

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

GALAKSİMİZİN KİNEMATİK YAPISI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sevinç KORKMAZ**

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tuncay ÖZDEMİR

Haziran 2022

TEŐEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aőamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgmeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Tuncay Özdemir 'e,

Çalıőmalarımda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince benden her türlü desteklerini aileme,

Bu yüksek lisans tezi İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından (BAP) FYL-2021-2383 nolu proje ile desteklenmiştir. İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine,

teőekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora veya yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Galaksimizin Kinematik Yapısı” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Sevinç KORKMAZ



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ 1	
1.1. Galaksi	1
1.2. Samanyolu Galaksisi.....	2
1.3. Samanyolu Galaksi Bileşenleri	3
2. KÜME YILDIZLARI	6
2.1. Açık Küme Yıldızlar.....	6
2.2. Küresel Küme Yıldızlar	7
2.3. Küresel Küme Yıldızların Oluşum Evrimi	8
2.4. Küresel Yıldız Kümelerin Metal Yoğunlukları	10
3. YILDIZ POPULASYONLARI	12
4. RR LYRAE DEĞİŞENİ	13
4.1. Genel Özellikleri.....	13
4.2. Hertzsprung-Russell Diyagramları	14
4.3. RR Lyrae değişenin Hertzsprung-Russell Diyagramı	14
4.4. Kararsızlık Şeridi	15
4.5. RR Lyrae Yıldızlarının Astronomi Alanındaki Önemi.....	16
4.6. RR lyrae dönem dağılımı	18
4.7. RR Lyrae Sınıflandırılması	18
4.8. Blazhko Etkisi.....	22
5.RR LYRAE YILDIZLARIN HIZ VE MESAFE TAHMİNİ	27
5.1. Yıldızların Uzay Hareketleri Ve Yıldız (Mesafe) Uzaklıkları Ölçümü.....	27
5.2. Yıldız Uzaklık Ölçümü	27
5.3. Yıldız Kinematığı	28
6. GAIA UYDUSU VE GÖREVİ	31
7. YILDIZLARIN UZAY HIZ BİLEŞENLERİNİN HESAPLANMASI	36
8. RR LYRAE METALLİĞİ VE HIZ TAHMİNİ	41
8.1. RR Lyrae Yıldızının Metal Bolluğu	41
8.2. Yıldızların Yaş Hız ve Metal Bolluğu Araslarındaki İlişki	42
9. SONUÇLAR	45
10.EKLER	52
KAYNAKLAR	58
ÖZ GEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Hubble dizisindeki galaksilerin sınıflandırılması	1
Şekil 2.1: Gökada Merkezinde merkezlenmiş bir X, Y, Z koordinat sisteminde Küresel Küme konumlarının grafiği. Küresel kümelerin galaksinin merkezi etrafında küresel olarak dağıldığını gösteriyor. Kredi bilgileri: Dr.Christopher Palma.....	8
Şekil 2.2: Küresel yıldız kümesi M3 için renk-şiddet diyagramı. Eğimdeki karakteristik 19 şiddetindeki bölgede yıldızların kendi evrim yollarındaki dev aşamaya geçişi gösteriyor.	10
Şekil 2.2: Samanyolu galaksisinin kimyasal bileşenleri.	11
Şekil 4.1: RR Lyrae değişken yıldızları, renk ve parlaklık arasındaki Hertzsprung-Russell diyagramında belirli bir alana düşer. R Lyrae değişkenlerinin Hertzsprung-Russell diyagramındaki yeri. https://tr.wikipedia.org/wiki/RR_Lyrae	15
Şekil 4.2: RR Lyrae yıldız değişkeninin kararsızlık şeridi https://www.aavso.org/vsots_rrlyr	16
Şekil 4.3: RR Lyrae türü değişkenlerin Bailey sınıflaması (www.univie.ac.at/tops/blazhko/Generalities.html).....	20
Şekil 4.4: Bir RRab yıldızının OGLE ışık eğrisi (Soszyński et al. 2003).....	20
Şekil.4.5: RRc yıldızının OGLE ışık eğrisi (Soszyński et al. 2003).....	21
Şekil 4.7: Tür a, Tür b, Tür c'nin dönem ve genliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Ledoux and Walraven 1958)	22
Şekil 4.8. RRab, RRc ve RRd türü yıldızların yarıçaplara bağlı olarak zonklama modları (Carrol2007).....	24
Şekil 4.9: Blazhko etkisi için makul modellere şematik genel bakış. (acikders.ankara.edu.tr).....	25
Şekil 6.1: Gaia uydusu (http://sci.esa.int/gaia/)	31
Şekil 6.2: Solar mahallesindeki yıldızların Gaia hız dağılımı. Resim, 366182 yıldızın 200 pc'den daha yakın hızlarını göstermektedir. Güneş'in hareketinin referans çerçevesinde Galaktik radyal hızın (yatay eksen) ve dönme yönündeki hızın (dikey eksen) 2D bir histogramıdır.	32
Şekil 6.3: Görüntüdeki izler, güneşten 100 parsek uzaklıkta bulunan 40.000 yıldızın gökyüzünde 400 bin yıl boyunca nasıl hareket ettiğini göstermektedir; her iz bir yıldızın yer değiştirmesini temsil etmektedir. Kredi : ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO.	33

