdir. Genç yıldızların (τ < 4 Gyıl) radyal metal bolluğu gradyent değeri yaklaşık -0.07 dex/kpc iken, hemen hemen yaşlı yıldızlardan oluşan örnekten hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti -0.02 dex/kpc civarındadır. Bu bulgu, genç yıldızların yaşlı yıldızlara göre daha dik radyal metal bolluğu gradyentine sahip olduklarını ifade eder. Araştırmacılar radyal metal bolluğundaki bu değişimin, yıldızların Galaksi içinde diğer nesneler ile etkileşmesi sonucunda radyal göçe maruz kalmalarıyla meydana gelebileceğini söylemektedir.

Sellwood ve Binney (2002), kalın diskin Galaksimizdeki ince disk yıldızlarının çeşitli iç çekimsel tedirginlikleri sonucu radyal göç mekanizmasıyla oluştuğunu iddia eder. Bu modele göre, ince diskte bulunan yıldızlar spiral kollar ile aynı yönde dönen yörüngelere hapsolurlar. Ayrıca, spiral dalgalar boyunca açısal momentumlarını hemen hemen koruyarak iç ve dış yörüngelere doğru hareket ederler. Kregel vd. (2005), disk yıldızlarının Galaktik düzleme dik doğrultudaki uzay hız bileşenine ait dispersiyonun (σ_W) Galaksi diskinin yüzey parlaklığıyla ilişkili olduğunu öne sürerek, radyal göç mekanizmasıyla yıldızların iç yörüngelerden dış yörüngelere hareket etmelerini önermektedir. Bu durum Galaksi diskinin daha kalın görülmesine neden olur. Minchev vd. (2015), kalın diskin oluşumunda Galaktik çubuğun ve spiral kolların neden olduğu yörüngesel bozulma etkilerinin yıldızları radyal göçe zorladığını söyler.

Galaktik metal bolluğu gradyentlerinin araştırılmasında çeşitli türden nesneler kullanılır: HII bölgeleri, O-B tayf türünden yıldızlar, sefeitler, açık kümeler, gezegenimsi bulutsular, KDK

yıldızları, KY yıldızları ve orta tayf türünden F ve G yıldızları. Literatürde bu tür nesnelerin kullanıldığı çalışmalarda genellikle Galaktik diskteki radyal metal bolluğu gradyenti d[Fe/H]/dR_G = -0.10 dex/kpc civarında tesbit edilmiştir. Radyal metal bolluğu gradyentinin 10 kpc içinde doğrusal ve dik bir yapısı varken, bu uzaklığın ötesinde metal bolluğunun -0.3 ile -0.5 dex arasında bir değer civarında sabitleşerek çok daha düzleştiği belirlenmiştir.

Atmosferik model parametrelerine göre sınıflanan RAVE örneği içinden seçilmiş KY'leri inceleyen Bilir vd. (2012) ise, radyal ve dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini sırasıyla -0.041 ± 0.007 ve -0.260 ± 0.031 dex/kpc bulmuştur. Tüm tayf türlerinden yaklaşık 20000 anakol yıldızının RAVE DR4 verilerini inceleyen Boeche vd. (2013), yıldızların Galaktik yörünge parametrelerini hesaplamıştır: Galaksi merkezine göre perigalaktik (R_a) ve apogalaktik (R_b) uzaklıklar ile belirli bir zaman ölçeği içinde incelenen yıldızın Galaktik düzlemden ayrılabileceği maksimum dik uzaklık (Z_{max}). Yörünge parametrelerinden itibaren Galaktik diskten Z_{max} < 0.4 kpc yükseklikte, Galaktik merkeze 4.5 < R_g (kpc) < 9.5 uzaklık aralığı için metal bolluğu gradyentini d[Fe/H] /dR_g = -0.065 dex/kpc bulmuştur. Benzer çalışmayı dev yıldızları kullanarak yapan Boeche vd. (2014) ise, kaynakların mutlak parlaklıklarının yeterince parlak olmasından dolayı yıldızların bugünkü uzaysal konumlarını dikkate alarak, Galaktik düzlemden dik uzaklığı Z < 0.4 kpc olan evrimleşmiş yıldızlar için metal bolluğu gradyentini d[Fe/H]/dR = -0.054 dex/kpc bulmuştur.

Twarog (1980), Strömgren fotometrik gözlemlerinden itibaren hesapladığı Güneş civarındaki F tayf türü anakol yıldızlarının metal bolluklarıyla yaşları arasındaki ilişkiyi ilk kez ortaya koymuştur. Edvardsson vd. (1993), *Hipparcos* uydusu gözlemleri için seçilen F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerini analiz ederek belirledikleri metal bolluklarıyla yaşları arasında bir dağılım olduğu ve Twarog'un (1980) önerdiği ilişkinin olamayacağını vurgulamıştır. *Hipparcos* uydu verilerinin literatüre kazandırılmasıyla birlikte Ng ve Bertelli (1998), F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren yaş-metal bolluğu bağıntısının eğiminin -0.07 dex/Gyıl olduğunu göstermişlerdir. Chen vd. (2000), Olsen'in (1983, 1993) derlemiş olduğu yakın yıldızların Strömgren fotometrilerinden itibaren elde ettikleri metal bolluklarıyla yaşları arasında bir ilişki olmadığını söylemişlerdir. Feltzing vd. (2001), Strömgren fotometrisi ve *Hipparcos* astrometrik verilerini kullanarak yıldızları tayf türlerine göre beş gruba ayırmış ve yaş-metal bolluğu ilişkisini incelemişlerdir. Erken tayf türündeki yıldızların anakol ömürleri kısa olduğundan yaş-metal bolluğu bağıntısına ait belirgin bir eğimin bulunduğunu, geç tayf türüne doğru gidildikçe anakoldaki ömür süresinin uzamasından dolayı yaş-meal bolluğu ilişkisinin ortadan kalktığını ifade etmişlerdir. Geneva-Copenhagen gökyüzü taramasının ilk sonuçlarını paylaşan Nordström vd. (2004), Güneş

civarındaki yaklaşık 14000 anakol yıldızının element bolluklarını Strömgren fotometrisiyle hesaplamışlar, yaşları için de *Hipparcos* uydu verilerinden hesaplanan trigonometrik paralakslarını dikkate alarak mutlak parlaklıkları belirlemişlerdir. Bu duyarlı verilerden itibaren belirledikleri astrofizik parametreleri arasında yaş-metal bolluğu ilişkisinde bir saçılma olduğunu görmüşlerdir. Bunun nedeni olarak da veriler duyarlı olsa bile, yaş tayinindeki belirsizliklerin hassas sonuç elde edilmesine olanak vermediğini ifade etmişlerdir. İnce diskteki evrimleşmiş yıldızları kullanan Soubiran vd. (2008), zengin ve genç KY yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisi gösterdiği fakat 5 Gyıl'dan sonra artan yaş ile metal bolluğu arasında bir ilişki bulunmadığını ifade etmişlerdir. RAVE verilerinden F-G türü anakol yıldızlarını seçip kinematik ve yaşlarını hesaplayarak duyarlı bir örnek oluşturan Duran vd. (2013), Feltzing vd.'nin (2001) yöntemini uygulayarak erken tayf türündeki anakol yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisinin güçlü, geç tayf türüne doğru gidildikçe bu ilişkinin ortadan kalktığını göstermişlerdir. Haywood vd. (2013), Güneş civarında yüksek tayfsal çözünürlüklü (R~110000) ve yüksek S/N oranına sahip F-G tayf türündeki 1111 anakol yıldızını inceleyerek Galaksi diskinde yaş-metal bolluğu ilişkisini araştırmıştır. İncelemelerinde Galaksi diski için belirgin bir yaş-metal bolluğu ilişkisi bulamamışlardır. Bergemann vd. (2014), Gaia-ESO taraması çerçevesinde güney gökyüzünde yer alan 144 disk yıldızının yüksek çözünürlüklü tayflarını analiz ederek Güneş civarı için bir yaş-metal bolluğu ilişkisi elde etmişlerdir. Bu çalışmada 0 ile 8 Gyıl aralığındaki yıldızlar için yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişkinin düz olduğu görülürken, 8 Gyıl'dan daha yaşlı yıldızlarda belli bir gradyent bulunmuş fakat verilerin saçılmalarından dolayı istatistiksel açıdan bir değer verilmemiştir. Literatürdeki en güncel yaş-metal bolluğu çalışması Lin vd.'nin (2018) Güneş civarındaki yaklaşık 4000 yıldızın Gaia DR1 TGAS (Michalik vd., 2015) kataloğundan ölçülen paralakslarına dayalıdır. Yaş-metal bolluğu bağıntısında yaşı 10 Gyıl'dan küçük yıldızlar için bulunan gradyent -0.032 dex/Gyıl'dır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 SDSS-IV DR13 APOGEE Veri Seti

SDSS gökyüzü tarama programı birkaç alt programdan meydana gelmektedir. Galaktik Anlayış ve Keşif için Sloan Uzantısı (SEGUE; **S**loan **E**xtension for **G**alactic **U**nderstanding and **E**xploration; Yanny vd., 2009), çoğunluğu yüksek Galaktik enlemlerdeki çok sayıda yıldızın tayflarını elde etmek için SDSS tayfçekerini kullanmıştır. Baryon Osilasyon Spektroskopik Tarama'sında (BOSS; **B**aryon **O**scillation **S**pectroscopic **S**urvey; Dawson vd., 2013), galaksi ve kuazarların tayflarını elde etmek için 14,555 derece kare görüntüleme yapan ve fiber sayısı arttırılmış bir tayfçeker kullanılmıştır. Çoklu-Nesne APO Dikine Hız Ötegezegen Geniş-alan Taraması'nda (MARVELS; **M**ulti-object **A**PO **R**adial **V**elocity **E**xoplanet **L**arge-area **S**urvey; Ge vd., 2008), gezegen ve kahverengi cüce araştırmalarında yüksek hassasiyetli dikine hız ölçümleri için 60 fiberli bir tayfçeker kullanılmıştır. Son olarak, Apache Point Gözlemevi Galaktik Evrim Deneyi'nde (APOGEE; **A**pache **P**oint **O**bservatory **G**alactic **E**volution **E**xperiment; Allende Prieto vd., 2008), radyal hız ve element bolluklarının belirlenmesi için yüksek çözünürlükte (R ~ 22,500) H < 13.8 kadirden parlak nesneleri gözlemek için 300 fiberli bir tayfçeker kullanılmıştır.

SDSS DR13 veri sürümüne (Albareti vd., 2017) kadar geçen 10 yılı aşkın sürede gözlemler, Apache Point Gözlemevi'ndeki 2.5-metre Sloan teleskobu (Gunn ve diğ., 2006) kullanılarak yapılmıştır. Tüm veri salımınları bir öncekine göre artmakta ve en iyi indirgeme yöntemleri kullanılarak hizmete sunulmaktadır. APOGEE kataloğunda yaklaşık 163,000 yıldız bulunmaktadır. Bu yıldızların çoğunluğu Samanyolu Galaksisi'nin disk bölgesindeki dev yıldızları temsil etmektedir. Halo, şişkin bölge yıldızları ve ayrıca yıldız kümeleri de gözlenmiştir. Tellürik düzeltme için yaklaşık 17000 sıcak yıldız kullanılmıştır. Temel veri indirgeme aşamaları Nidever vd. (2015) tarafından tanımlanmıştır. Atmosfer model parametreleri ve kimyasal bollukları, García Pérez vd. (2016) tarafından ASPCAP (**A**POGEE **S**tellar **P**arameters and **C**hemical **A**bundances **P**ipeline) ile APOGEE tayfları indirgenerek belirlenmiştir. Katalogda kızılötesi 2MASS görünen parlaklıklarının (J, H, K_s) yanı sıra radyal hızlar (γ), atmosfer parametreleri (T_{eff}, log g) ve 23 türde element bollukları (C, Cl, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, TiII, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ge ve Rb) bulunmaktadır. Ayrıca her yıldıza ait ekvatoral koordinatlar (α, δ), Galaktik koordinatlar (l, b) ve öz hareket verileri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ) de bulunmaktadır.

APOGEE'nin bu veri sürümünde birçok düzenleme yapılmıştır. Atmosferik salınım ve su buharının neden olduğu tayf çizgilerine ait düzeltmeler yapılmıştır. Özellikle sıcak ve *S*/*N* oranı düşük yıldızlar için radyal hız düzeltmesi yapılmıştır. Gözlemlerden kaynaklanan hatalar iyileştirilmiş, ayrıca yüzey çekim ivmesi (log *g*) ile ilgili sorunlar düzenlenmiştir.

3.2 Yıldızların Seçilmesi

Yıldız alanlarındaki KDK yıldızlarının belirlenmesinde yıldız evrim modelleri kullanılır. Bu modeller farklı kütle, ağır element bolluğu ve yaştaki yıldızlar için üretildiğinden, HR diyagramı üzerindeki KDK duyarlı bir şekilde oluşturulabilir. Pols vd.'nin (1998) yıldız evrim modellerine göre, Güneş bolluğundaki üç farklı kütlede bulunan yıldızlar için KDK'nin sıcaklık, yarıçap ve ışıma gücü değerlerinin alt ve üst sınırları ile KDK'da kalma süreleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Projede kullanılan evrimleşmiş kırmızı yıldızlardan KDK'ların seçimi SDSS-IV DR13 APOGEE DR13 (Albareti vd., 2017) kataloğundaki verilere sınırlandırmalar getirilerek yapılmıştır. Geniş bir kütle ve ağır element bolluğu aralığındaki güncel evrim yollarını içeren Bressan vd'nin (2012) PARSEC modeli kullanılarak, KDK'nin alt ve üst sınırlarına karşılık gelen atmosfer model parametrelerine $3500 < T_{eff}$ (K) < 6500 ve $0.5 <$log g (cm/sn^2) < 3.5 (Hayden vd., 2015) sınırlandırmaları getirilerek KDK örneği seçilmiştir.

Tablo 3.1 Kırmızı dev kolunun yıldız kütlesine göre astrofizik parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri.

		KDK alt sınır			KDK üst sınır		
$M/M_\odot$	KDK (Myıl)	T_{eff} (K)	$R/R_\odot$	$L/L_\odot$	T_{eff} (K)	$R/R_\odot$	$L/L_\odot$
0.6	2500	4634	1.2	0.6	2925	207	2809
1.0	760	5034	2.0	2.2	3140	179	2802
5.0	0.3	4737	43.8	866	4034	115	3118

3.3 Yıldızların Kızarma ve Uzaklıklarının Hesabı

Projemizde kullanılacak yıldızların uzay hızlarının hesaplanabilmesi için uzaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Uzaklıkların hesabında görünen parlaklıkların yıldızlararası kızarmadan arındırılması gerekir, çünkü bir yıldızın ışığı gözlemciye ulaşıncaya kadar geçtiği her ortamda toz ve gazın etkisiyle sönümlenir. Gaz ve tozun etkisi, Galaksimizin düşük enlemlerinde (*b*) daha fazla olmasına karşın, yüksek Galaktik enlemlere çıktıkça bu etki azalır. SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğundaki KDK örneği çoğunlukla disk ve şişkin bölgedeki yıldızları içerdiğinden kızarmaların duyarlı olarak elde edilmesi büyük önem taşır. Projemizde,

Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) Galaksimizin tüm doğrultuları için verdikleri kızarma haritalarından faydalanılmıştır. KDK yıldızlarının kızarma değerleri, bir *Python* kütüphanesi olan *astroquery*[1] kullanılarak yıldızlara ait ekvatoral koordinatların ilgili programa yüklenerek NASA/IPAC Infrared Science Archive'den[2] alınmıştır. Arşivden alınan kızarma değerleri APOGEE kataloğuna eklenmiştir.

KDK yıldızlarının uzaklıklarının hesaplanmasında gerekli olan diğer bir parametre mutlak parlaklıklardır. Bu çalışmamızda uzaklıkların hesaplanmasında K_s görünen parlaklığı kullanılmıştır. KDK yıldızların mutlak parlaklıkları M_{Ks}, Ruchti'nin (2010) çalışmasında verdiği tayfsal paralaks yöntemi kullanılarak (3.1) bağıntısında gösterildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$M_{Ks} = -2.5\left(\log\frac{M}{M_\odot} + 4\log\frac{T_{eff}}{T_\odot} - \log\frac{g}{g_\odot}\right) + M_{bol,\odot} + BC_{K_s} \quad (3.1)$$

Burada, bolometrik düzeltme (BC; Bolometric Correction) değeri Buzzoni vd.'nin (2010) çalışmasında *K* bandı parlaklıkları için sundukları

$$BC_K = -6.75\left(\frac{T_{eff}}{9500}\right) \quad (3.2)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Yıldızların kütleleri (*M*), PARSEC[3] 7 Gyıl eş-yaş eğrilerinin [Fe/H] = 0.25 dex'lik adımları kullanılarak hesaplanmıştır. KDK yıldızlarının kütlelerinin hesaplanmasında kullanılan bağıntı (3.3)'te, katsayılar Tablo 3.2'de verilmiştir:

$$M = a(\log g)^4 + b(\log g)^3 + c(\log g)^2 + d(\log g) + e \quad (3.3)$$

KDK yıldızlarının uzaklıklarının hesaplanmasında, her yıldızın kızarma değerinin arşivden alınan değere sahip olduğu varsayımı ile Pogson bağıntısı kullanılarak ilk uzaklık (d_1) değeri (3.4) bağıntısı ile hesaplanmıştır. Bahcall ve Soneira'nın (1980) renk-artığı indirgemesi için verdiği ifade ile ilk indirgenmiş renk artığı olan $E_d(B\text{-}V)_1$ değeri elde edilmiştir (3.5 bağıntısı).

$$d_1 = 10^{\frac{K_S - M_{K_S} + 5}{5}} \quad (3.4)$$

[1] http://astroquery.readthedocs.io/en/latest/irsa/irsa.html
[2] http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/
[3] http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd

$$E_d(B-V)_1 = E_\infty(B-V)\left(1 - e^{\frac{-|d_1 \sin b|}{h_z}}\right) \quad (3.5)$$

Burada $E_\infty(B\text{-}V)$, Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) yıldız doğrultusunda hesapladıkları renk artığı, b, yıldızın Galaktik enlemi ve h_Z, yıldızlararası tozun yükseklik ölçeğidir ve 125 pc olarak alınmıştır (Marshall vd. 2006). Böylece, uzaklık indirgemesi yapılan $E_d(B\text{-}V)_1$ renk artığı ile yakın kızılötesi bölgedeki K_s görünür parlaklığı yıldızlararası kızarma ve sönükleştirmenin etkilerinden arındırılarak bir ilk $K_{s0,1}$ görünür parlaklığı Fiorucci ve Munari'nin (2003) sönümleme düzeltmesi katsayılarını kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

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

Sonra $K_{s0,1}$ görünür parlaklığı (3.4) bağıntısında kullanılarak ikinci bir uzaklık ve bu uzaklıktan indirgenmiş renk artığı hesaplanır ve kızarmadan arındırma işlemi tekrar edilerek döngü yeniden başlatılır. Bu işlem, yıldızın uzaklığı değişmeyene kadar devam eder. Projemizde yıldız uzaklıkları üçüncü iterasyonda sabitlenmiştir.

Tablo 3.2 PARSEC eş-yaş eğrileri ile elde edilen kütle modeli katsayıları.

Metal Bolluğu (dex)	***a***	***b***	***c***	***d***	***e***	***σ***	***R²***
[Fe/H] ≤ -2.00	-0.0025	0.0229	-0.0850	0.1544	0.8175	0.0003	0.9992
-2.00 < [Fe/H] ≤ -1.75	-0.0029	0.0255	-0.0910	0.1589	0.8172	0.0003	0.9992
-1.75 < [Fe/H] ≤ -1.50	-0.0032	0.0281	-0.0972	0.1631	0.8220	0.0003	0.9993
-1.50 < [Fe/H] ≤ -1.25	-0.0033	0.0284	-0.0967	0.1594	0.8319	0.0003	0.9995
-1.25 < [Fe/H] ≤ -1.0	-0.0034	0.0285	-0.0954	0.1540	0.8476	0.0002	0.9997
-1.0 < [Fe/H] ≤ -0.75	-0.0032	0.0270	-0.0905	0.1457	0.8706	0.0002	0.9998
-0.75 < [Fe/H] ≤ -0.50	-0.0031	0.0262	-0.0873	0.1390	0.9021	0.0002	0.9998
-0.50 < [Fe/H] ≤ -0.25	-0.0030	0.0249	-0.0822	0.1295	0.9462	0.0002	0.9998
-0.50 < [Fe/H] ≤ -0.25	-0.0026	0.0217	-0.0708	0.1107	1.0077	0.0002	0.9997
-0.25 < [Fe/H] ≤ 0.0	-0.0025	0.0195	-0.0613	0.0927	1.0775	0.0003	0.9996
0.00 < [Fe/H] ≤ 0.25	-0.0021	0.0164	-0.0509	0.0761	1.1318	0.0003	0.9995
0.25 < [Fe/H] ≤ 0.50	-0.0020	0.0145	-0.0438	0.0644	1.1576	0.0003	0.9994

Yıldızların uzaklıkları hesaplandıktan sonra Güneş ve Galaksi merkezli uzaklıkları da hesaplanmıştır. KDK yıldızlarının Güneş merkezli uzaklıkları Güneş civarında nasıl bir dağılıma sahip olduklarının bilinmesi açısından gereklidir. Özellikle yıldızların (X,Y) ve (X,Z) izdüşüm uzaklık diyagramları, KY yıldızlarının Galaktik çeyreklere nasıl dağıldıklarının

bilinmesini sağlar; zira Galaktik çeyrekler uzay hızı bileşenleri ve hız dispersiyonlarının analizleri açısından da önemlidir.

Güneş merkezli koordinat sisteminin merkezinde Güneş bulunur. Koordinatlar birbirine dik olacak şekilde tanımlanan üç boyuttan oluşur. *X*, *Y* ve *Z* koordinatları uzaklık ve Galaktik koordinatların fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

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

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

Uzaklık parametresinin birimine bağlı olarak koordinatların birimi de değişir. Projemizde bunlar kiloparsek (kpc) birimi cinsinden ifade edilmiştir. Yıldızların Güneş'ten uzaklıkları ve Galaktik koordinatları bilindiği için, Galaksimizin merkezinden uzaklıkları (R_{gc}) da aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$x = (R_0^2 + d^2 \cos^2 b - 2\, R_0\, d \cos l \cos b)^{1/2} \tag{3.10}$$

$$R_{gc} = (x^2 + Z^2)^{1/2} \tag{3.11}$$

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

3.4 Yıldızların Uzay Hızlarının Hesabı

SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğunda KDK yıldızlarının radyal hızları (γ) ve ekvatoral koordinatları (α, δ) bulunmaktadır. Uzay hızlarının hesaplanması için gerekli diğer bir parametre olan öz hareket verileri ($\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ), Roeser vd.'nin (2010) yayınladıkları PPMXL kataloğundan her yıldızın ekvatoral koordinatları aracılığı ile Vizier[4] sunucusundan alınarak veriye eklenmiştir. Ayrıca, Vickers vd.'nin (2016) geliştirdiği bir Python modülünü kullanarak PPMXL öz hareket kataloğundaki hatalara düzeltme faktörü uygulanmıştır. SDSS-IV DR13

[4] http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR

APOGEE kataloğunun yüksek *S/N* oranlarına sahip olmasından dolayı radyal hızlara herhangi bir sınırlandırma getirilmemiştir.

Yıldızların uzay hızlarının hesaplanmasında Johnson ve Soderblom (1987) tarafından verilen algoritma ve dönüşüm matrisleri kullanılmıştır. Yıldızların ekvatoral koordinatları, öz hareketleri, uzaklıkları ve radyal hızları bilindiği takdirde, *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenleri ile bu bileşenlerin hataları hesaplanabilir. *U*, *V* ve *W* hız bileşenleri sırasıyla, Galaksi merkezi (l = 0°, b = 0°), Galaksinin dönme (l = 90°, b = 0°) ve kuzey Galaktik Kutup (KGK; b = 90°) doğrultusunda ölçülür. Bu hesaplamalarda Güneş'in Galaksi etrafındaki dönüş hızı 220 km/sn olarak kabul edilmiştir. Uzay hızlarının hesaplanmasında Blaauw vd. (1960) tarafından tanımlanan Galaktik kordinat sisteminden yararlanılmıştır. Uzay hızlarının hesaplanmasında kullanılan KGK noktasının ekvatoral kordinatları Uluslararası Gök Referans Sistemi'ne (ICRS) göre α_{KGK} = 192°.85948, δ_{KGK} = 27°.12825 (J2000) dır.

KGK noktasının ekvatoral koordinatları ve l = 0° Galaktik boylamındaki ve KGK'tan geçen büyük daireye göre Kuzey Gök Kutbu'nun yeri olan θ_0 = 123° açısı alınarak ekvatoral koordinatların Galaktik koordinatlara dönüştürülmesinde matris çözümü yapılmıştır.

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

$$dU = \gamma \cos l - v_t \sin l \tag{3.12}$$

$$dV = \gamma \sin l - v_t \cos l \tag{3.13}$$

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

$$\gamma = A\, d \sin 2l \tag{3.14}$$

$$v_t = d(A\cos 2l + B) \quad (3.15)$$

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

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

Yıldızların toplam uzay hızları (*S*) ve toplam uzay hızı hataları (S_{ht}) aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır:

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

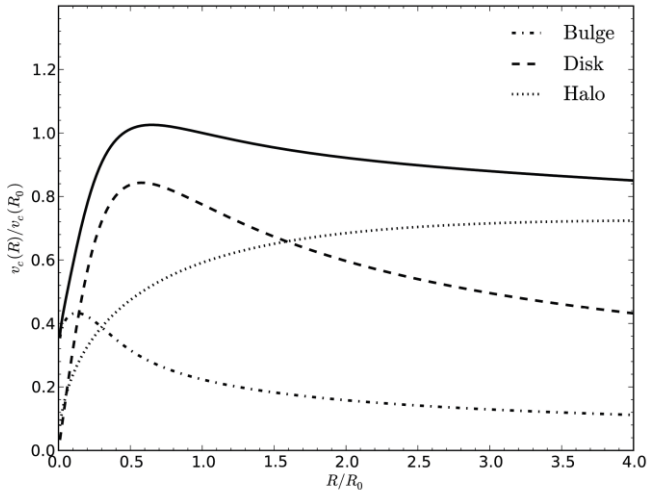
$$S_{ht} = \left(U_{ht}^2 + V_{ht}^2 + W_{ht}^2\right)^{1/2} \quad (3.17)$$

U, *V*, *W* uzay hızı bileşenlerini ve *S* toplam uzay hızını göstermektedir.

3.5 Yıldızların Galaktik Yörünge Parametrelerinin Belirlenmesi

Projemizin amacı radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri yardımıyla Galaksi diskinin oluşumu ve evrimini incelemek olduğundan, seçilen yıldız örneğinin kinematik parametrelerinin yanı sıra yörünge parametrelerine de ihtiyaç vardır.

Yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanmasında Bovy (2015) tarafından geliştirilen ve *python* programlama dilinin bir kütüphanesi olan *galpy* kullanılmıştır. *Galpy python* kütüphanesinin kullanılmasının sebebi, içinde barındırdığı Galaktik potansiyel modeli olan *MWPotantial2014*'tür. Bu potansiyel Şekil 3.1'de gösterildiği gibi bir dönme eğrisi tasvir ettiğinden, Galaksimizin güncel gözlemsel özelliklerine en iyi uyan potansiyeldir. *MWPotential2014* modeli, Galaksimizin tamamı ve bileşenleri olan şişkin bölge, disk ve haloyu temsil eden dönme eğrilerini oluşturabilmektedir. *MilkyWayPotential2014* modelinin özellikleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir (bkz. Bovy, 2015). Yıldızların Galaktik yörünge parametreleri, *MWPotantial2014* potansiyeli altında hareket ettikleri varsayımı ile *Galpy* fonksiyonları kullanılarak *python* dilinde yazılan programlarla tarafımızdan hesaplanmıştır.



Şekil 3.1 *MilkyWayPotantial2014* modelinin Galaksimiz için ürettiği dönme eğrileri (Bovy, 2015).

Tablo 3.3 *Galpy MWPotential2014* model parametreleri.

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

Tablo 3.3, üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda verilen kısaltmalar; R_0, Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı, $v_c(R_0)$, R_0 için dairesel hız, f_b, şişkin bölgenin potansiyele katkısı, f_d, diskin potansiyele katkısı, f_h, halonun potansiyele katkısı, *a*, disk için uzunluk ölçeği, *b*, disk için yükseklik ölçeği, Halo r_s, halo için ölçek yarıçap, ikinci kısımdaki kısaltmalar *MWPotential2014*'ün model fitleri için kabul ettiği sabitler, üçüncü kısım ise

MWPotential2014'ün çıktı parametreleri olup M_b, şişkin bölgenin kütlesi, M_d, diskin kütlesi, R_d, diskin ölçek yarıçapı, $\rho_{DM}(R_0)$, R_0 yarıçapında karanlık madde yoğunluğu, M_{vir}, galaksinin virial kütlesi, $v_{esc}(R_0)$, R_0 yarıçapı için kaçış hızıdır.

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

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

$$R_m = \frac{r_a + r_p}{2} \tag{3.18}$$

$$e_p = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p} \tag{3.19}$$

$$e_V = \frac{\frac{1}{2}(|Z_{min}| + |Z_{max}|)}{R_m} \tag{3.20}$$

3.6 Yıldızların Metal Bolluğu Gradyentlerinin Hesabı

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

$$d[\mathrm{Fe/H}]/dr = a[\mathrm{Fe/H}] + b \tag{3.21}$$

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

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

3.7 Yıldızların Yaşının Hesabı

Projede yıldız yaşları Bayesian yöntem kullanılarak hesaplanacaktır. Bu yöntem ilk olarak Pont ve Eyer (2004) tarafından geliştirilmiştir. Teorik modellerden itibaren τ (yaş), ζ (metal bolluğu) ve *m* (kütle) parametreleri, gözlemsel T_{eff} (etkin sıcaklık), log *g* (yüzey çekim ivmesi) ve [M/H] (metal bolluğu) parametreleriyle karşılaştırılır. Gözlemsel parametrelerdeki hataların Gaussian ve bağımsız olduğu varsayılarak olabilirlik fonksiyonu *L* şu şekilde tanımlanır:

$$L(\tau,\zeta,m)=\left(\prod_{i=1}^{n}\frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma_i}\right)\times\exp(-\frac{\chi^2}{2}), \tag{3.22}$$

burada

$$\chi^2=\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{q_{i,\text{gözlemsel}}-q_{i,\text{model}}(\tau,\zeta,m)}{\sigma_{i,\text{gözlemsel}}}\right)^2\text{'dir.} \tag{3.23}$$

q fonksiyonu gözlemsel ve kuramsal T_{eff}, log *g*, [M/H] parametrelerini, *n* parametre sayısını ve σ her bir parametreye ait hataları göstermektedir. İkinci adım Bayesian düzeltme yapıp son olasılığın yoğunluk fonksiyonunu elde etmektir:

$$f(\tau,\zeta,m) \propto f_0(\tau,\zeta,m) \times L(\tau,\zeta,m). \tag{3.24}$$

Burada f_0 başlangıç olasılığının yoğunluğu olup $f_0(\tau, \zeta, m) = \psi(\tau)\varphi(\zeta)\xi(m)$ ifadesiyle verilir. $\psi(\tau)$ yıldız oluşum oranını, $\varphi(\zeta)$ metal bolluğu dağılımını ve $\xi(m)$ başlangıç kütle fonksiyonunu gösterir. τ, ζ ve m parametrelerinin birbirlerinden bağımsız oldukları varsayılır. Benzer sebeplerden ötürü başlangıç yıldız oluşum oranı ve metal bolluğu dağılımı sabit kabul edilir. Ancak başlangıç kütle fonksiyonu (IMF) için $\xi(m) \propto m^{-2,7}$ gibi bir güç yasası öngörülür. Çünkü küçük kütleli yıldızlar büyük kütleli yıldızlardan daha fazladır. Eşitlik (3.24)'teki son olasılık yoğunluğu yaşın dışındaki parametrelere de bağlıdır. Bu durumun üstesinden gelmek için, f fonksiyonunun m ve ζ parametreleri üzerinden integrali alınır. Sonuç normalize edilmemiş G fonksiyonunu verir:

$$G(\tau) \propto \iint L(\tau,\zeta,m)\xi(m)dmd\zeta. \tag{3.25}$$

$G(\tau)$ fonksiyonu, yıldıza ait gözlemsel parametrelerle (T_{eff}, log g, [M/H]) farklı yaş, metal bolluğu ve kütleye sahip kuramsal eş yaş eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen olasılık değerlerini temsil eder. Yaş eğrilerine ait verilerin (3.25) numaralı denkleme yazılması ve yıldızlara ait atmosfer model parametreleriyle karşılaştırılmasına ait G fonksiyonun yeni formu şu şekilde yazılabilir:

$$G(\tau_j) \propto \sum_k \sum_l L(\tau_j,\zeta_k,m_{jkl})\xi(m_{jkl})(m_{jkl+1} - m_{jkl-1}). \tag{3.26}$$

Yıldızın atmosfer model parametrelerinin her bir yaş eğrisiyle karşılaştırılması sonucunda G fonksiyonun geniş bir yaş aralığı için tüm değerleri elde edilir. Sonuç olarak, $G(\tau_j)$'nin en büyük değerine karşılık gelen τ_j değeri incelenen yıldız için en muhtemel yaşı verir.

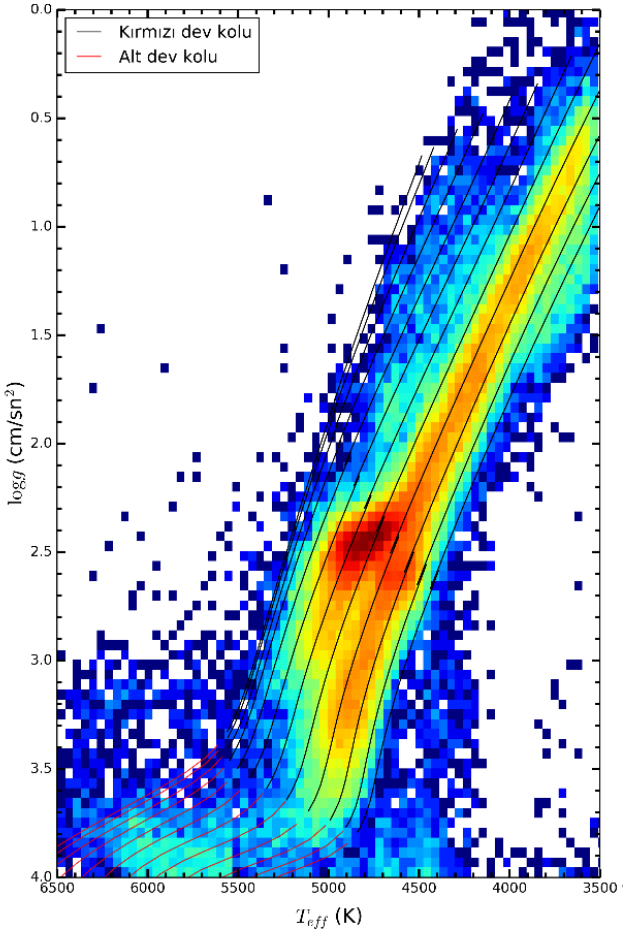
4. BULGULAR

4.1 Kırmızı Dev Yıldızlar

SDSS-IV DR13 (Albareti vd., 2017) APOGEE programı kataloğunda, atmosfer model parametreleri yüksek çözünürlüklü tayflarının analizinden belirlenen ve 23 farklı elemente ait bolluk miktarları ölçülen 164,562 yıldızın verisi bulunmaktadır. Katalogtan atmosfer model parametrelerine sınırlandırmalar (Hayden vd., 2015) getirilerek seçilen, etkin sıcaklığı (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi (log g) ve metal bolluğu ([Fe/H]) belirlenmiş olan 105574 yıldızın sayı yoğunluklarına göre T_{eff} – log g diyagramı oluşturulmuş ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi atmosfer model parametreleri belirlenmiş olan 105574 yıldız $3500 < T_{eff}$ (K) < 6500 ve $0 <$ log g (cm/sn^2) < 4 aralıklarında bulunmaktadır ve büyük çoğunluğu KDK üzerindedir. Şekil 4.1'de yıldızların sayı yoğunlukları dikkate alındığında 97632 KDK yıldızının $3500 < T_{eff}$ (K) < 6500 ve $0.5 <$ log g (cm/sn^2) < 3.5 aralıklarında bulunduğu görülmektedir. Ayrıca şekilde, $4500 < T_{eff}$ (K) < 5000 ve $2.3 <$ log g (cm/sn^2) < 2.7 aralıklarında dikkat çeken aşırı bir yıldız yoğunluğu görülmektedir. Bu yıldızlar, evrimlerinin ileri aşamasında olan ve çekirdeklerinde karbon-oksijen üreten KY yıldızlarıdır (Girardi, 2016). Şekil 4.1'de, KDK yıldızlarının daha kolay belirlenebilmesi için verilerden PARSEC eş-yaş eğrileri geçirilmiştir. KDK yıldızlarının yaşları için ortalama bir değer olarak 7 Gyıl kabul edilmiş ve farklı ağır elemet bollukları için PARSEC eş-yaş eğrileri oluşturulmuştur. Ağır element bollukları, yıldızların metal bollukları dikkate alınarak $-2.25 <$ [Fe/H] $< +0.50$ dex aralığında 0.25 dex'lik adımlar ile belirlenmiştir. Metal bolluklarının ağır element bolluğuna çevrilmesinde Bovy'nin PARSEC eş yaş eğrilerini kullanarak analitik yolla elde ettiği kalibrasyon[5] kullanılmış ve PARSEC eş-yaş eğrileri, farklı ağır element bollukları ile 7 Gyıl'lık yaş değeri Leo Girardi'nin web sayfasından üretilmiştir[6]. Şekilde, siyah düz çizgiler PARSEC 7 Gyıl eş-yaş eğrilerinin çeşitli metal bolluğundaki evrim yollarını göstermektedir.