Şekil 6.4: Güneş sisteminden görüldüğü gibi, gösterilen Galaktik antik merkezin yönü ile Samanyolu'nun genel görünümü: ESA / Hubble, Taslak: ESA / Gaia / DPAC .	34
Şekil 8.1: 14 küresel küme için birleşik HRD'yi göstermektedir. Buradaki farklılıklar öncelikle kimyasal bileşimde ve bunun yıldız evrimini etkileme biçimindedir. Kırmızı daha ağır elementler içerirken , mavi daha az elementler içermektedir.Kredi: Gaia Collaboration, Babusiaux, C., van Leeuwen, F., Barstow, MA et al. 2018a(bağlantı harici), A&A (Gaia.....	43
Şekil 9.1: Bir Grup RR Lyrae küresel küme yıldızlarının kimyasal bileşenlerine göre yaş dağılımı	48
Şekil 9.2: RR Lyrae türü değişen yıldızın galaktik U,V,W radyal hızlarının ölçüm grafiği	48
Şekil 9.3: RR Lyrae yıldızların galaktik hız elipsoidleri	49
Şekil 9.4: RR Lyrae yıldızlarının galaktik enlem ve boylam hız grafiği	49
Şekil 9.5: Bir grup seçilmiş RR Lyrae yıldızların metal bolluğu hız eğrisi.....	51

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Å	: Angstrom
b	: Galaktik enlem (derece)
B	: Mavi parlaklık (kadir)
d	: Uzaklık (pc)
d	: Morotesi fazlalık (kadir)
dex	:10 tabanında logaritmik olarak bolluk birimi
[Fe/H]	: Demir bolluğu
Gaia	: Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
Gaia EDR3	: Gaia data early release 3
GCVS	: General Catalogue Of Veriable Stars
Gyl	: Milyar yıl
H-R	: Hertzsprung-Russell
km	: Kilometre
kpc	: Kiloparsek
l	: Galaktik boylam (derece)
L	: Işıma gücü
log g	: Yüzey çekim ivmesi
[M/H]	: Ağır element bolluğu
M_v	: V bandı mutlak parlaklık (kadir)
Myıl	: Milyon yıl
M_☉	: Güneş kütlesi
pc	: Parsek
sa	: Saat
sn	: Saniye
t	: Küme yaşı (yıl)
T_{eff}	: Etkin sıcaklık
U	: Morötesi parlaklık (kadir)
V	: Görünen parlaklık (kadir)
Z	: Ağır element bolluğu
α	: Standart sisteme donuşum katsayısı
α₂₀₀₀	: Sağ açıklık
δ₂₀₀₀	: Dik açıklık
σ_c	: Küme üyesi yıldızların gerçek öz hareket dispersiyonu

σ_V : V bandındaki ortalama hata
 π : Paralaks



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GALAKSİMİZİN KİNEMATİK YAPISI