Farklı ağır element bollukları ve 7 Gyıl'lık PARSEC eş-yaş eğrilerine göre oluşturulan T_{eff} – log g diyagramından (Şekil 4.1) seçilen 97632 KDK yıldızının sayı yoğunluğuna ve metal bolluğuna göre oluşturulmuş diyagramı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekilden, KDK yıldızlarının geniş bir metal bolluğu aralığında dağıldığı görülmektedir. KDK yıldızlarının tayfsal analizleri sonucu hesaplanan [Fe/H] bollukları farklı ağır element bolluklarına göre çizilen PARSEC eş-yaş eğrileriyle oldukça uyumludur. Metalce zengin KDK yıldızları (kırmızı renk) diyagramın sağ tarafında yoğunlaşırken, metalce fakir olanlar ise diyagramın sol tarafında yer almaktadır.

[5] https://github.com/jobovy/isodist/blob/master/isodist/Isochrone.py
[6] http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd

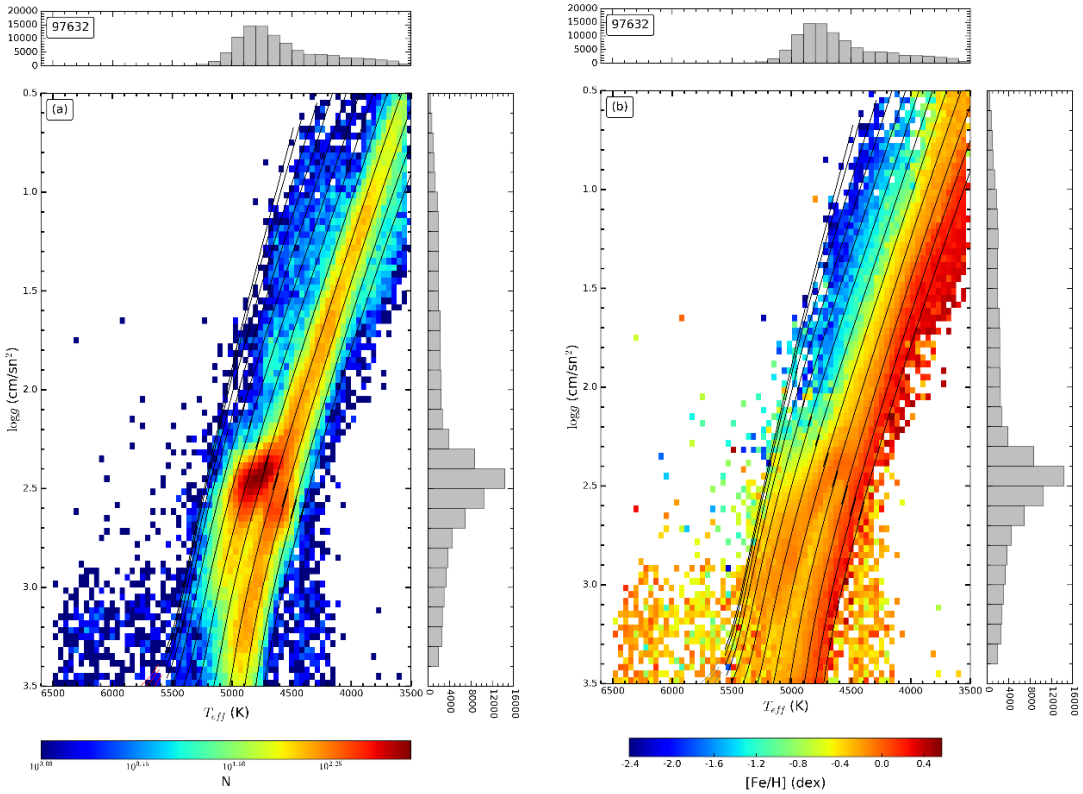


Şekil 4.1 SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğundaki yıldızların T_{eff} – log g diyagramı.

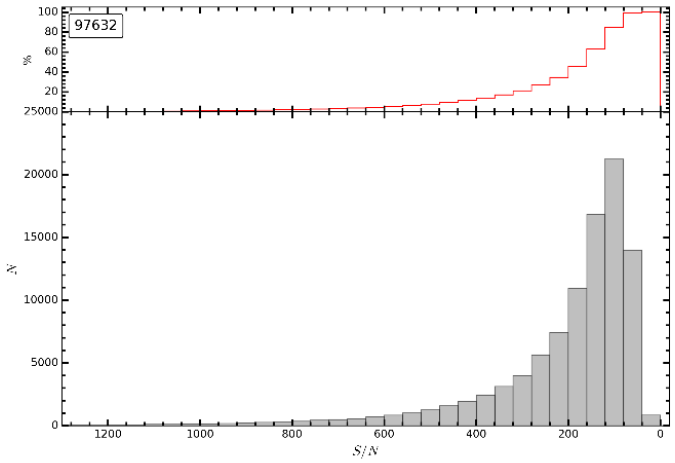
APOGEE kataloğundaki 164562 yıldızın çoğunun sinyal/gürültü (*S*/*N*) oranları 100'den büyüktür. Projede kullanılan yüksek çözünürlüklü tayflardan oluşan yıldız örneğinin (97,632 KDK yıldızı) *S/N* oranı dağılımı Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şeklin alt panelinde, *S/N* oranlarının frekans dağılımı, üst panelinde ise birikimli dağılımı gösterilmiştir. KDK yıldızlarının birikimli dağılımları incelendiğinde %50'sinin ve %95'inin *S/N* oranlarının, sırasıyla, 160 ve 40 olduğu görülmektedir. *S/N* oranları genelde yüksek olduğu için, yıldız örneğine, *S*/*N* oranları için bir sınırlama getirilmemiştir.

4.2 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Kızarma ve Uzaklıkları

KDK yıldızlarının uzaklıklarının hesaplanmasında kullanılan tayfsal paralaks yöntemi Bölüm 3.3'te anlatılmıştır. Bu yöntemde yıldızların mutlak parlaklığı, kütle, yüzey çekim ivmesi ve etkin sıcaklık parametrelerine bağlıdır. Projede, yıldızlararası ortamdan daha az etkilenen K_S bandı



Şekil 4.2 KDK yıldızlarının (a) sayı yoğunluğu (*N*) ve (b) metal bolluğu ([Fe/H]) değerlerine göre T_{eff} – log *g* diyagramları.



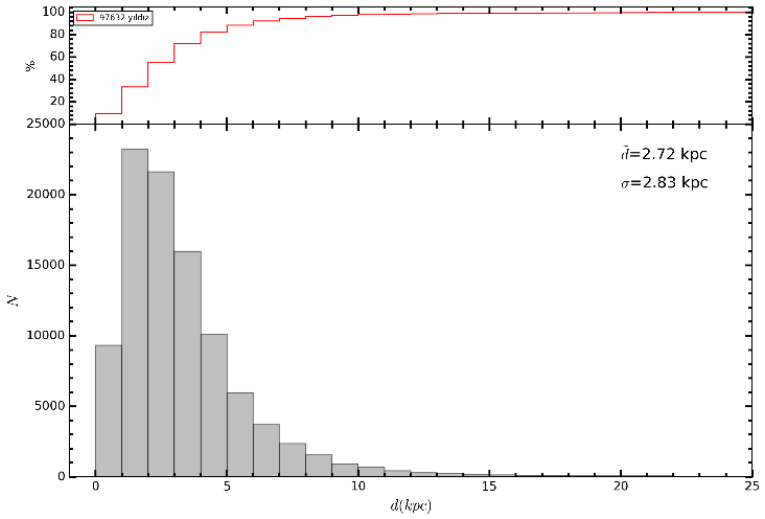
Şekil 4.3 KDK yıldızlarının *S/N* oranlarının birikimli (üst panel) ve frekans (alt panel) dağılımı.

tercih edilmiş ve mutlak parlaklıkların (M_{Ks}) hesaplanmasında (3.1) bağıntısı kullanılmıştır. (3.1) bağıntısındaki, SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğunda bulunmayan, bolometrik düzeltme ve yıldız kütlesi değerleri, sırasıyla, (3.2) ve (3.3) bağıntılarından hesaplanmıştır.

Projede kullanılan yıldızların uzaklığının hesabında (3.4) bağıntısı kullanılmıştır. Yıldızlararası ortamdan çok az etkilenmesine rağmen, K_s görünen parlaklığının yine de yıldızlararası sönükleşme (A_{Ks}) etkisinden arındırılması gerekir. KDK yıldızlarının renk artıklarının

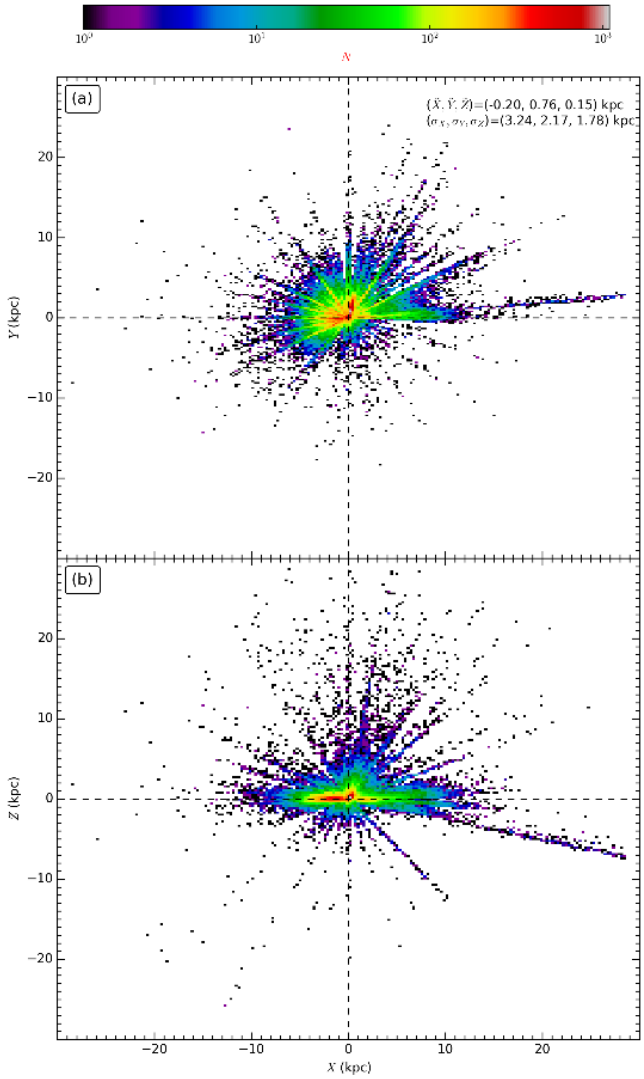
belirlenmesinde Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) toz haritaları kullanılmıştır. Bu toz haritalarında verilen renk artıkları Galaksi sınırına kadar hesaplandığından, Güneş ile yıldız arasındaki uzaklığa indirgenmesi gerekir. Renk artıklarının yıldız uzaklıklarına indirgenmesi için Bölüm 3.3'teki (3.5) bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntı yıldızın uzaklığına bağlı olduğundan, en az üç kez tekrardan sonra yıldız uzaklıklarının değişmediği iteratif bir yöntem kullanılarak yıldızın renk artığı ve uzaklığı eş zamanlı olarak hesaplanmıştır.

97632 KDK yıldızının hesaplanan uzaklıklarının dağılımı Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi KDK yıldızların Güneş'e uzaklıkları $0 < d < 25$ kpc aralığında değişmektedir ve örneğin %50'si ve %95'i, sırasıyla, 2 ve 8 kpc'lik uzaklıklarda bulunmaktadır. Uzaklık dağılımının medyanı ve standart sapması, sırasıyla, 2.83 ve 2.72 kpc'tir.



Şekil 4.4 KDK yıldızlarının uzaklıklarının birikimli (üst panel) ve frekans (alt panel) dağılımı.

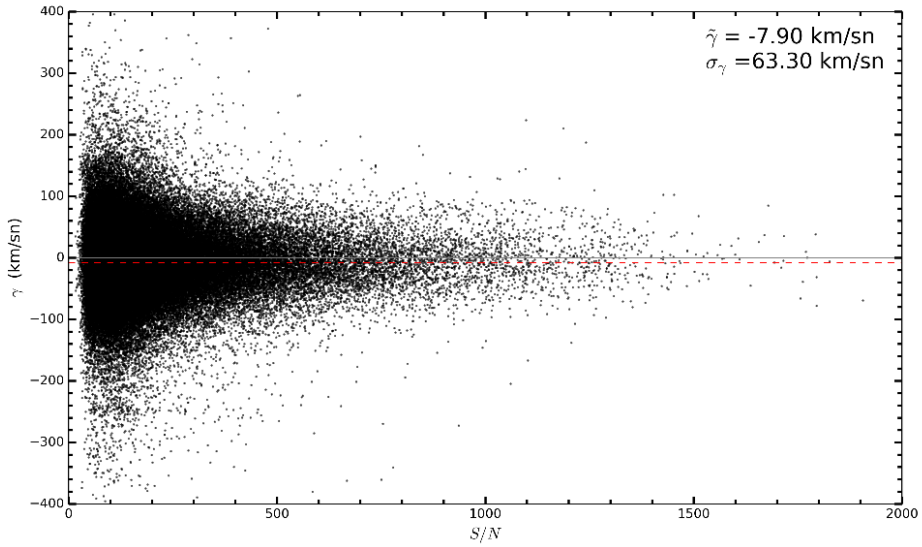
Uzaklık ve Galaktik koordinatları bilinen 97632 KDK yıldızının Bölüm 3.3'te verilen (3.7), (3.8) ve (3.9) bağıntılarıyla hesaplanmış Güneş merkezli Galaktik kartezyen koordinatlarının (X, Y) ve (X, Z) düzlemlerindeki dağılımları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Yıldızlar sayı yoğunluklarına göre renklendirilen yıldızların çoğu d = 20 kpc uzaklık aralığı içine dağılmışken, en yoğun bulunduğu bölge d = 4 kpc'lik yarıçap içindedir. KDK yıldızlarının (X, Z) düzlemindeki dağılımları incelendiğinde, yıldızların çoğunun $|Z| < 6$ kpc uzaklık aralığında yer aldığı ve Galaksi diskinde bulunduğu görülmektedir. Yıldız örneğine ait X, Y ve Z uzaklıklarının medyanları ve standart sapmaları, sırasıyla, -0.20 ± 3.24, 0.76 ± 2.17 ve 0.15 ± 1.78 kpc'tir.



Şekil 4.5 KDK yıldızlarının (a) (*X*, *Y*) ve (b) (*X*, *Z*) düzlemlerindeki uzaklık dağılımları.

4.3 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Uzay Hızları

KDK yıldızlarının duyarlı uzay hızlarının hesaplanması için radyal hız, öz hareket ve uzaklık parametrelerinin de duyarlı belirlenmiş olması gerekir. Yıldızların tayfsal analizlerinden belirlenen radyal hız verileri APOGEE'de oldukça duyarlı bir şekilde hesaplanmıştır. 97632 KDK yıldızının radyal hızları (*γ*) ile *S/N* oranına ait dağılım (Şekil 4.6) incelendiğinde pozitif ve negatif radyal hızlar arasında çok büyük bir farkın olmaması bu hızlarda bir yanlılığın bulunmadığını gösterir.



Şekil 4.6 KDK yıldızlarının radyal hızları ile *S/N* oranları arasındaki dağılımı. Kesikli kırmızı çizgi medyan değerini gösterir.

KDK yıldızlarının uzay hızlarının hesaplanmasında kullanılan diğer bir parametre yıldızların öz hareketidir ($\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ). Projede kullanılan KDK yıldızlarının öz hareketleri, PPMXL (Roeser vd., 2010) kataloğundan alınmıştır. PPMXL kataloğunda bilinen bazı yanlılıklar Vickers vd. (2016) tarafından *phyton* dilinde geliştirilen kod[7] ile düzeltilmiştir. KDK yıldızlarının öz hareketlerinin rektasansyon bileşeni ($\mu_\alpha \cos\delta$) üzerine uygulanan düzeltme sonucunda elde edilen farkların ortalaması -1.1 mas/yıl ve standart sapma ise 1.7 mas/yıl'dır. KDK yıldızlarının öz hareketlerinin deklinasyon bileşeni (μ_δ) için elde edilen farkların ortalaması da -3.5 mas/yıl ve standart sapma 2.4 mas/yıl'dır. KDK yıldızlarının öz hareket bileşenlerine yapılan düzeltmeler dikkate alındığında, en büyük düzeltme deklinasyon bileşenine uygulanmıştır. Bu farklar yıldızların her iki öz hareket bileşenine de düzeltmeler yapılması gerektiğini göstermektedir.

KDK yıldızlarının uzay hızı hesabında dikkate alınması gereken son parametre yıldızların Güneş'e uzaklığıdır. Projede, KDK yıldızlarının uzaklık tayininde izlenen yöntem Bölüm 3.3'te anlatılmış ve hesaplanan uzaklıklar Bölüm 4.2'de verilmiştir.

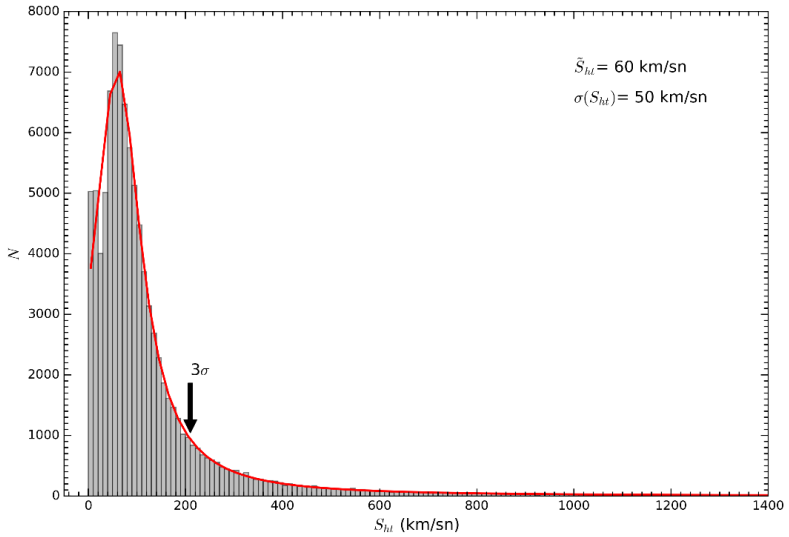
Projede seçilen 97632 KDK yıldızının uzay hızı bileşenleri Johnson ve Soderblom'un (1987) geliştirdiği algoritma ve dönüşüm matrisleri kullanılarak hesaplanmıştır.

[7] https://github.com/johnjvickers/PPMXL_Correction/blob/master/recenter.py

Uzay hızları hesaplanan KDK yıldızlarının gözlemlerinin Güneş'ten yapıldığı varsayılmaktadır. Gözlemler Güneş'in hızını da içerdiğinden yıldızların uzay hızı bileşenleri Güneş'in uzay hızı bileşenlerinden arındırılmalıdır. Bu işlem LSR düzeltmesi olarak bilinir ve projede LSR düzeltmesi için Coşkunoğlu vd.'nin (2011) hesapladığı ($U_\odot$, $V_\odot$, $W_\odot$) = (8.83, 14.19, 6.57) km/sn değerleri kullanılmıştır.

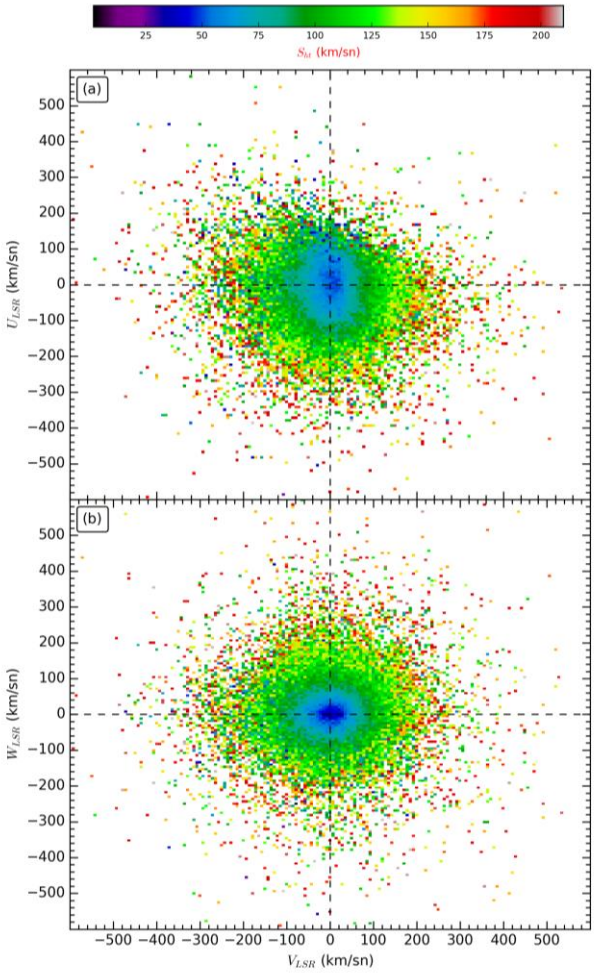
Galaksi merkezi etrafında değişik yörüngelerde dolanan yıldızların merkez etrafındaki bu hareketlerinde içten dışa doğru bir yavaşlama olur. Bu, diferansiyel dönme olarak tanımlanır ve Galaksimizdeki yıldızların uzay hızı bileşenlerine etki eder. Bu etki Galaksi diskinde görüldüğünden Galaktik kutup doğrultusunda etki etmez ve U, V hızları için hesaplanır. U ve V uzay hızı bileşenlerine diferansiyel dönme düzeltmesi Bölüm 3.4'te verilen (3.12) ve (3.13) bağıntıları kullanılarak yapılmıştır. Böylece, LSR ve diferansiyel dönme düzeltmeleri yapılarak yıldızların uzay hızı bileşenleri tüm yanlılıklardan arındırılmıştır.

KDK yıldızlarının toplam uzay hızının ve bu hızın hatasının hesaplanmasında Bölüm 3.4'te verilen (3.16) ve (3.17) bağıntıları kullanılmıştır. Toplam uzay hızı hatalarının histogramı Şekil 4.7'de gösterilmiştir. KDK yıldız örneğinin toplam uzay hızı hatasının medyanı $\check{S}_{ht}$ = 60 km/sn ve standart sapması σ_{Sht} = 50 km/sn olarak hesaplanmıştır. Toplam uzay hızı hatalarının normal dağılıma uyduğu varsayılarak, toplam uzay hızı hatasının medyanı ile standart sapmasının üç katı (3σ) toplanarak uzay hızları için güvenilir bir sınır elde edilmiştir. Uzay hızı hatalarına getirilen bu sınırlamayla (S_{ht} < 210 km/sn) KDK yıldızlarının sayısı 82722 olmuştur.



Şekil 4.7 KDK yıldızlarının toplam uzay hızı hatalarının frekans dağılımı. Siyah ok, toplam uzay hızı hatasına getirilen sınır değerini gösterir.

82722 KDK yıldızının Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması kullanılarak hesaplanan *U*, *V*, *W* uzay hızlarının *V*-*U* ve *V*-*W* düzlemindeki hız dağılımları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekildeki renklendirmeler toplam uzay hızı hatalarını (kırmızıdan mora doğru artan) temsil etmektedir. Yıldızların uzay hızı bileşenleri, -300 < *U* < +250, -475 < *V* < +300 ve -300 < *W* < +400 km/sn aralıklarında değişmektedir.

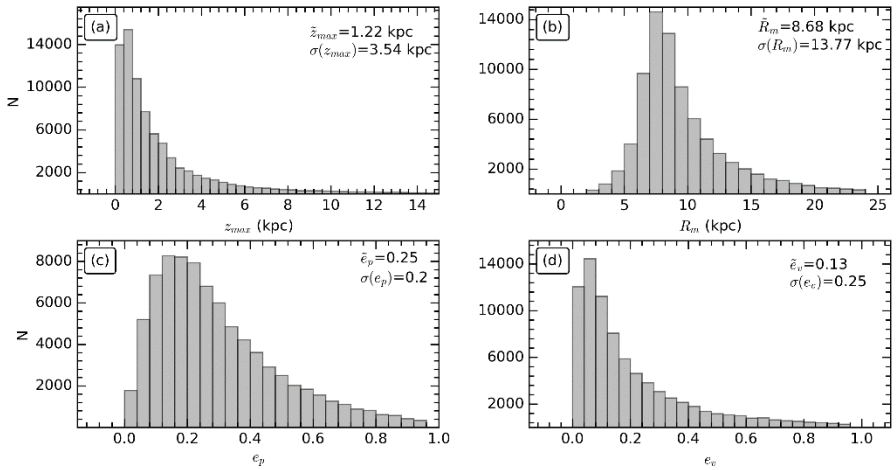


Şekil 4.8 KDK yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin (a) *V*-*U* ve (b) *V*-*W* düzlemlerindeki hız dağılımları.

4.4 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Galaktik Yörünge Parametereleri

KDK yıldızlarının yörünge parametrelerinin hesaplanması Bölüm 3.5'te anlatılmıştır. Yıldızların Galaksi merkezi etrafındaki yörünge parametrelerinin hesaplanmasında *Python* yazılım dili ile geliştirilen *galpy* (Bovy, 2015) kütüphanesi kullanılmıştır. *Galpy* koduna yıldızların ekvatoral koordinatları, radyal hızları, uzaklık ve öz hareket verileri girilerek 82722 KDK yıldızının Galaktik düzlemden dik doğrultudaki en büyük uzaklıkları (z_{max}), Galaksimizin merkezine en küçük (r_p) ve en büyük (r_a) uzaklıkları, Galaksi düzlemindeki yörünge basıklıkları (e_p) ve yörünge açısal momentum bileşenleri (L_x, L_y ve L_z) elde edilmiştir. Ayrıca, Galaksi merkezine

olan ortalama uzaklık (R_m), Galaktik düzlemdeki basıklıklar (e_p) ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki basıklıkları (e_v), sırasıyla, (3.18), (3.19) ve (3.20) bağıntılarından hesaplanmıştır. KDK yıldızlarının dinamik yörünge parametrelerinin frekans dağılımları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 KDK yıldızlarının *galpy* koduyla hesaplanan dinamik yörünge parametrelerinin dağılımları: (a) z_{max}, (b) R_m, (c) e_p ve (d) e_v.

Şekil 4.9 incelendiğinde dinamik yörünge parametrelerinin, $1 < z_{max} < 14$, $2 < R_m < 24$ kpc, $0 < e_p < 1$ ve $0 < e_v < 1$ aralıklarında dağıldıkları görülmektedir. z_{max}, R_m, e_p ve e_v yörünge parametrelerinin medyan değerleri, sırasıyla, 1.22 kpc, 8.68 kpc, 0.25 ve 0.13 ve standart sapmaları da, sırasıyla, 3.54 kpc, 13.77 kpc, 0.20 ve 0.25'tir.

4.5 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Kinematik Özellikleri

KDK yıldızlarının uzay hızları Galaktik düzleme, Galaktik çeyreklere ve yörünge özelliklerine göre analiz edilmiştir. Uzay hızı hatalarına getirilen sınırlama sonucunda sayısı 82722 olan KDK yıldızının ortalama uzay hız bileşenleri ve bu hız bileşenlerinin dispersiyonları Tablo 4.1'de verilmiştir. Tabloda, uzaklıklar kpc ve Galaktik boylamlar derece cinsindendir.

Tüm KDK yıldız örneğinde uzay hızlarının ortalama değerlerinin sıfıra yakın çıkması kinematik bir yanlılığın olmadığını göstermektedir. Dispersiyonlarda ise üç uzay hızı bileşenine ait değerler birbirine çok yakın olup, toplam uzay hızı dispersiyonu yaklaşık 126 km/sn'dir. Dispersiyonun bu derece yüksek çıkması, yıldız örneği içinde farklı popülasyonlara ait yıldız bulunduğunu göstermektedir. KDK yıldız örneği Galaktik düzlemin kuzey (Z>0) ve güneyindeki (Z<0) olmak üzere iki alt gruba ayrılarak incelendiğinde ortalama uzay hızları, hız dispersiyonları ve toplam hız dispersiyonu tüm yıldız örneği için hesaplanan değerlere

yakındır. O halde, Galaksimizin kuzey ve güneyinden seçilen KDK yıldızlarının kinematik özellikleri arasında belirgin bir farklılık yoktur.

Tablo 4.1 KDK yıldızlarının farklı sınırlamalar için kinematik değerleri.

Aralıklar	***N***	**<U_{LSR}> (km/sn)**	**<V_{LSR}> (km/sn)**	**<W_{LSR}> (km/sn)**	**σ_U (km/sn)**	**σ_V (km/sn)**	**σ_W (km/sn)**	**σ_{TOT} (km/sn)**
Tüm Örnek	82722	-20.51	-2.18	12.22	73.84	71.53	72.37	125.72
$Z > 0$	52436	-20.17	-3.66	8.73	76.12	71.09	67.61	124.17
$Z \leq 0$	30286	-21.09	0.36	18.27	69.73	72.30	79.93	128.37
$0 < \|Z\| \leq 0.5$	56117	-20.53	7.72	14.79	66.81	67.07	74.61	120.53
$0.5 < \|Z\| \leq 1$	14764	-27.61	-3.79	11.83	80.21	66.85	69.89	125.65
$1 < \|Z\| \leq 2$	7781	-13.73	-33.28	0.71	82.52	80.55	60.33	130.14
$2 < \|Z\| \leq 5$	3952	-8.65	-73.48	0.11	112.10	115.95	70.03	175.83
$5 < \|Z\| \leq 10$	106	39.63	-81.43	-0.42	166.65	108.79	95.30	220.66
$0 < l \leq 90$	30444	-39.01	-8.93	10.36	91.50	77.34	82.61	145.53
$90 < l < 180$	27961	-13.91	-5.83	11.81	63.95	63.64	67.98	112.96
$180 < l \leq 270$	20851	-7.21	17.07	16.78	52.40	69.80	62.76	107.50
$270 < l \leq 360$	3466	8.84	-29.40	4.50	84.27	87.17	63.82	137.01
$Z > 0$ ve $0 < l \leq 90$	21551	-40.28	-11.26	7.14	91.09	71.48	72.87	136.81
$Z > 0$ ve $90 < l \leq 180$	14974	-10.39	-1.29	6.92	63.95	65.85	67.00	113.64
$Z > 0$ ve $180 < l \leq 270$	12487	-5.22	13.83	14.86	56.11	71.61	59.87	108.91
$Z > 0$ ve $270 < l \leq 360$	3424	9.14	-29.88	4.25	84.52	86.95	62.28	136.32
$Z \leq 0$ ve $0 < l \leq 90$	8893	-35.94	-3.27	18.16	92.48	89.97	102.42	164.73
$Z \leq 0$ ve $90 < l \leq 180$	12987	-17.97	-11.06	17.45	63.95	60.99	69.09	112.17
$Z \leq 0$ ve $180 < l \leq 270$	8364	-10.18	21.91	19.65	46.31	67.01	66.85	105.37
$Z \leq 0$ ve $270 < l \leq 360$	42	-15.73	9.99	24.28	60.01	103.79	141.24	185.26
$0 < z_{max} \leq 0.5$	18302	-13.01	-1.93	2.05	44.57	39.84	12.91	61.16
$0.5 < z_{max} \leq 1$	16898	-18.03	-3.33	5.26	55.65	47.92	26.35	78.02
$1 < z_{max} \leq 2$	18292	-20.37	-3.83	9.76	64.26	57.70	41.84	95.96
$2 < z_{max} \leq 5$	17845	-22.17	-10.67	16.77	77.91	78.60	70.93	131.45
$5 < z_{max} \leq 10$	6418	-30.69	-6.75	30.65	100.27	102.02	111.82	181.57

Popülasyon etkilerinin tüm örnekten çıkarılabileceği varsayılarak popülasyonların etkin oldukları dik uzaklık aralıkları dikkate alınıp ortalama uzay hızları ve uzay hızı dispersiyonları hesaplanmıştır. Yıldızların çoğunun Galaktik düzleme yakın olan $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığında toplandığı, beklendiği gibi, Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklık arttıkça yıldız sayısının azaldığı görülmektedir. Ortalama uzay hızı bileşenlerinin tüm örnek için hesaplananlar civarında olduğu görülürken, hız dispersiyonlarının Galaktik düzlemdem artan uzaklıkla arttıkları tesbit edilmiştir. Ancak, popülasyon ayrımında sıklıkla kullanılan σ_W hız dispersiyonunun 0'dan 2 kpc'ye kadar yaklaşık 60 km/sn'ye doğru azaldığı, 2'den 10 kpc'ye kadar ise 95 km/sn'ye doğru arttığı görülmektedir. Oysa toplam uzay hızı dispersiyonu *U* ve *V*

doğrultusundaki hız dispersiyonlarının etkisiyle Galaktik düzlemden artan dik uzaklıkla düzgün şekilde artmaktadır.

Galaksi diskinde kinematik yanlılıkların var olup olmadığını görmek için KDK yıldızlarının ortalama uzay hızları ve uzay hızı dispersiyonları, Galaktik çeyrekler arasında da karşılaştırılmıştır. Böyle bir karşılaştırmadaki yanlılıklar Galaktik çubuğun ve spiral kolların etkisine bağlanır. KDK yıldızları Galaktik çeyreklere göre dört alt gruba ayrıldığında bu grupların ortalama uzay hızları arasında belirgin farklılıklar görülmemiştir. Ancak, birinci ve dördüncü çeyreğin diğer çeyreklerden daha büyük uzay hızı dispersiyon değerleri dikkati çeker. Bununla birlikte, Galaktik düzleme dik doğrultuda tanımlanan *W* uzay hızı bileşenine ait hız dispersiyonunda görülmeyen bu eğilimin dördüncü çeyrekte yıldız sayısının diğer çeyreklere göre 6-9 kat daha eksik olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Yıldız örneği Galaktik düzlemin kuzeyi ve güneyindeki çeyreklere göre incelendiğinde, yıldız sayılarının kuzeyde en çok birinci çeyrekte, güneyde ise ikinci çeyrekte olduğu görülmüştür. Toplam hız dispersiyonunun Galaktik çeyreklere göre gösterdiği ve yukarıda tanımlanan genel eğilimin, kuzey ve güney yarıkürede de varlığını sürdürdüğü tesbit edilmiştir. Ancak, güney yarıküredeki dördüncü çeyrekte çok az sayıda yıldız olması, bu bulgunun daha çok veri ile sınanmasını gerektirmektedir.

Projedeki KDK yıldız örneği yıldız yörüngesinin ulaştığı en büyük Galaktik dik uzaklığı temsil eden z_{max} aralıklarına göre ayrılıp incelendiğinde uzay hızı bileşenlerinin ortalama değerleri ve toplam uzay hızı dispersiyonu, beklendiği gibi, Galaktik düzlemden uzaklaştıkça sistematik olarak artmaktadır. Toplam uzay hızı dispersiyonu $0 < z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığında yaklaşık 61 km/sn iken, $5 < z_{max} \leq 10$ kpc aralığında 181 km/sn'ye ulaşmaktadır. Benzer eğilim, σ_W uzay hızı dispersiyonu için de geçerlidir. Bu bulgular, ince diskin soğuk, kalın diskin sıcak, halonun ise en sıcak Galaktik bileşenler olduklarına işaret eder.

4.6 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Metal Bolluğu Gradyentleri

Projede, SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğundan seçilen 82722 KDK yıldızı kullanılarak Galaksimizin metal bolluğu gradyenti incelenmiştir. Metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasında APOGEE kataloğundaki yüksek çözünürlüklü tayfların analizlerinden elde edilen metal bollukları ve iki yöntemle hesaplanmış uzaklıklar kullanılmıştır. İlk yöntem yıldızların bugünkü Galaktik merkezden ve Galaksi düzlemine dik uzaklıklarına (R_{gc} ve Z) dayalıyken diğer yöntem yıldızların *galpy* koduyla hesaplanmış yörünge parametrelerine (R_m

ve z_{max}) dayanır. KDK yıldızlarının metal bolluğu gradyentleri Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda ve Galaksi düzlemine göre dik doğrultularda hesaplanmıştır.

4.6.1 Bugünkü Konumlarına Göre Metal Bolluğu Gradyentleri

KDK yıldızlarının bugünkü konumlarına göre radyal doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin hesabında kullanılacak uzaklıklar (R_{gc}) Bölüm 3.3'te verilen (3.11) bağıntısından, Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentintlerinin hesabında kullanılacak uzaklıklar (Z) ise Bölüm 3.3'te verilen (3.9) bağıntısından belirlenmiştir. Metal bolluğu gradyentleri ise (3.25) bağıntısından hesaplanmıştır.