Sevinç KORKMAZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

60+VII sayfa

2022

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Tuncay ÖZDEMİR

Tez çalışmasında Samanyolunun küresel küme yıldızlarından olan RR Lyrae yıldız gruplarının radyal hız ve metal bollukları arasındaki ilişki incelenerek kinematik yapıları araştırılmıştır. General Catalogue Of Variable Stars (GCVS) veri setinden 1897 RR Lyrae yıldız seçilmiştir. Seçilen yıldızların hız ölçümleri için gerekli radyal hız verileri Gaia data early release 3 (Gaia Collaboration, 2020) arşivden elde edilmiştir. 1897 RR Lyrae yıldızın ilk yüz ölçümü incelenerek radyal hızları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu 1897 RR Lyrae yıldızların sadece 149'unun radyal hızına ulaşılmıştır. Yıldızların metal bolluk analizi için RAVE 5. veri sürümü (Kunder+, 2017) kullanılmıştır . Ayrıca bu veri dışında LAMOST DR5 kataloğu (04/07/2019) versiyonuna bakılarak yıldız metal bolluk analiz tablosu oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Galaksi, yıldız kinematığı, RR Lyrae, Metal bolluğu

ABSTRACT

Master Thesis

Kinematics of our Galaxy

Sevinç KORKMAZ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Physics

60+VII sayfa

2022

Supervisor: ass.prof. Tuncay ÖZDEMİR

In the thesis study, the relationship between radial velocity and metal abundances of RR Lyrae star groups, one of the globular cluster stars of the Milky Way, was examined and their kinematic structures were investigated. 1897 RR Lyrae stars were selected from the General Catalog Of Variable Stars (GCVS) data set. The radial velocity data required for velocity measurements of selected stars were obtained from the archive of Gaia data early release 3 (Gaia Collaboration, 2020). The first face measurement of the 1897 RR Lyrae star was examined and its radial velocities were tried to be determined. Only 149 of these 1897 RR Lyrae stars achieved radial velocity. RAVE data version 5 (Kunder+, 2017) was used for metal abundance analysis of stars. In addition, apart from this data, a star metal abundance analysis table was created by looking at the version of the LAMOST DR5 catalog (04/07/2019).

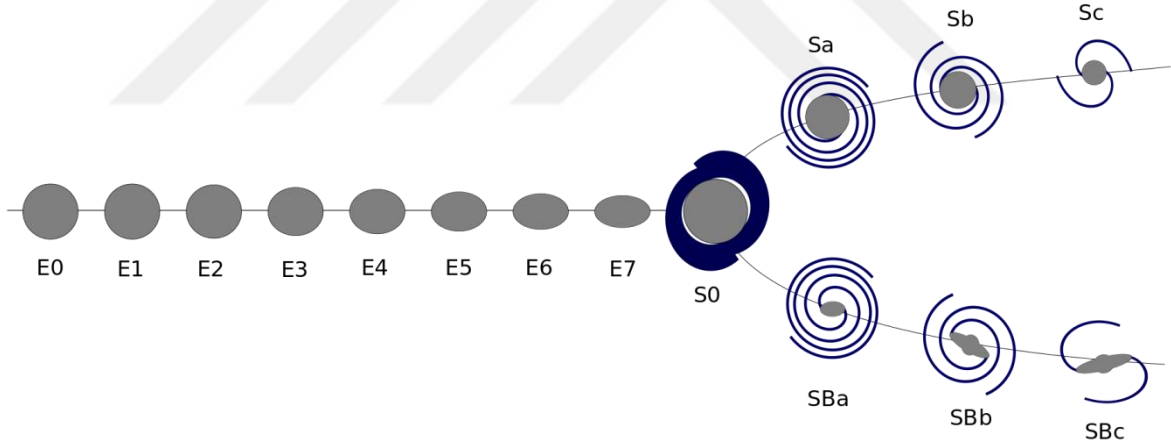
Keywords: Galaxy, stellar kinematics, RR Lyrae, Metal Abundance

1. GİRİŞ

1.1. Galaksi

Galaksi (Gök ada), kütle çekimi kuvvetiyle birbirine bağlı yıldızlar, yıldızlararası gaz, toz ve plazmanın meydana getirdiği yıldızlararası madde ve karanlık maddeden oluşan sistemdir. Tipik galaksiler 10 milyon (cüce galaksi) ile bir trilyon (dev galaksi) arasındaki miktarlarda yıldız içerirler. Galaksinin içerdiği yıldızların hepsi o galaksinin kütle merkezini eksen alacak şekilde yörüngesinde dönerler. Her bir galaksi içerisindeki yıldız sayısı, yapısı ve gaz bulutları bakımından birbirlerinden farklılık göstermektedir. Galaksilerin özelliklerini belirleyici kılan çoğunlukla yıldızlar olmaktadır.

Biçimsel olarak farklılık gösteren galaksi sınıflandırması, astronomların görüşlerine göre gruplara ayırdıkları bir sınıflandırma sistemidir. Bu sistem içinde kullanılan çeşitli düzenlerin en bilineni, Edwin Hubble'ın bulduğu ve Gérard de Vaucouleurs ile Allan Sandage'ın geliştirdiği Hubble düzenidir.



Şekil 1.1: Hubble dizisindeki galaksilerin sınıflandırılması

Hubble düzeni, Edwin Hubble tarafından 1925 yılında geliştirilmiş bir gök ada sınıflandırma düzenidir. Bu düzene göre galaksiler, sağdan eliptik olarak başlarlar ve adları E0 ile E7 olarak değişir. E imgesi biçimi temsil ederken rakam, gök adanın ne kadar oval biçiminde olduğunu gösterir. Örneğin 0 rakamı galaksinin dairesel olduğunu ifade eder iken , 7 imgesi bu galaksi türünün son derece basık olduğu anlamını çıkarmaktayız. Galaksiler S0 (merceksi) galaksiden başlayıp iki ayrı gruba ayrılırlar. Üst grup ,sarmal

galaksileri içerir. S imgesi sarmal anlamına gelir, sonraki harf ise sarmalların dağılımlarını tanımlamaktadır. 0 imgesi ise sarmal kolların yer almadığını, sonraki imgeler de son derece dışa açık ve belirgin kollarının yer aldığını vurgulamaktadır. Alt grup çubuklu sarmal galaksileri içermektedir. Gök ada merkezinde çubuğun yer aldığı bilgisi B imgesi ile gösterilmektedir. Bu sınıflamanın hiçbirine uymayan galaksilere ise düzensiz galaksi denmektedir ve Irr imgesi ile gösterilmektedir.

Yıldız toplulukları galaksilerin belirteçleridir. Amerikalı gökbilimci William Wilson Morgan yıldızların tayflarına göre Yerkes (veya Morgan) düzeni olarak adlandırılan galaksi sınıflandırmasını oluşturmuştur. Yerkes düzeni; şekil, reel ve görünüm durumuyla gökadalardaki yıldız tayfını ve gökadalara sınıflandırmak için merkezi konsantrasyon derecesini kullanmıştır.

1.2. Samanyolu Galaksisi

Yüzyıllardır cazibesini koruyan ve her dönem de ilgiyi üzerine çekmeyi başaran Samanyolu galaksimiz, yaklaşık 200 ila 400 milyar yıldız içeren büyük bir çubuklu sarmal gökadadır. Çubuklu yapısı ve sarmal kollarının oldukça gevşek bir şekilde sarılmış olması, Hubble galaksi sınıflandırma şemasında Sbc veya SBbc tipi olduğunu göstermektedir. Ana bileşenleri bir disk, bir merkezi çıkıntı ve bir halodur. Samanyolunun çapı, 100.000 ışık yılı disk kalınlığı 2.300 - 2.600 ışık yılı, çıkıntı kalınlığı 16.000 ışık yılıdır. Galaksinin bileşenleri büyük ölçüde bağımsız görünse de, uyum içinde çalışacak şekilde düzenlenmiş bir tablo olarak araştırılmayı beklemektedir (1). Bu muazzam cazibeli tabloyu ilk olarak kendi yaptığı teleskopuyla Galileo incelemiştir. Gördüklerini 1610 'da "Yıldız Habercisi" kitabıyla yayınlamıştır. Galileo' nun yazmış olduğu bu eserin bir bölümünün de samanyolunun sayısız yıldızlardan oluştuğundan bahsetmiştir.