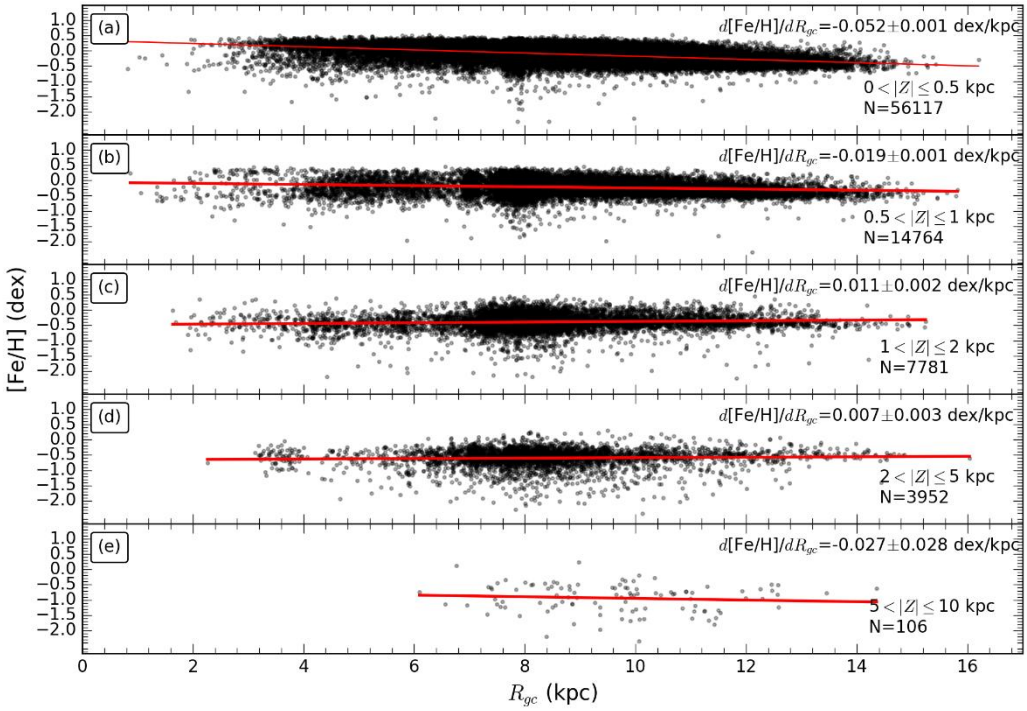
KDK yıldızlarının $0 < |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$, $1 < |Z| \leq 2$, $2 < |Z| \leq 5$ ve $5 < |Z| \leq 10$ kpc Galaktik düzleme dik bugünkü uzaklık aralıkları için R_{gc} radyal uzaklığına göre metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. $0 < |Z| \leq 1$ kpc aralığında genç ince disk popülasyonu, $2 < |Z| \leq 5$ kpc aralığında daha çok kalın disk baskınken $5 < |Z| \leq 10$ kpc aralığında disk popülasyonu neredeyse tamamen etkisini kaybedip yerini metalce fakir halo popülasyonu alır. Tüm bu aralıklarda hesaplanan gradyentler ve medyan metal bollukları Tablo 4.2'de verilmiş ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekil 4.10'da siyah noktalar KDK yıldızlarını, kırmızı çizgiler ise doğrusal fitleri temsil eder.

Tablo 4.2 Galaktik düzlemden dik uzaklık (Z) aralıklarına ayrılmış KDK yıldızlarının bugünkü konumlarına göre radyal metal bolluğu gradyentleri. N, yıldız sayısını, [Fe/H], metal bolluğunun medyan değerini, d[Fe/H]/dR_{gc} ise radyal metal bolluğu gradyentini ifade eder.

Z (kpc)	N	[Fe/H] (dex)	d[Fe/H]/dR_{gc} (dex/kpc)
$0 < \|Z\| \leq 0.5$	56117	-0.13	-0.052±0.001
$0.5 < \|Z\| \leq 1$	14764	-0.23	-0.019±0.001
$1 < \|Z\| \leq 2$	7781	-0.39	+0.011±0.002
$2 < \|Z\| \leq 5$	3952	-0.55	+0.007±0.003
$5 < \|Z\| \leq 10$	108	-0.84	-0.027±0.028

Tablo 4.2 incelendiğinde Galaktik düzlemden dik doğrultuda uzaklaştıkça KDK yıldızlarının medyan metal bolluklarının -0.13 dex'ten -0.84 dex'e kadar azaldığı görülmektedir. Radyal metal bolluğu gradyentinin ise $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc aralığında -0.052 ± 0.001 dex/kpc iken, $2 < |Z| \leq 5$ kpc aralığında 0.007 ± 0.003 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Galaktik düzleme çok yakın uzaklıklardaki KDK yıldızlarında radyal metal bolluğu gradyentinin gözlendiği, düzlemden uzaklaştıkça gradyentin de düzleştiği tesbit edilmiştir. Haloyu temsil eden $5 < |Z| \leq 10$ kpc

aralığında hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti negatif olmasına rağmen yıldız sayısının azlığından bu aralık için elde edilen metal bolluğu gradyentine güvenilemez.

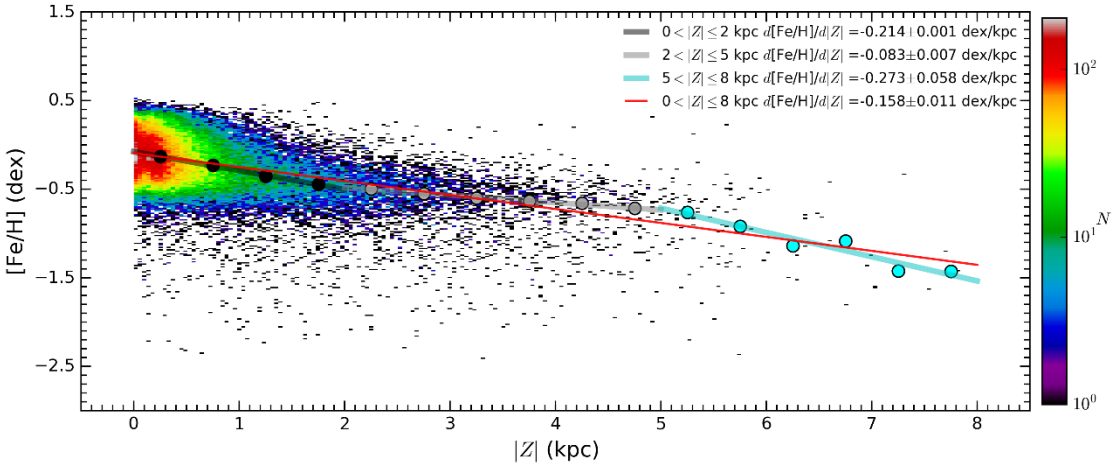


Şekil 4.10 KDK yıldızlarının bugünkü konumlarına göre (R_{gc}) radyal metal bolluğu gradyentleri.

82,722 KDK yıldızı için Galaksimizdeki ince disk (0 < |*Z*| ≤ 2 kpc), kalın disk (2 < |*Z*| ≤ 5 kpc) ve halo (5 < |*Z*| ≤ 8 kpc) yıldız popülasyonlarının etkin oldukları uzaklık aralıkları ile tüm KDK örneği (0 ≤ |*Z*| ≤ 8 kpc) için Galaktik düzleme dik doğrultuda hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.11'deki renklendirme KDK yıldızlarının sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır ve kırmızı bölge yıldız sayısının fazla olduğu, mavi bölge ise az olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Duyarlı metal bolluğu gradyentleri hesaplayabilmek için yıldızlar Δ*Z* = 0.5 kpc uzaklık aralıklarına ayrılarak her bir uzaklık aralığı için medyan metal bolluğu değerleri ([Fe/H]) hesaplanmış ve bu değerler farklı renklerdeki büyük daire sembolüyle Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Galaksimizin farklı popülasyonları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri farklı renklerde çizilen doğrusal fitler ile Şekil 4.11'de gösterilmiştir. İnce disk, kalın disk, halo ve tüm örnek için hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri (*d*[Fe/H]/*dZ*), sırasıyla, -0.214 ± 0.001, -0.083 ±0.007, -0.273 ± 0.058 ve -0.158 ± 0.011 dex/kpc'dir. Bu bulgular, yıldızların fazla olduğu 0 < |*Z*| ≤ 5 kpc uzaklık aralığı için Galaksinin kimyasal evrim modelleriyle uyumluyken, yıldızların çok az olduğu 5 < |*Z*| ≤ 8 kpc aralıkta uyumlu değildir. Büyük olasılıkla, uyumsuzluğun nedeni bu aralığa karşılık gelen yıldız sayısının (108) güvenilir

bir analize izin vermeyecek kadar az olmasıdır. Tüm KDK yıldızları için hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti ELS'nin (1962) önerdiği tek bir bulutun çökmesiyle oluşan galaksi modeliyle uyumludur.



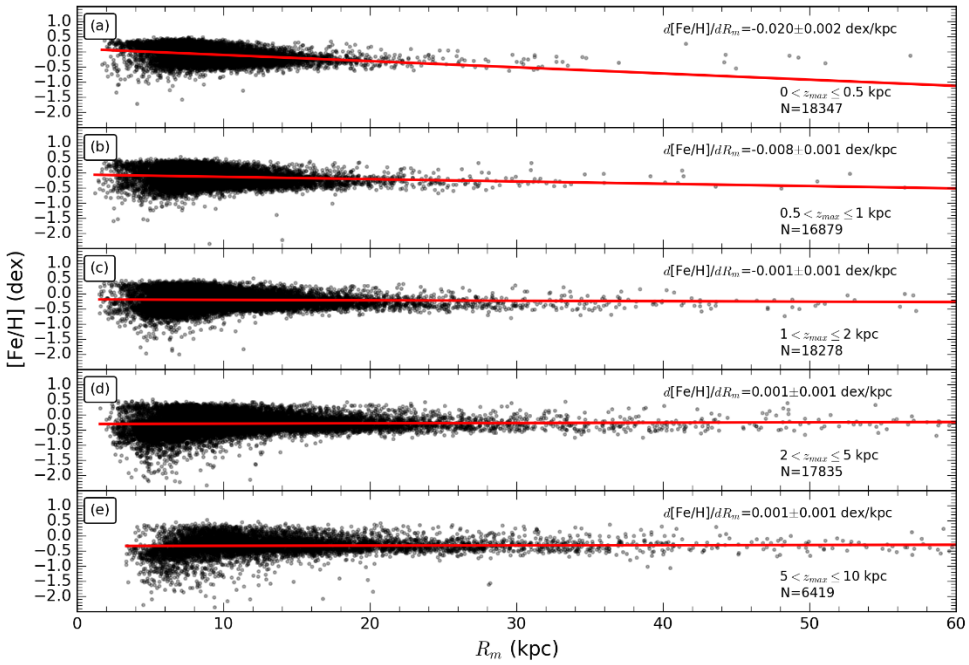
Şekil 4.11 KDK yıldızlarının Galaktik düzleme dik bugünkü uzaklıklarına (Z) göre dikey metal bolluğu gradyentleri.

4.6.2 Yörünge Parametrelerine Göre Metal Bolluğu Gradyentleri

KDK yıldızlarının $0 < z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$, $2 < z_{max} < 5$ ve $5 < z_{max} < 10$ kpc Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklık (z_{max}) aralıkları için Galaksi merkezinden ortalama uzaklık R_m'ye göre radyal ve dikey doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Tüm bu aralıklarda hesaplanan gradyentler ve medyan metal bollukları Tablo 4.3'de verilmiş ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şekil 4.12'de siyah noktalar KDK yıldızlarını, kırmızı çizgiler ise doğrusal fitleri temsil eder.

Tablo 4.3 Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklık (z_{max}) aralıklarına ayrılmış KDK yıldızlarının yörünge parametrelerine göre radyal metal bolluğu gradyentleri. N, yıldız sayısını, [Fe/H], metal bolluğunun medyan değerini, d[Fe/H]/dR_m ise radyal metal bolluğu gradyentini ifade eder.

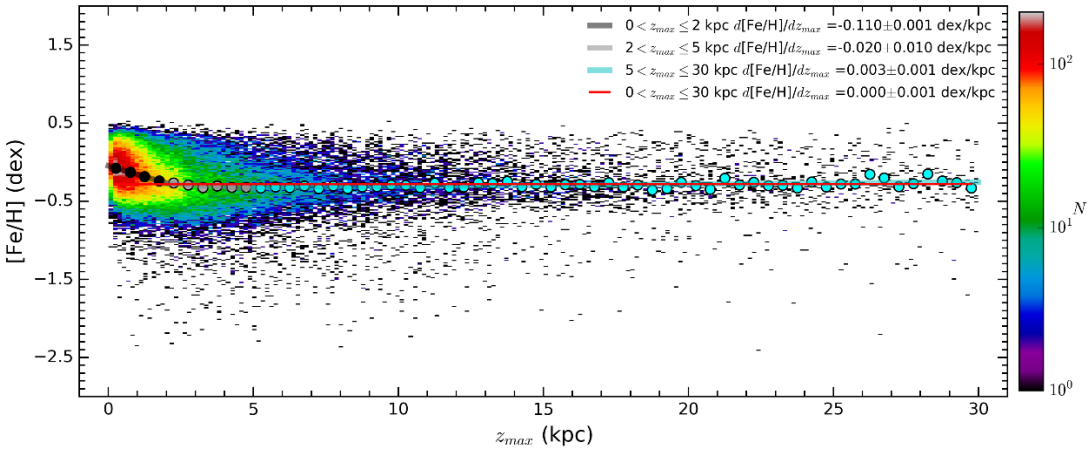
z_{max} (kpc)	N	[Fe/H] (dex)	d[Fe/H]/dR_m (dex/kpc)
$0 < z_{max} \leq 0.5$	18347	-0.08	-0.020±0.002
$0.5 < z_{max} \leq 1$	16879	-0.13	-0.008±0.001
$1 < z_{max} \leq 2$	18278	-0.21	-0.001±0.001
$2 < z_{max} \leq 5$	17835	-0.29	+0.001±0.001
$5 < z_{max} \leq 10$	6419	-0.32	+0.001±0.001



Şekil 4.12 KDK yıldızlarının Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarına (R_m) göre radyal metal bolluğu gradyentleri.

Tablo 4.3 incelendiğinde Galaktik düzlemden uzaklaştıkça KDK yıldızlarının medyan metal bolluklarının -0.08 dex'ten -0.32 dex'e kadar azaldığı görülmektedir. Galaktik düzleme çok yakın bölgedeki KDK yıldızlarında radyal metal bolluğu gradyenti d[Fe/H]/dR_m = -0.020 ± 0.002 dex/kpc iken, düzlemden büyük uzaklıklara doğru gidildikçe radyal metal bolluğu gradyentinin değeri sıfıra çok yaklaşmaktadır.

82722 KDK yıldızı için Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklık olan z_{max}'ye göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradyentleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir. KDK yıldızlarının hesaplanan z_{max} değerleri 30 kpc uzaklığına kadar gidebilmiştir. Böylece, popülasyonlara duyarlı dikey metal bolluğu gradyentleri hesaplanabilmiştir. Şekil 4.13'teki renklendirme KDK yıldızlarının sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır ve kırmızı bölge yıldız sayısının fazla olduğu, mavi bölge ise az olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Galaksimizin farklı poülasyonları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri farklı renklerde çizilen doğrusal fitler ile Şekil 4.13'te gösterilmiştir. İnce diskin etkin olduğu 0 ≤ z_{max} ≤ 2 kpc aralığı için dikey metal bolluğu gradyenti d[Fe/H]/dz_{max} = -0.110 ± 0.001 dex/kpc, kalın diskin etkin olduğu 2 ≤ z_{max} ≤ 5 kpc aralığı için d[Fe/H]/dz_{max} = -0.020 ± 0.010 dex/kpc ve halo için 5 ≤ z_{max} ≤ 30 kpc aralığında d[Fe/H]/dz_{max} = +0.003 ± 0.001 dex/kpc olarak hesaplanmıştır.

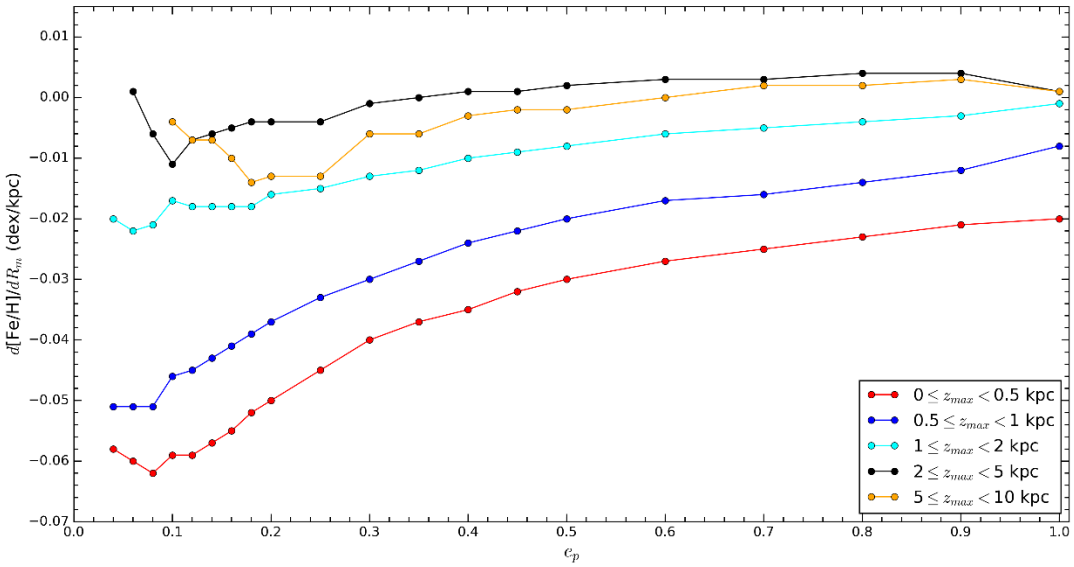


Şekil 4.13 KDK yıldızlarının Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklıklarına (z_{max}) göre dikey metal bolluğu gradyentleri.

4.6.3 Yörünge Basıklıklarına Göre Metal Bolluğu Gradyentleri

SDSS-IV DR13 APOGEE kataloğundaki KDK yıldızları Galaksi düzleminden ulaşabilecekleri en büyük uzaklık olan farklı z_{max} aralıklarına ayrılarak Galaktik düzlemdeki yatay yörünge basıklığının (e_p) 20 farklı alt grubu için Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarına göre radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. KDK yıldızlarının (e_p) yatay yörünge basıklıkları ve d[Fe/H]/dR_m radyal metal bolluğu gradyentleri arasındaki ilişki Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, Galaktik düzlemden en büyük uzaklık (z_{max}) aralıklarına doğru gidildikçe gradyentin olmadığı görülmektedir.

Galaktik düzleme çok yakın 0 ≤ z_{max} < 0.5 kpc uzaklık aralığında 0 < e_p < 1 yatay yörünge basıklığı arasında radyal metal bolluğu gradyenti görülmektedir. e_p < 0.12 basıklığına sahip yörüngelerde dolanan KDK yıldızları için radyal metal bolluğu gradyenti kısmen düzdür. Yatay yörünge basıklığı arttıkça gradyentin var olduğu, ancak yörünge basıklığı 1'e yaklaştıkça gradyentin düzleştiği görülmektedir (Şekil 4.14'te kırmızı çizgi). Benzer durum 0.5 ≤ z_{max} < 1 kpc uzaklık aralığında da görülmektedir (Şekil 4.14'te mavi çizgi). Bu iki uzaklık aralığında sadece 0.01 dex/kpc'lik bir gradyent farkı bulunmaktadır. 1 < z_{max} ≤ 2 kpc uzaklık aralığında e_p < 0.2 basıklığındaki yörüngelerde dolanan KDK yıldızları için radyal metal bolluğu gradyenti kısmen düzdür. Daha büyük basıklıklara doğru gradyent var olmakla beraber, nispeten düzdür ve gittikçe daha da düzleşme eğilimindedir (Şekil 4.14'te açık mavi çizgi). Kalın diskin baskın olduğu 2 < z_{max} ≤ 5 kpc ve halonun baskın olduğu 5 < z_{max} ≤ 10 kpc uzaklık aralıkları için radyal metal bolluğu gradyentinin neredeyse aynı ve hemen hemen düz olduğu söylenebilir.