Galaksimizin merkezdeki çubuk şeklindeki yıldız yoğunlaşmasının iki ucundan logaritmik spiral şeklinde uzayan iki ana kol ve yardımcı kollar Galaksimizin şeklini oluşturur. Bu görüş ilk olarak 1990'larda gündeme gelmiş, 2005 yılında Spitzer Uzay Teleskobundan alınan bilgilerle kuvvetlendirilmiştir. Spitzer Uzay Teleskobu (SST) (daha önceki adı Kızılötesi Uzay Teleskobu Tesisi, SIRTF), 2003 yılında uzaya gönderilen ve 30 Ocak 2020'de kullanım dışı bırakılan bir kızılötesi uzay teleskopudur. Günümüzde bile, eskiden donanımına rağmen, SST teleskobu bilimsel katkılar üretmeye devam ediyor- büyük ölçüde Dünya'nın atmosferi kızılötesi ışığın çoğunu engellediğinden, uzay tabanlı gözlemleri tüm kızılötesi gökyüzünü görmek için tek seçenek haline getiriyor. Örneğin,

yaşana bilirlilik ve yaşam belirtileri için dış gezegen atmosferlerini araştırmak için tartışmasız şu anda mevcut en iyi teleskop olmaya devam etmektedir.

Bizim bu çalışmada da yararlandığımız en güncel veri kaynağı GAIA uzay teleskopu olmuştur. Avrupa Uzay Ajansı tarafından gönderilmiş olan Gaia Uydusu (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), bir milyar yıldızla ilgili ilk ölçümlerini tamamladı. Bu veri ile yapılan ilk katalog, bugüne dek yapılan en kapsamlı gökyüzü taramasıdır. Gaia, Galaksimizin kompozisyonunu, oluşumunu ve evrimini ortaya koyan süreçte Galaksimiz Samanyolu'nun üç boyutlu bir haritasını çizme hedefi iddialı bir görevdir. Gaia, Galaksimizde ve Yerel Grup genelinde yaklaşık bir milyar yıldızın spektroskopik ve kinematik bir sayımını üretmek için gereken doğruluklarla eşi görülmemiş konumsal ve radyal hız ölçümleri sağlamaktadır. Ayrıca birçok yıldızın zamana bağlı özellikleri ile ilgili de bilgi vermiş olacaktır. Gaia'nın gzleyeceği yıldız sayısı, 1 milyar kadar yıldız, galaksimizdeki yıldızların sayısının en iyi ihtimalle yalnızca %1'i kadar. Görev 2020'de tümüyle tamamlandığında, 1 milyar yıldızın uzaklık ve hareketleri çok büyük duyarlılıkla ölçülmüş olacak. Bu da pek çok yıldızın sıcaklık, evrim gibi özelliklerinin çok daha duyarlı olarak belirlenebilmesine ışık tutacak. Gaia uzay aracı, Cebreros (İspanya) , New Norcia (Avustralya) ve Malarge (Arjantin) yer istasyonları kullanılarak Avrupa Uzay Operasyonları Merkezi'nden (ESOC, Darmstadt, Almanya) kontrol edilmektedir .Bilim operasyonları Avrupa Uzay Astronomi Merkezi'nden (ESAC, Villafranca del Castillo, İspanya) yürütülmektedir. 9 Aralık 2013 tarihinde gönderilen uydu, bilimsel çalışmasına 2014 Temmuz ayında başlamıştır. Yayınlanan ilk veri, 2013-2015 Eylül ayına kadar olan gözlemleri kapsamaktadır.