Şekil 4.14 KDK yıldızlarının (e_p) yatay yörünge basıklıkları ve d[Fe/H]/dR_m radyal metal bolluğu gradyentleri arasındaki ilişki.

4.7 Kırmızı Dev Kolu Yıldızlarının Yaşları ve Yaş-Metal Bolluğu Arasındaki İlişki

KDK yıldızlarının yaşları ilk olarak Pont ve Eyer (2004) tarafından geliştirilen Bayesian yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Bölüm 3.7'de anlatılan yönteme göre (3.22)–(3.26) bağıntıları kullanılarak yıldızların atmosfer model parametrelerinin yaş eğrileriyle karşılaştırılması sonucunda (3.26) bağıntısındaki G fonksiyonunun geniş bir yaş aralığı için tüm değerleri elde edilip $G(\tau_j)$'nin en büyük değerine karşılık gelen τ_j değeri incelenen yıldız için en muhtemel yaş olarak kabul edilir.

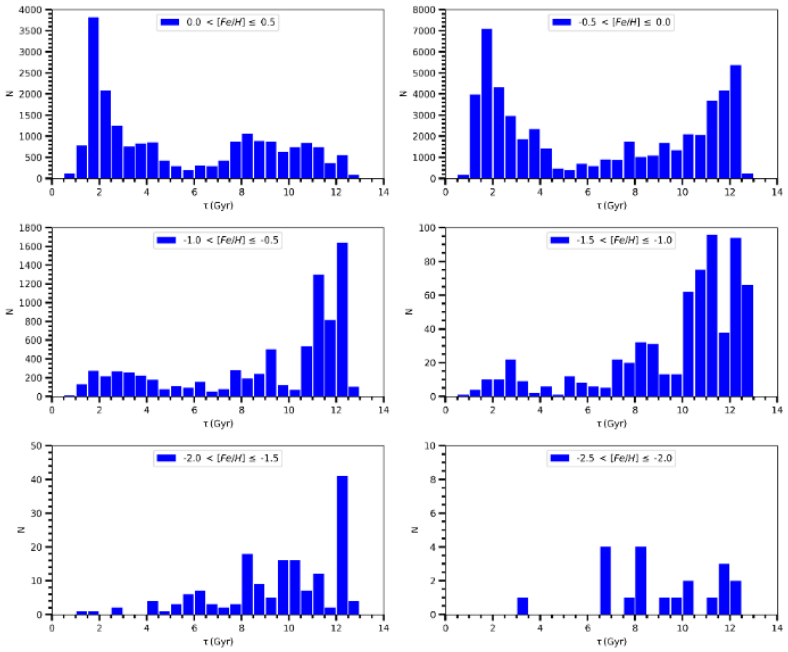
Projede KDK yıldızlarının iç yapılarına ait evrim modeli olarak PARSEC (Bressan vd., 2012) eş-yaş eğrileri kulllanılmıştır. PARSEC eş-yaş verileri ilgili web sitesinden[8] -2.4 < [Fe/H] < 0.5 dex ve 0 < τ < 13 Gyıl aralıkları için, sırasıyla, 0.05 dex ve 0.2 Gyıl adımlarıyla çekilmiştir. Yıldızların yaşları, APOGEE kataloğundaki KDK yıldızlarının atmosfer verilerinin PARSEC eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılması sonucunda hesaplanmıştır.

Projede, KDK yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisi hesaplanan yıldız yaşları metal bolluğu aralıklarına ayrılarak incelenmiştir. Yıldız yaşlarının metal bolluğu aralıklarına göre incelenmesi yıldız popülasyonları açısından önemlidir. İnce disk yıldızları, Galaksimizin ikinci kuşak yıldızlarındandır, 10 Gyıl'dan genç ve metalce zengindirler. Kalın disk ve halo yıldızları ise

[8] http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd

Galaksimizin ilk oluşan nesnelerindendir, yaşları 10 Gyıl'dan daha büyük ve ince diske göre metalce daha fakirdirler.

0<[Fe/H]≤0.5, -0.5<[Fe/H]≤0, -1<[Fe/H]≤-0.5, -1.5<[Fe/H]≤-1,-2<[Fe/H]≤-1.5 ve -2.5<[Fe/H]≤-2 dex metal bolluğu aralıklarına ayrılan KDK yıldızlarının yaş dağılımları Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



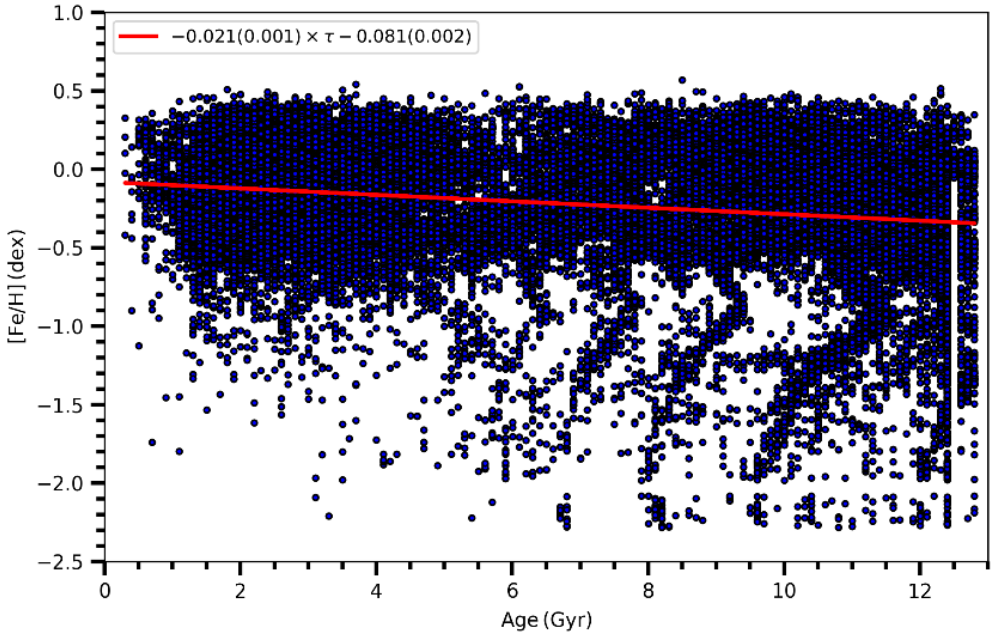
Şekil 4.15 KDK yıldızlarının metal bolluğu aralıklarına göre yaş dağılımları.

Şekilde, fakir metal bolluğu aralıklarına doğru gidildikçe yıldızların sayısının azaldığı görülmektedir. En büyük yıldız örneği -0.5 < [Fe/H] ≤ 0 dex aralığında bulunmaktadır. Metalce zengin yıldızların bulunduğu ilk iki metal bolluğu aralığında KDK yıldızları 0-6 Gyıl ile 6-13 Gyıl yaş aralıklarında iki modlu dağılım göstermektedirler. Metalce en zengin 0<[Fe/H]≤0.5 dex aralığında bulunan yıldızların 0-6 Gyıl yaş aralığında -0.5<[Fe/H]≤0 dex aralığında bulunanların ise hem 0-6 Gyıl (genç) hem de 6-13 Gyıl (yaşlı) aralığında baskın olduğu görülmektedir. -1<[Fe/H]≤-0.5 dex metal bolluğu aralığındaki yıldızların yaşları incelendiğinde 6 Gyıl'dan daha yaşlı yıldızların baskın olduğu ve metalce fakirleşen diğer aralıklarda da bu eğilimin azalan yıldız sayısına rağmen sürdüğü görülmektedir. O halde, metalce zengin yıldızlardan metalce fakir yıldızlara doğru gidildikçe yıldız yaşlarında belirgin bir artışın olduğu söylenebilir. Ayrıca, metalce zengin yıldızlar arasında genç yıldızlarla beraber yaşlı yıldızların da bulunduğu dikkat çekicidir.

82,722 KDK yıldızı için Bayesian istatistiğinden belirlenen yaşları ile APOGEE gökyüzü tarama programından elde edilen metal bollukları arasındaki ilişki Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, -0.5 ile +0.5 dex aralığında tüm yaşları içeren KDK yıldızlarının olduğu, metalce fakir aralıklarda ise yaşların yavaş yavaş arttığı görülmektedir. KDK yıldızlarından itibaren oluşturulan bu örnek içinde yaş-metal bolluğu dağılımını doğrusal polinom ile ifade edebilmek için en küçük kareler metoduna uygun bir fit geçirilmiştir. Şekilde düz kırmızı çizgi dağılıma uygulanan doğrusal fiti gösterir. Buna göre yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir:

$$[\mathrm{Fe/H}] = (0.021 \pm 0.001)\tau + 0.081 \pm 0.002 \qquad (4.1)$$

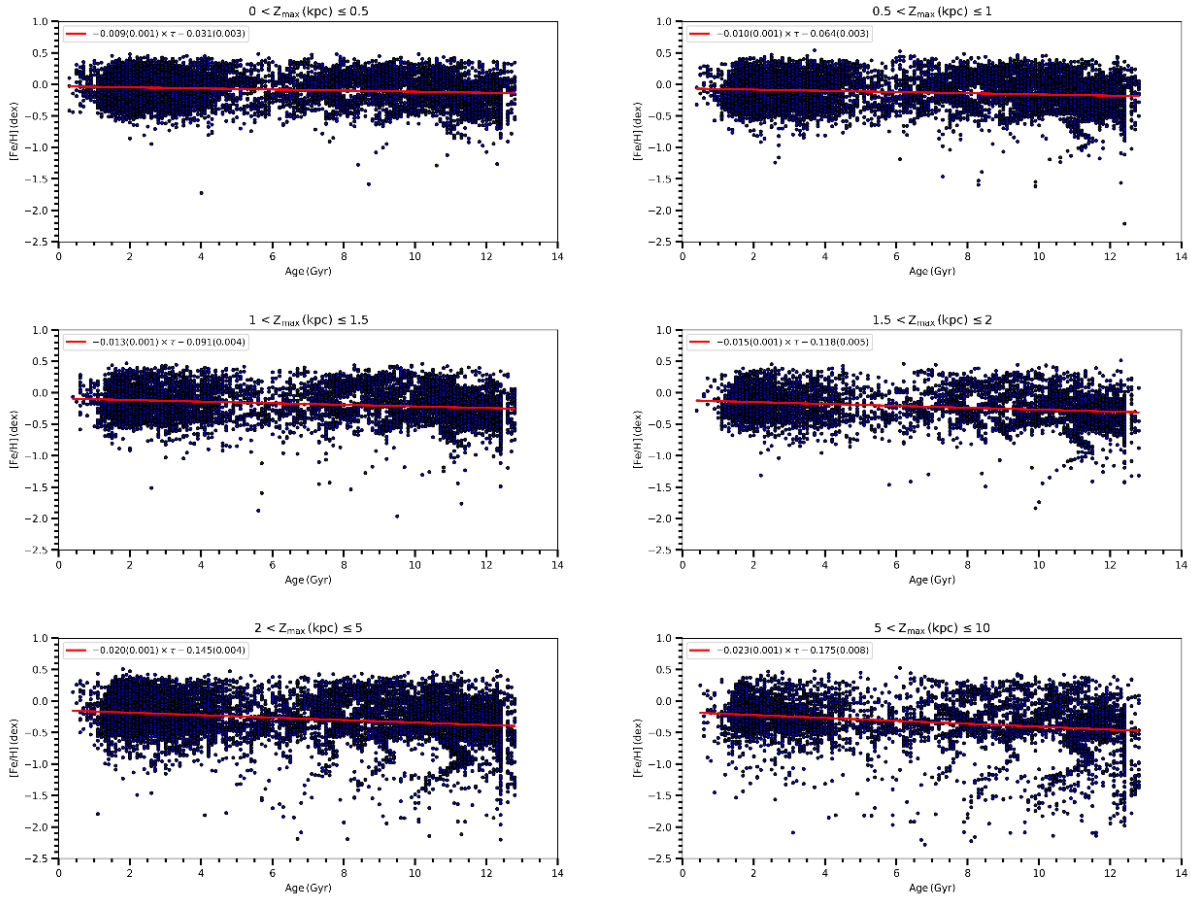
KDK yıldızlarından elde edilen yaş-metal bolluğu gradyenti -0.021±0.001 dex/Gyıl'dır.



Şekil 4.16 KDK yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisi.

Farklı popülasyonlarda bulunan yıldızlar farklı [Fe/H] metal bolluğu dağılımında bulunabildiklerinden yaş-metal bolluğu ilişkisi etkilenebilir. Bu nedenle, yaş-metal bolluğu ilişkisi araştırılırken popülasyon ayırımı da yapmak gerekir. Projede, KDK yıldızlarının popülasyon ayrımı için Galaktik yörünge parametrelerinden yararlanılmıştır. z_{max} parametresi bir yıldızın Galaktik düzlemden dik doğrultuda ulaşabileceği en büyük uzaklık olduğundan popülasyon türü hakkında bilgi verir. KDK yıldızlarının popülayon ayrımı için z_{max} uzaklıkları $0< z_{max}\leq 0.5$, $0.5< z_{max}\leq 1$, $1< z_{max}\leq 1.5$, $1.5< z_{max}\leq 2$, $2< z_{max}\leq 5$ ve $5< z_{max}\leq 10$ kpc şeklinde alt gruplara ayrılmıştır. İlk iki uzaklık aralığı Galaksimizin ince disk, üçüncü ve dördüncü uzaklık

aralıkları kalın disk ve son iki uzaklık aralığı da halo bileşenini temsil eden aralıklardır (Plevne vd. 2015; Önal Taş vd. 2016). KDK yıldızlarının z_{max} uzaklık aralıklarına göre yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişki Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Şekilde düz kırmızı çizgi, dağılımlara uygulanan doğrusal fitleri gösterir. Küçük z_{max} uzaklık aralıklarından büyük z_{max} aralıklarına doğru gittikçe yaş-metal bolluğu arasındaki eğimin -0.009'ten -0.023 dex/Gyıl'a değiştiği görülmektedir. Bu değişim, beklenenin aksi yönündedir. İnce diske ait yaş-metal bolluğu dağılımının daha dik, kalın disk ve haloya ait olan dağılımların ise daha düz olması beklenirdi. Çünkü Galaksimizin ince diskinde yıldız evrimi devam ederken diğer bileşenlerde bu evrim tamamlanmıştır. Bu etkinin yıldız evriminden mi yoksa farklı ışıma gücündeki nesnelerin uzaklık hesaplarındaki sorunlardan mı kaynaklandığının ortaya konabilmesi için KDK yıldız örneğinden iyi bir uzaklık standardı olarak kabul edilen KY yıldızları seçilmiştir.

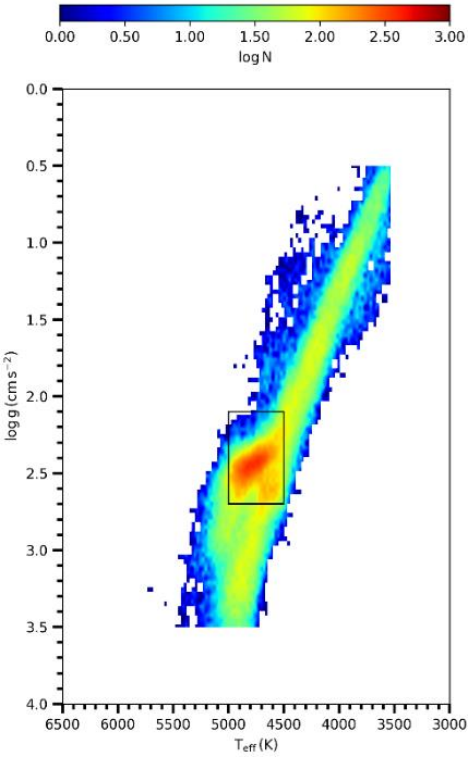


Şekil 4.17 KDK yıldızlarının z_{max} aralıklarına göre yaş-metal bolluğu ilişkisi.

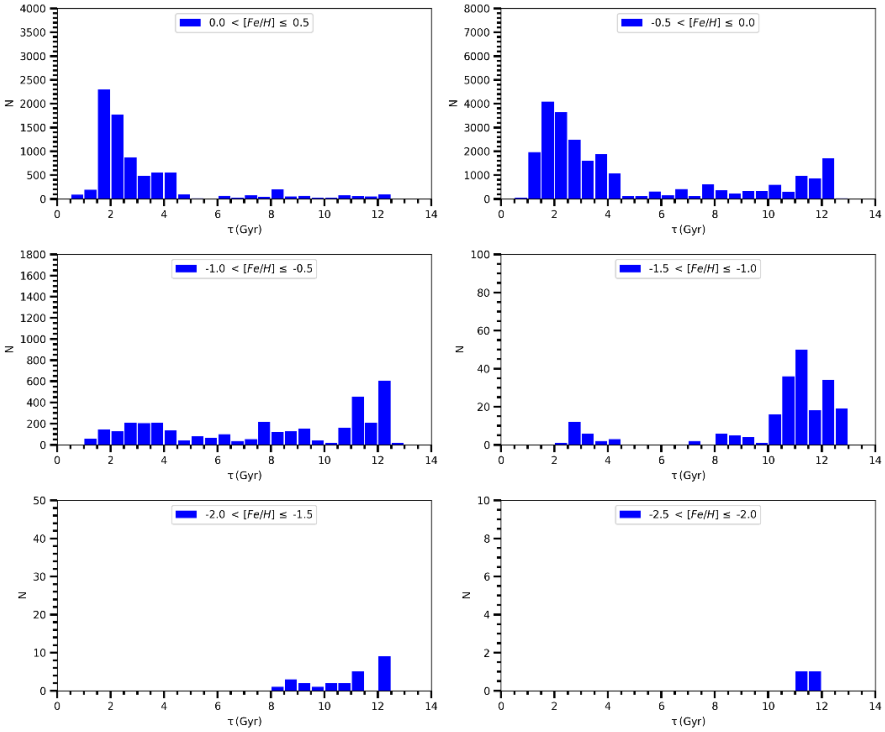
4.8 Kırmızı Yığın Yıldızlarının Yaş-Metal Bolluğu İlişkisi

KDK yıldızlarının sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş T_{eff} - log g diyagramından (Şekil 4.18) deneysel olarak seçilen KY yıldızlarının sayısı 40323'tür. KY yıldızları da KDK yıldızlarında

olduğu gibi 0<[Fe/H]≤0.5, -0.5<[Fe/H]≤0, -1<[Fe/H]≤-0.5, -1.5<[Fe/H]≤-1,-2<[Fe/H]≤-1.5 ve -2.5<[Fe/H]≤-2 dex metal bolluğu aralıklarına ayrılmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.18 KDK yıldızlarının sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş T_{eff} - log g diyagramı. Siyah dikdörtgen KY yıldızlarını gösterir.



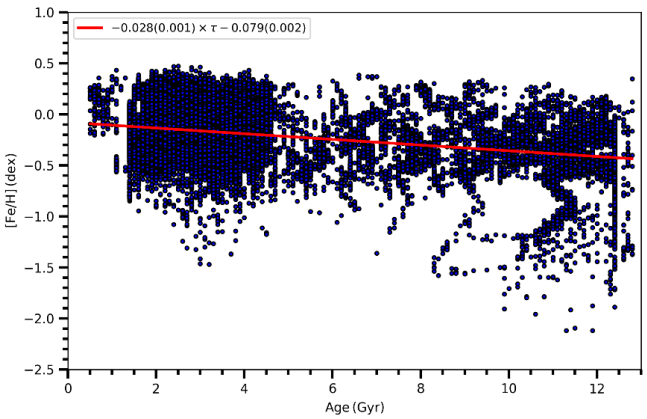
Şekil 4.19 KY yıldızlarının metal bolluğu aralıklarına göre yaş dağılımları.

Şekilde, fakir metal bolluğu aralıklarına doğru gidildikçe yıldızların sayısının azaldığı çoğununun da -0.5<[Fe/H]≤+0.5 dex aralığında bulunduğu görülmüştür. Metalce zengin yıldızların bulunduğu ilk iki metal bolluğu aralığında KY yıldızları $0 < \tau \leq 6$ Gyıl ile $6 < \tau \leq 12$ Gyıl yaş aralıklarında iki modlu dağılım göstermektedirler. Bu aralıklarda baskın olan popülasyonun genç olduğu dikkat çeker. Kalın disk popülasyonunun etkin olduğu -1.0<[Fe/H]≤-0.5 dex aralığında yaşları 6 Gyıl'dan daha büyük ve küçük yıldızların frekans sayılarının hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. -1.5<[Fe/H]≤-1.0 dex metal bolluğu aralığında, 6 Gyıl'dan büyük yaşlardaki yıldızların sayısı artmaktadır. Metalce en fakir son iki aralığın ise sadece 8 Gyıl'dan daha yaşlı yıldızlardan oluştuğu ancak istatistiksel olarak yıldız sayısının az olduğu görülmektedir. O halde, metalce zengin yıldızlardan metalce fakir yıldızlara doğru gidildikçe yıldız yaşlarında belirgin bir artış olduğu görülmekte ve bu eğilim KDK yıldızlarına göre çok daha belirgindir.

40323 sayıdaki KY yıldızı için yıldızların Bayesian istatistiğinden belirlenen yaşlarıyla SDSS-IV DR13 APOGEE gökyüzü tarama programından elde edilen metal bollukları arasındaki ilişki Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, -0.5 ile +0.5 dex aralığında yıldızların çoğunun 6 Gyıl'dan genç olduğu, fakir aralıklarda ise yaşların arttığı görülmektedir. KY yıldızlarından itibaren oluşturulan bu örnek içinde yaş-metal bolluğu dağılımını doğrusal polinom ile ifade edebilmek için en küçük kareler metoduna uygun bir fit geçirilmiştir. Şekilde düz kırmızı çizgi dağılıma uygulanan doğrusal fiti gösterir. Buna göre yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir:

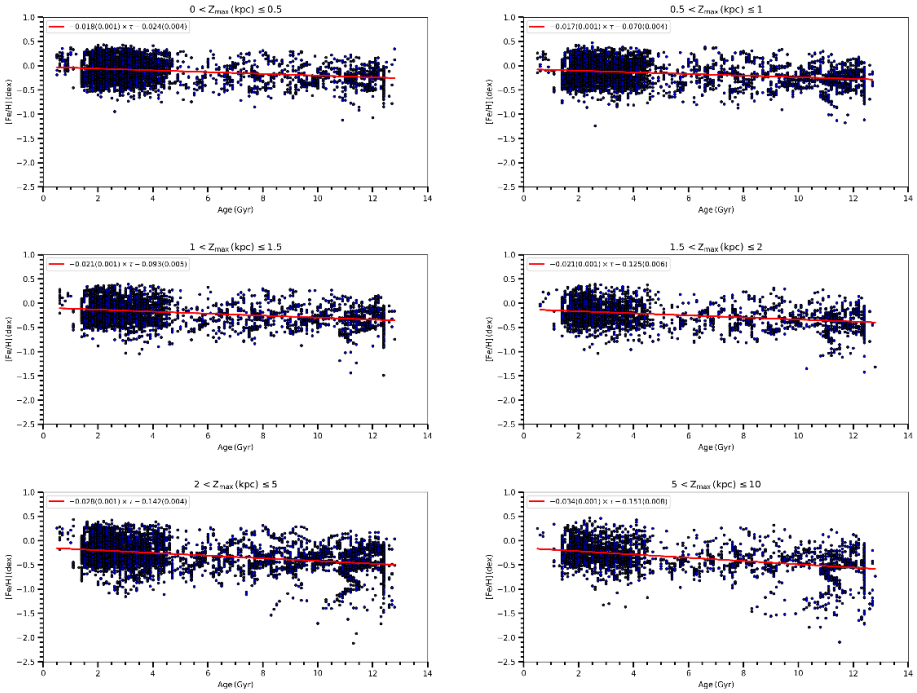
$$[\mathrm{Fe/H}] = (0.028 \pm 0.001)\tau + 0.079 \pm 0.002 \qquad (4.2)$$

KY yıldızlarından elde edilen yaş-metal bolluğu gradyenti -0.028±0.001 dex/Gyıl'dır.



Şekil 4.20 KY yıldızlarının yaş-metal bolluğu ilişkisi.

KY yıldızlarının Galaktik düzlemden dik doğrultuda ulaşabilecekleri en büyük uzaklık, z_{max}, aralıklarına göre yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişki Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Şekilde düz kırmızı çizgi, dağılıma uygulanan doğrusal fitleri gösterir. Küçük z_{max} aralıklarından büyük z_{max} aralıklarına doğru gittikçe yaş-metal bolluğu arasındaki eğimin -0.017'den -0.034 dex/Gyıl'a değiştiği görülmektedir. Popülasyon ayrımına duyarlı KY yıldız örneği için elde edilen bu değer aralığı KDK örneğindekinden iki kat daha büyüktür.



Şekil 4.21 KY yıldızlarının z_{max} aralıklarına göre yaş-metal bolluğu ilişkisi.

5. TARTIŞMA/SONUÇ

Bu projede, SDSS-IV DR13'ün APOGEE kataloğundaki (Albareti ve diğ., 2017) KDK yıldızları seçilerek uzaklıkları, uzay hızı bileşenleri ve yörünge parametreleri hesaplanmış ve yıldızların kinematik özellikleriyle birlikte değerlendirilip Galaksimizin farklı bileşenleri için yaş-metal bolluğu ilişkileri incelenerek Galaksi diskinin kimyasal evrimi araştırılmıştır. Evrimleşmiş kırmızı yıldızların ışıma güçlerinin büyük ve etkin sıcaklarının düşük olması elektromanyetik tayfın kızılötesi bölgesinde gözlenmelerine olanak verir. Bu nedenle, yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarma ve sönükleşmeden daha az etkilenirler ve Galaksimizin oluşumu ve evriminin araştırılmasında tercih edilirler.

SDSS-IV DR13'teki APOGEE verileri, yüksek çözünürlüklü (R ~ 22500) ve büyük S/N oranına (>100) sahip tayflardan elde edilmiş, çoğunluğu evrimleşmiş yıldızlardan oluşan bir katalogtur (Albareti vd., 2017). Atmosfer model parametreleri, radyal hızları ve 23 elemente ait bollukları içeren katalogta 2MASS (Skrutskie vd., 2006) yakın kızılötesi parlaklıkları da bulunmaktadır (Cutri vd., 2003). Projede, APOGEE kataloğundaki yıldızların etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi parametrelerine, sırasıyla, $3500 < T_{eff}$ (K) < 6500 ve $0.5 <$ log g (cm/sn^2) < 3.5 sınırlamaları getirilerek 97632 KDK yıldızı belirlenmiştir.

KDK yıldızlarının uzaklıklarının eksik olması veya bulunabilenlerin güvenilir olmamasından dolayı mutlak parlaklıklar, tayfsal paralaks yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Rutchi, 2010). KDK yıldızlarının uzaklıkları, K_s görünen parlaklıklarıyla atmosfer model parametrelerinden belirlenen mutlak parlaklıklardan itibaren Pogson bağıntısından hesaplanmıştır. Yıldızların mutlak parlaklıkları, renk artıkları ve uzaklıkları, Bölüm 3.3'te'de bahsedilen iteratif bir yöntem kullanılarak eş zamanlı hesaplanmıştır.

KDK yıldızlarının uzay hızı bileşenleri ile bu bileşenlerin hataları Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması ve matrisleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan uzay hızı bileşenlerine Galaktik diferansiyel dönme ve LSR düzeltmeleri uygulanmıştır. Toplam uzay hızı hatasına bir sınırlama getirilerek büyük hataya sahip yıldızlar veri setinden çıkartılmış ve daha duyarlı bir KDK yıldız örneği oluşturulmuştur. Böylece, yıldız sayısı 82722 olmuştur. KDK yıldızlarının Galaksi merkezine göre dolandıkları yörüngeleri temsil eden parametreler, Bovy'nin (2015) *galpy* kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Böylece, 82722 KDK yıldızının Galaktik yörünge parametreleri (Galaksi düzleminden itibaren ulaşabilecekleri en büyük uzaklıklar (z_{max}), Galaksi merkezinden en büyük (R_a) ve en küçük (R_p) uzaklıkları ve bu uzaklıkların ortalamaları (R_m), yatay (e_p) ve dikey (e_v) yörünge basıklıkları) tayin edilmiştir. Bu

parametrelerin hesaplanmasıyla KDK yıldızlarının popülasyon tipleri belirlenmiş ve Galaktik düzleme dik doğrultular ile Galaksimizin merkezi doğrultusundaki metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır.

KDK yıldızlarının kinematik özellikleri Galaktik boylam, Galaktik düzlemden dik uzaklık (Z) ve z_{max} parametrelerine göre incelenmiştir. Galaksimizin kuzey ($Z > 0$ kpc) ve güney ($Z \leq 0$ kpc) yarıküreleri arasında kinematik bir farklılığa rastlanmamıştır. Yıldızların Galaktik düzlemden dik uzaklıklarının mutlak değerlerine ($|Z|$) bakıldığında, toplam uzay hızı dispersiyonlarının ince diskten haloya doğru, beklendiği gibi, düzenli şekilde arttığı tesbit edilmiştir. Toplam uzay hızı dispersiyonları, Bensby vd.'nin (2014) verdiği uzay hızı dispersiyonlarından hesaplanan toplam hız dispersiyonuna göre fazladır. Bunun sebebi, veri setimizde Güneş civarından çok daha uzakta yıldızların da olması ve projenin bu aşamasında popülasyon analizi yapılmaması olabilir.

Uzay hızı dispersiyonları Galaktik çeyreklere göre incelendiğinde, I. ($0° \leq l \leq 90°$) ve IV. ($270° \leq l \leq 360°$) çeyreklerdeki toplam uzay hızı dispersiyonlarının II. ($90° \leq l \leq 180°$) ve III. ($180° \leq l \leq 270°$) çeyreklere göre yaklaşık 30 km/sn'lik bir fazlalığı dikkati çekmektedir. I. ve IV. çeyreklerdeki uzay hızı dispersiyonu fazlalığı, Galaksi merkezinde yer alan Galaktik çubuk ve spiral yapının etkisidir. Bu iki yapı, Galaksi merkezi doğrultusundaki yıldızları *ısıtarak*, bunların yörüngelerini etkilemektedir. Bu durum, *alevlenme* mekanizması (Cabrera- Lavers vd., 2007; Bilir vd., 2008; Yaz ve Karaali, 2010) ile açıklanmaktadır.

KDK yıldızları hem Galaktik düzlemden dik uzaklık hem de Galaktik çeyreklere göre kinematik olarak incelendiğinde kuzey yarıküredeki ($Z>0$) yıldızların I ve IV. çeyrekte toplam uzay hızı dispersiyonlarının birbirine eşit olduğu görülmektedir. Fakat bu eşitlik, güney yarıküre ($Z < 0$ kpc) için geçerli değildir. Çünkü güney yarıkürede IV. çeyrekteki KDK yıldız sayısı hız dispersiyonlarının duyarlı şekilde hesaplanması için yeterli değildir. Güney yarıküre II. ve III. çeyreklerindeki toplam uzay hızı dispersiyonlarının kuzey yarıküredekiler ile neredeyse eşit olması veri setimizin duyarlılığını ve Galaksimizin güney ile kuzey yarıküreleri arasındaki hız simetrisini göstermesi bakımından ilgi çekicidir.

KDK yıldızları Galaktik yörüngelerinin Galaktik düzlemden itibaren ulaşabileceği en büyük uzaklıklara (z_{max}) göre sınıflandırılıp dâhil oldukları Galaktik popülasyonlar (genç ve yaşlı ince disk ($0 < z_{max} \leq 0.5$ ve $0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc), ince disk-kalın disk geçiş bölgesi ($1 < z_{max} \leq 2$ kpc), kalın disk ($2 < z_{max} \leq 5$ kpc) ve halo ($5 < z_{max} \leq 10$ kpc) bakımından incelendiğinde Galaktik düzlemden uzaklaştıkça tüm uzay hızı dispersiyonlarının düzgün şekilde arttığı tesbit

edilmiştir. Genç ince diskte toplam uzay hızı dispersiyonu 61 km/sn'den haloya doğru yaklaşık 182 km/sn'ye artmaktadır. Projede elde edilen uzay hızı dispersiyonları, Bensby vd. (2014) tarafından verilen dispersiyonlar ile karşılaştırıldığında ince disk için hesaplanan toplam uzay hızı dispersiyonunun Bensby vd.'nin (2014) değerlerine göre yaklaşık 20 km/sn fazla olduğu görülmektedir. Bu farkın sebebi, Bensby vd.'nin (2014) genelde orta tayf türü anakol yıldızlarını kullanmış olması ve projede ise geniş bir ışıma gücü sınıfı aralığına dağılan evrimleşmiş yıldızlar kullanılmasıdır. Farklı ışıma gücü sınıfından yıldızların uzay hızlarının dağılımları birbirinden farklıdır (Cox, 2000). Yaşlı ince diskin uzay hızı dispersiyonlarına bakıldığında genç ince diskinkilere göre bir miktar arttığı görülmektedir ki bu da Galaktik yapının genel modelinden beklenen bir durumdur. Bensby vd.'nin (2014) kalın disk popülasyonu projede yaşlı ince disk ($0.5 < z_{max} \leq 1$ kpc) ile kalın disk geçiş bölgesine ($1 < z_{max} \leq 2$ kpc) karşılık gelmektedir. Projede bu iki bölgenin hız dispersiyonu bileşenlerinin ve toplam dispersiyonların ayrı ayrı ortalamaları alındığında Bensby vd.'nin (2014) değerleri ile, σ_V hariç, neredeyse aynıdır. Kalın diskin uzay hızı dispersiyonları Bensby vd.'nin (2014) değerlerinden oldukça farklıdır. Bunun sebebinin yıldızların bir kısmının yüksek hızlı halo yıldızı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Halonun uzay hızı dispersiyonları, Bensby vd. (2014) tarafından verilenlerle karşılaştırıldığında, toplam uzay hızı dispersiyonlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bensby vd. (2014) Güneş civarındaki yıldızları incelediğinden çalışmada halo üyelerinin sayıca çok az olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, projede KDK yıldızlarından elde edilen uzay hızı dispersiyonlarının haloyu daha iyi temsil ettiği düşünülmektedir.

KDK yıldızlarının metal bolluğu gradyentleri, bugünkü konumlarına, Galaktik yörünge parametrelerine ve yörünge basıklıklarına göre Galaksi merkezi doğrultusunda ve Galaktik düzleme dik doğrultuda araştırılmıştır. Jacobson vd. (2016) ile Netopil vd. (2016) ince disk popülasyonunun iyi bir göstergesi olan açık kümeleri kullanarak, $5 < R_{gc} < 12$ kpc aralığında, sırası ile -0.100±0.020 ve -0.086±0.009 dex/kpc'lik metal bolluğu gradyentleri bulmuşlardır. Projede, $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc aralığındaki KDK yıldızlarının bugünkü konumlarından itibaren hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti -0.052±0.001 dex/kpc'tir. Bu değer, açık kümelerden bulunandan daha düz bir gradyenti göstermektedir. Ancak, Andreuzzi vd.'nin (2011) $6 < R_{gc} < 22$ kpc aralığındaki açık kümelerin analizinden, -0.040 dex /kpc'lik bulduğu metal bolluğu gradyenti projede hesaplanan değere daha yakındır. APOGEE programının bir önceki veri sürümünü kullanan Hayden vd. (2014) $R_{gc} < 15$ kpc olan kırmızı dev yıldızları kullanarak radyal metal bolluğu gradyentini iki farklı uzaklık aralığı için hesaplamıştır: $0 < |Z| \leq 0.25$ kpc aralığı için -0.090±0.002 dex/kpc ve $0.25 < |Z| \leq 0.50$ kpc aralığı için -0.076±0.003 dex/kpc. Projede elde edilen değerle uyumlu olmaması, Hayden vd.'nin (2014) kullandığı veri

indirgeme algoritmasının sonradan değiştirilmesinden kaynaklanmaktadır. $4 < R_{gc} < 17$ kpc uzaklık aralığındaki Sefeid yıldızlarını kullanan Luck ve Lambert (2011), Pedicelli vd. (2009) ve Lemasle vd. (2008), sırasıyla, -0.062±0.002, -0.051±0.004 ve -0.052±0.003 dex/kpc'lik radyal metal bolluğu gradyenti hesaplamışlardır. Sefeidlerin de evrimleşmiş yıldızlar oldukları dikkate alındığında, projede elde edilen radyal metal bolluğu gradyenti literatürdeki sonuçlara çok yakındır.

Projede, Galaksimizdeki ince disk ($0 \leq |Z| \leq 2$ kpc), kalın disk ($2 < |Z| \leq 5$ kpc), halo ($5 < |Z| \leq 8$ kpc) yıldız popülasyonlarının etkin oldukları uzaklıklar ve tüm KDK örneği ($0 \leq |Z| \leq 8$ kpc) için dikey metal bolluğu gradyentleri, sırası ile, -0.214±0.001, -0.083±0.007, -0.273±0.058 ve -0.158±0.011 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. KDK yıldızlarını kullanan Hayden vd. (2014) ile kırmızı yığın yıldızlarını kullanan Boeche vd. (2014), ince diski temsil eden $0 \leq |Z| \leq 2$ kpc aralığı için, sırası ile, -0.305±0.011 ve -0.112±0.007 dex/kpc'lik metal bolluğu gradyentlerini elde etmişlerdir. Projede aynı uzaklık aralığı için hesaplanan -0.214±0.001 dex/kpc'lik dikey metal bolluğu gradyenti bu iki çalışmadaki değerlerin arasındadır ve uyumludur. Chen vd. (2011) ise, $0.5 < |Z| \leq 3$ kpc aralığı için kırmızı yığın yıldızlarını kullanarak dikey metal bolluğu gradyentini -0.120±0.010 dex/kpc bulmuştur. Bu değer, projedeki $2 < |Z| \leq 5$ kpc için hesaplanan -0.083±0.007 dex/kpc'lik dikey metal bolluğu gradyenti ile karşılaştırılabilir. Tüm KDK yıldızları için hesaplanan d[Fe/H]$/dZ$ = -0.158±0.011 dex/kpc'lik dikey metal bolluğu gradyenti ELS'nin (1962) önerdiği tek bir bulutun çökmesiyle oluşan galaksi modeliyle uyumludur.