1.3. Samanyolu Galaksi Bileşenleri

Gökadamız yaklaşık 400 milyar yıldızdan oluşan büyük, düzleştirilmiş veya disk şekilli bir sistemdir. Samanyolu mükemmel bir sarmal gökada değildir, bunun yerine NASA'nın 2005 yılında Spitzer Uzay Teleskobundan gelen yeni kızılötesi gözlemlere göre merkezinde uzun bir çubuk olduğu kesinleşmiştir. Çubuklu sarmal Galaksimize ait altı tane bileşenden söz edilmektedir. Bunlar; İnce Disk, Kalın Disk, Halo, şişkin Bölge, Karanlık Halo ve Yıldızlararası ortamdır. Ana bileşenleri bir disk, bir merkezi çıkıntı ve bir halodur .

Galaksi merkezinde, iç yarıçapın yaklaşık yüzde 10 ila 15'ini kaplayan büyük, kabaca küresel bir çekirdek yıldız çıkıntısı var. Çekirdekten çıkan, içinden daha ince spiral kolların geçtiği ince, bir yıldız diski vardır. Disk kalınlığı yaklaşık 2.300 - 2.600 ışık yılıdır.

Galaksinin gözlemlenebilir kütesinin yaklaşık yüzde 95'i, görünüşe göre yıldızlara bağlıdır geri kalanı, spiral kollarda kollar arasındaki bölgelere göre daha büyük bir yoğunluğa sahip olan diskin etrafına serpilmiş gaz ve toz taneleridir.

İnce disk popülasyondaki yıldızlar Galaksi merkezi etrafında dairesel yörüngeler de dolanırlar. İnce disk popülasyonlarındaki yıldızların yaşam evrelerine göre iki grup olarak gözlemlenmiştir. İnce disk genç yıldızları ve ince disk yaşlı yıldızları olarak iki grup yıldız bulunmaktadır. Farklı tayf türünden metal bolluğu içeren ince disk yıldızları, diskin orta düzlemin altında ve üstünde farklı dağılımlara sahiptirler. Yaşlı ince disk yıldızları (GKM) yaklaşık 300 paralaks (pc) 'lik bir yükseklikte galaktik dağılım göstermektedirler. İnce disk genç yıldız grubundakiler (OB) ise yaklaşık 50-60 pc yüksekliğindeki galaktik dağılıma sahiptirler. İnce diskin yaşlı yıldızları (GKM) genç yıldızlarına (OB) kıyasla Galaksi diskinin orta düzleminden daha uzakta bulunmaktadırlar. Yıldızların yaşam süreçleri ve buldukları yükseklik değerleri farklılıkları, galaksinin diskin de gerçekleşen evrim sürecinin kanıtı niteliğindedir. Yıldızlar oluşumları itibari ile buldukları alanlarla etkileşim içinde olmaktadırlar. Oluşan yıldızlar dev moleküler bulutlarla etkileşerek daha yükseğe hareket etmektedirler.

Samanyolu galaksisinin diski sarmal spiral kollara ev sahipliği yapmaktadır. Bu kollar popülasyon I adı verilen genç sıcak yıldızlar ve açık kümeler, dağınık bulutsular ve yıldızlararası bulutsu gibi birçok sıradan, orta yaş disk yıldızını içerir.

Galaksinin şişkin bölgesi üç eksenli, çubuklu bir yapıya sahiptir. Galaksinin merkezini yaklaşık 15,000 ışık yılı çapında şişkin bölge ile çevrilmiştir. Şişkin bölge üç eksenli yapı itibari ile küresel yapıdadır. Yükseklik değeri, yaklaşık 0,3 kpc'dir. Bu bileşendeki yıldızlar ince diskteki yıldızlara benzer niteliktedir.

Halo, galaksi merkezinden yaklaşık 15 kpc'ye kadar uzanan bölgedir. Halo bileşeni metalce fakir küresel kümeler ile en yaşlı alan yıldızlarından oluşur. Bunlara ilaveten, alt cüce yıldızları, RR Lyrae yıldızları, mira değişenleri, küçük kütleli yıldızları da içerir. Yıldız halosunun uzay hızı, fotometrik ve tayfsal verilerden itibaren elde edilen ortalama metal bolluğu $[F e/H] \sim 1.5$ dex civarındadır. Carollo ve diğ. (2007) Popülasyon II olan metalce fakir yaşlı yıldızlara ev sahipliği yapmaktadır. Bu yıldızların yaklaşık 150 si

bilinen 200 kadar küresel küme yıldızlarıdır. Bu küresel yıldızlar galaktik merkeze doğru yoğunlaşmışlardır.