Galaksimizdeki yıldızlar Galaksi merkezi etrafında, bulundukları popülasyonun özelliklerine uygun olarak farklı basıklıklara sahip yörüngelerde hareket ettiklerinden yıldızların bugünkü konumlarına göre hesaplanan metal bolluğu gradyentleri gerçek durumu yansıtmayabilir. Galaktik düzleme yakın konumda gözlenen yıldızların içinde, kalın disk ve halo popülasyonuna ait yıldızların bulunma olasılığı yüksektir. Böyle yıldızlar metal bolluğu gradyenti hesaplarında yanılgılara yol açabilir. Bu yanılgıdan kurtulmanın en iyi yolu, popülasyon türlerinin belirlenmesinde rol oynayan z_{max} uzaklıkları yardımıyla metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasıdır.

Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklıklarına göre $0 < z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < z_{max} \leq 1$, $1 < z_{max} \leq 2$, $2 < z_{max} < 5$ ve $5 < z_{max} < 10$ kpc aralıklarına ayrılan KDK yıldızları için radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Projede, $0 < z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı için hesaplanan -0.020 ± 0.002 dex/kpc'lik radyal metal bolluğu gradyenti F-G tayf türünden anakol yıldızlarını kullanan Plevne vd. (2015) ile KY yıldızlarını kullanan Bilir vd.'nin (2012), sırası ile,

hesapladıkları -0.083±0.030 ve -0.041±0.030 dex/kpc'lik gradyentlerden farklıdır. Bu farklılığın sebebi, yıldızların Galaktik yörüngelerinin yatay basıklık parametresinin hesaba katılmaması olabilir. İnce diski temsil eden $0 \leq z_{max} \leq 2$ kpc uzaklık aralığı için hesaplanan dikey metal bolluğu gradyenti -0.110±0.001 dex/kpc'tir ve KY yıldızlarını kullanan Bilir vd.'nin (2012) hesapladığı -0.109±0.008 dex/kpc'lik gradyent ile oldukça uyumludur.

Daha duyarlı metal bolluğu gradyentleri elde etmek için sadece z_{max} değil aynı zamanda yatay basıklık (e_p) parametresi de dikkate alınmalıdır (Plevne vd., 2015; Önal Taş vd., 2016). $e_p \leq 0.10$ basıklığındaki yörüngelere sahip yıldızlardan $0 \leq z_{max} < 0.5$, $0.5 \leq z_{max} < 1$ ve $1 \leq z_{max} < 2$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırası ile, -0.059±0.002, -0.046±0.003 ve -0.017±0.003 dex/kpc'tir. Aynı uzaklık aralıkları için KY yıldızlarını kullanan Önal Taş vd. (2016), sırası ile, -0.053±0.004, -0.039±0.005 ve -0.001±0.011 dex/kpc'lik gradyent hesaplamıştır. Önal Taş vd. (2016), $e_p \leq 0.20$ basıklığındaki yörüngelere sahip KY yıldızlarından ise $0 \leq z_{max} < 0.5$, $0.5 \leq z_{max} < 1$ ve $1 \leq z_{max} < 2$ kpc uzaklık aralıkları için, sırası ile, -0.044±0.002, -0.031±0.002 ve +0.002±0.004 dex/kpc'lik radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplamıştır. Projede, aynı uzaklıklar için -0.050±0.001, -0.037±0.001 ve -0.016±0.001 dex/kpc'lik radyal metal bolluğu gradyentleri bulunmuştur. Yöntemleri aynı, veri setleri farklı iki çalışmanın birbiri ile böyle uyumlu sonuçlar vermesi önemlidir.

Projede, metal bolluğu gradyenti hesaplanırken Galaktik düzlemden ulaşabilecekleri en büyük uzaklık z_{max} ve yatay yörünge basıklığı e_p paramatrelerinin birer kriter olarak eş zamanlı değerlendirilmesinin gerekliliği gösterilmiştir.

KDK yıldızlarının yaşları Bayesian istatistiğine dayalı bir yöntemle hesaplanmıştır. Bu yöntemde APOGEE tayfsal taramasından belirlenmiş evrimleşmiş yıldızların atmosfer model parametreleriyle PARSEC eş-yaş eğrileri karşılaştırılarak ve gözlemsel parametrelerin hataları da dikkate alınarak yıldızların yaşları tayin edilmiştir.

Galaksimizde yaş-metal bolluğu ilişkisinin incelenmesi için yıldızların yaşları ile metal bollukları arasında en küçük kareler metodu kullanılarak doğrusal fitler elde edilmiştir. Projede elde edilen bulguların yanlılıklarını giderebilmek için KDK yıldız örneği içinde gömülü olan KY yıldızları da dikkate alınmıştır. Yaş-metal bolluğu ilişkisinde KDK yıldızları için -0.021±0.001 dex/Gyıl bir eğim elde edilmişken, KY yıldızları için bu değer -0.028±0.001 dex/Gyıl olarak hesaplanmıştır. Galaktik yörünge parametrelerine göre popülasyon ayrımı yapılan KDK ve KY yıldızları için de benzer analizler yapılmıştır. Bunun için her iki yıldız grubu, $0< z_{max} \leq 0.5$, $0.5< z_{max} \leq 1$, $1< z_{max} \leq 1.5$, $1.5< z_{max} \leq 2$, $2< z_{max} \leq 5$ ve $5< z_{max} \leq 10$ kpc uzaklık aralıklarına ayrılmıştır.

KDK yıldızları için Galaktik düzlemden uzaklaştıkça yaş-metal bolluğu eğimleri 0.008'den 0.023 dex/Gyıl değerine değişirken KY yıldızları için 0.018'den 0.034 dex/Gyıl değerine artmaktadır. KY yıldızlarından hesaplanan eğimlerin KDK yıldızlarına göre ortalama %50 daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde yaş-metal bolluğu arasındaki ilişkiler istatistiksel açıdan güçlü görülmediğinden gradyent değeri yerine aradaki ilişkinin eğimi hakkında bilgiler verilmektedir. Projede, yüksek çözünürlüklü tayflardan elde edilen atmosfer model parametreleri ve çok sayıda evrimleşmiş yıldız kullanıldığından, istatistiksel açıdan duyarlı yaş tayinleri yapıldığından, kinematik ve dinamik özellikler bakımından KDK ve KY yıldızları popülasyon türlerine ayrılabildiğinden yaş-metal bolluğu gradyentleri yeterince duyarlı hesaplanmıştır.

Projede, evrimleşmiş kırmızı yıldızların tayfsal, fotometrik ve astrometric verilerinden itibaren hesaplanan Galaktik düzleme dik ve Galaksi merkezine göre radyal doğrultularda metal bolluğu gradiyentleri değerlendirildiğinde Galaktik düzleme yakın uzaklıklarda, Galaksi diskinde, belirgin bir metal bolluğu gradyentinin olduğu, düzlemden uzaklaştıkça gradyentin düzleştiği, sıfıra çok yakın olduğu tesbit edilmiştir. Bu sonuç, Galaksi diskinin oluşumunun Chiappini, Matteucci ve Gratton'un (1997) önerdiği *İkili Çökme Modeli* ile uyumlu olduğunu gösterir. *İkili Çökme Modeline* göre**,** ilk çökme döneminde halo, şişkin bölge gibi küresel bileşenler ve kalın diskin büyük bir kısmı oluşurken, daha yavaş süren ve hala devam eden ikinci çökme döneminde ise ince disk oluşmuştur. Ayrıca, metal bolluğu gradyentlerinin değişmesinin Galaksi diskindeki tedirginlikler nedeniyle yıldızların radyal göçe maruz kalmasından olduğu da söylenebilir.

KAYNAKLAR

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

Albareti, F. D., Allende Prieto, C., Almeida, A. vd. 2017. "The Thirteenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-IV Survey Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory", The Astrophysical Journal Supplement Series, 233, article id. 25, 25.

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

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

Anders, F., Chiappini, C., Rodrigues, T. S., Piffl, T., Mosser, B., Miglio, A. vd. 2016. "Galactic Archaeology with CoRoT and APOGEE: Creating mock observations from a chemodynamical model", Astronomische Nachrichten, 337, 926.

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.

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.

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.

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

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

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

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

Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L. vd. 2012. “PARSEC: Stellar Tracks and Isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427, 127-145.

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

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

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

Bovy, J. 2015 “galpy: A python Library for Galactic Dynamics”, The Astrophysical Journal Supplement Series, 216, 29.

Buzzoni, A., Patelli, L., Bellazzini, M. vd. 2010. “Bolometric Correction and Spectral Energy Distribution of Cool Stars in Galactic Clusters”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 403, 1592-1610.

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

Chen, Y. Q., Nissen, P. E., Zhao, G., Zhang, H. W., Benoni, T. 2000. “Chemical Composition of 90 F and G Disk Dwarfs”, Astronomy and Astrophysics Supplement, 141, 491-506.

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.

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

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

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

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

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

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

Duran, Ş., Ak, S.; Bilir, S., Karaali, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., Coşkunoğlu, B. 2013. “Local Stellar Kinematics from RAVE Data: IV. Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation”, Publications of the Astronomical Society of Australia, 30, id.e043 18.

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, 101-150.

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.

Feltzing, S., Holmberg, J., Hurley, J. R. 2001. “The Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation - Does It Exist?”, Astronomy and Astrophysics, 377, 911-924.

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

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

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T. vd. 2016. “Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties”, Astronomy and Astrophysics, 595, id.A2, 23.

García Pérez, A. E., Allende Prieto, C., Holtzman, J. A. vd. 2016. “ASPCAP: The APOGEE Stellar Parameter and Chemical Abundances Pipeline”, The Astronomical Journal, 151, 144.

Ge, J., Mahadevan, S., Lee, B. vd. 2008. “The Multi-object APO Radial-Velocity Exoplanet Large-area Survey (MARVELS), Extreme Solar Systems”, ASP Conference Series, 398, proceedings of the conference held 25-29 June, 2007, at Santorini Island, Greece. Editor: D. Fischer, F. A. Rasio, S. E. Thorsett, and A. Wolszczan, 449.

Girardi, L., Salaris, M. 2001. “Population Effects on the Red Giant Clump Absolute Magnitude, and Distance Determinations to Nearby Galaxies”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 323, 109-129.

Gunn, J. E., Siegmund, W. A., Mannery, E. J. vd. 2006. “The 2.5 m Telescope of the Sloan Digital Sky Survey”, The Astronomical Journal, 131, 2332-2359.

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

Hayden, M. R., Bovy, J., Holtzman, J. A. vd. 2015. “Chemical Cartography with APOGEE: Metallicity Distribution Functions and the Chemical Structure of the Milky Way Disk”, The Astrophysical Journal, 808, 132.

Haywood, M., Di Matteo, P., Lehnert, M. D., Katz, D., Gómez, A. 2013. “The Age Structure of Stellar Populations in the Solar Vicinity. Clues of a Two-phase Formation History of the Milky Way Disk”, Astronomy and Astrophysics, 560, id.A109, 18.

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

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

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

Kregel, M., vander Kruit, P.C., Freeman, K.C. 2005. “Structure and Kinematics of Edge-0n Galaxy Discs-V. The Dynamics of Stellar Discs”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 358, 503-520.

Lee, M. G., Freedman, W. L., Madore, B. F. 1993. “The Tip of the Red Giant Branch as a Distance Indicator for Resolved Galaxies”, Astrophysical Journal, 417, 553.

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

Lin, J., Dotter, A., Ting, Y., Asplund, M. 2018. “Stellar Ages and Masses in the Solar Neighbourhood: Bayesian Analysis Using Spectroscopy and Gaia DR1 Parallaxes”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 477, 2966.

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.

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

Majewski, S. R., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P. M. vd. 2015. “The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE)”, Astronomische Nachrichten, 337, 863.

Maness, H., Martins, F., Trippe, S. vd. 2007. “Evidence for a Long-standing Top-heavy Initial Mass Function in the Central Parsec of the Galaxy”, The Astrophysical Journal, 669, 1024-1041.

Marshall, D. J., Robin, A. C., Reylé, C. vd. 2006. “Modelling the Galactic Interstellar Extinction Distribution in Three Dimensions”, Astronomy and Astrophysics, 453, 635-651.

Michalik, D., Lindegren, L., Hobbs, D. 2015. “The Tycho-Gaia astrometric solution. How to get 2.5 million parallaxes with less than one year of Gaia data”, Astronomy and Astrophysics, 574, 115.

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

Minchev, I., Martig, M., Streich, D., Scannapieco, C., de Jong, R. S., Steinmetz, M. 2015. “On the Formation of Galactic Thick Disks”, The Astrophysical Journal Letters, 804, id. L9, 5.

Ness, M., Hogg, David W., Rix, H.-W., Ho, Anna. Y. Q., Zasowski, G. 2015. “The Cannon: A Data-driven Approach to Stellar Label Determination”, The Astrophysical Journal, 808, id. 16, 21

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.

Ng, Y. K., Bertelli, G. 1998. “Revised Ages for Stars in the Solar Neighbourhood”, Astronomy and Astrophysics, 329, 943-950.

Nidever, D. L., Holtzman, J. A., Allende Prieto, C. vd. 2015. “The Data Reduction Pipeline for the Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment”, The Astronomical Journal, 150, 173.

Nordström, B., Mayor, M., Andersen, J., Holmberg, J., Pont, F., Jørgensen, B. R., Olsen, E. H., Udry, S., Mowlavi, N. 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.

Olsen, E. H. 1983. “Four-colour UVBY and H-beta Photometry of A5 to G0 Stars Brighter than 8.3 M”, Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 54, 55-134.

Olsen, E. H. 1993. “Stromgren Four-Colour UVBY Photometry of G5-TYPE Hd-Stars Brighter than MV=8.6”, Astronomy and Astrophysics Supplement, 102, 89-138.

Önal Taş, Ö., Bilir, S., Seabroke, G. M., 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, 33, id.e044 20.

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

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.

Pols, O.R., Schröder, K.P., Hurley, J.R., Tout, C.A., Eggleton, P.P. 1998. “Stellar evolution models for Z = 0.0001 to 0.03”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 298, 525.

Pont, F., Eyer, L. 2004. “Isochrone Ages for Field Dwarfs: Method and Application to the Age-metallicity Relation”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 351, 487-504.

Pulone, L. 1992. “AGB Clump as Standard Candle”, Società Astronomica Italiana, 63, 485-490.

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.

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, 2010, Publication Number: AAT 3483371; ISBN: 9781124992440; Source: Dissertation Abstracts International, 73-01, 160.

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.

Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P. 2011 “Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD”, The Astrophysical Journal, 737, 103.

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

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

Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R. vd. 2006. “The Two Micron All Sky Survey (2MASS)”, The Astronomical Journal, 131, 1163-1183.

Soubiran, C., Bienaymé, O., Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V. 2008. “Vertical Distribution of Galactic Disk Stars. IV. AMR and AVR from Clump Giants”, Astronomy and Astrophysics, 480, 91-101.

Twarog, B. A. 1980. “The Chemical Evolution of the Solar Neighborhood. II - The Age-Metallicity Relation and the History of Star Formation in the Galactic Disk”, Astrophysical Journal, 242, 242-259.

Vickers, J. J., Roeser, S., Grebel, E. K. 2016. “A Global Correction to PPMXL Proper Motions”, The Astronomical Journal, 151, 99.

Vidojević, S., Ninković S. 2009. “Kinematics and Metallicity Analysis for Nearby F, G and K Stars”, Astronomische Nachrichten, 330, 46-54.

Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, H. J. vd. 2009. “SEGUE: A Spectroscopic Survey of 240,000 Stars with g = 14-20”, The Astronomical Journal, 137, 4377-4399.

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

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

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. SERAP AK
Proje No:	116F398
Proje Başlığı:	Galaksi Diskinin Kimyasal Evriminin Apogee Taramasındaki Kırmızı Dev Yıldızlar İle İncelenmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSTANBUL Ü. FEN F. ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/10/2017 - 01/10/2018
Onaylanan Bütçe:	30000.0
Harcanan Bütçe:	27250.0
Öz:	Görünen maddenin büyük kısmının toplandığı Galaksi diskinin nasıl oluştuğunun incelenmesi Galaksimizin oluşum ve evriminin anlaşılmasını sağlar. Bunun için farklı nesneler ve gözlemsel verilerin kullanılması önemlidir. Sığ ve derin gökyüzü tarama programlarından elde edilen gözlemsel fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerin birlikte kullanılması Galaksimizin daha ayrıntılı incelenmesini sağlar. Duyarlı atmosfer modeli parametrelerinin belirlendiği evrimleşmiş kırmızı yıldızlar da iyi bir uzaklık göstergesi olarak kullanılabilir. Projede SDSS-IV DR13'ün APOGEE kataloğundaki duyarlı verilerden kırmızı dev yıldızlar seçilerek parametreleri iyi bilinen bir örnek oluşturulmuş ve yanlılıkların en aza indirilmesi sağlanmıştır. Yıldız örneğinin bugünkü konumlarından ve Galaktik yörünge parametrelerinden itibaren metal bolluğu gradyentleri hesaplanarak, bu gradyentlerin yıldız yaşlarına, popülasyon türlerine, yörünge basıklıklarına bağlılığı incelenmiş ve elde edilen sonuçların yıldızların radyal göçünden etkilenip etkilenmediği tartışılmıştır. Galaksi diskinin kimyasal evrimi hakkında bilgi elde etmek için yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişki popülasyon analizi yapılarak araştırılmış ve metalce zengin yıldızlardan fakir yıldızlara doğu gidildikçe yıldız yaşlarının arttığı görülmüştür. Kırmızı dev kolu yıldızlarından elde edilen yaş-metal bolluğu ilişkisinin eğimi -0.021+/-0.001 dex/Gyıl iken kırmızı yığın yıldızlarından hesaplanan eğim -0.028+/-0.001 dex/Gyıl dır. Metal bolluğu gradyentlerinden elde edilen bulgulara göre, Galaksi diskinde belirgin bir metal bolluğu gradyentinin gözlendiği, düzlemden uzaklaştıkça gradyentin düzleştiği tesbit edilmiştir. Bu sonuç, Galaksi diskinin oluşumunun İkili Çökme Modeli ile uyumlu olduğunu gösterir.
Anahtar Kelimeler:	Galaksi, Disk, Kinematik ve Dinamik, Oluşum ve Evrim, Yıldız, Kırmızı Dev, Popülasyonlar
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

TÜBİTAK