Galaksinin bileşenleri büyük ölçüde bağımsız görünse de, uyum içinde çalışacak şekilde düzenlenmiş bir tablo olarak araştırılmayı beklemektedir. ESA'nın Gaia uzay gözlemevi (Gaia Collaboration ve diğerleri, 2016) sayesinde, aslında, Galaksinin bileşenlerin etkileşime girebileceği ve birbirini derinden etkileyebileceği, gelişen ve birbirine bağlı bir sistem olduğu hatırlatıldı. Gaia'nın eşi benzeri görülmemiş astrometrisi yalnızca galaksinin iç yıldız halesinin yapısını dikte etmekle kalmaz, aynı zamanda kalın diskin ölümü, yerinde halenin ortaya çıkışı ve çubuğun oluşumu ile eşzamanlı bilgiler sunmaktadır. Gaia Data Release 2(Gaia Veri Yayını) kullanılarak yakın zamanda elde edilen kanıtlar da dâhil olmak üzere Galaktik düzlemi sarsan ve devam eden etkileşimlerin işaretleri ortaya çıkarılmıştır.

Bu karmaşık ilişki ve etkileşimlerden Samanyolu'nun tutarlı bir resmini oluşturmak için yıldızların güvenilir mesafe ve yaş / metalik göstergeleri çok önemlidir.

2. KÜME YILDIZLARI

Ortak geçmişe sahip bir grup yıldızların gravitasyonel olarak bir arada bulunduğu yıldız topluluklarına küme yıldızlar denir. Yıldız kümeleri, sonsuz olarak kütle çekim kuvvetinin etkisiyle küme şeklinde kalamazlar. Galaktik dönmeye, yakınlarından geçen yıldızların ve kümelerin çekim etkileri nedeniyle küme yavaş yavaş çözülebilir.

Bir küme yıldızların aynı yaşa ve aynı kimyasal yapıda oldukları kabul edilir. Bir yıldızın kümeye ait olup olmadığı, kümedeki yıldızlarının hızları ve hareketlerine bakılarak anlaşılmaktadır. Eğer yıldız farklı doğrultuda ve farklı hızla hareket ediyorsa, o kümeye dahil olmadığı anlaşılır. Ayrıca küme için HR diyagramı oluşturulabiliyorsa, yıldız kümeye dahil değilse, uzaklığı da farklı olacağından anakol ve diğer kollar dışına düşer.

Bir yıldız kümesine üye olan yıldızların;

- Uzaklıklarının,
- Yaşlarının,
- Başlangıç kimyasal bileşimlerinin,
- Uzay hızlarının

Aynı veya benzer olduğu varsayılı bilinir.

Yıldız kümelerinin iki grup olarak sınıflandırılmıştır. Küresel küme ve açık küme yıldızlarıdır. Küresel küme yıldızları kütle çekim kuvveti ile bağlı yüzlerce ya da binlerce yaşlı yıldızdan oluşan sıkışık gruplar halinde bulunurlar iken açık küme yıldızları daha gevşek kümelenmiş gruplar halinde bulunmaktadır. Genellikle çıplak gözle görülebilmektedirler.

Açık yıldız kümeleri, küresel yıldız kümelerinden çok farklıdır. Küresel olarak dağılmış yıldız grubunun aksine galaktik düzleme sınırlandırılmıştır ve neredeyse spiral kollarıyla birlikte bulunurlar. Genel olarak genç objelerdir, birkaç on milyon yaşındadırlar. Örneğin, Messier 67 (en yakın ve en çok gözlenen yaşlı açık yıldız kümesi) gibi birkaç milyar yıl yaşında olan nadir istisnalar da vardır.

2.1. Açık Küme Yıldızlar

Açık kümeler genellikle birkaç yüz yıldız içerir. Yaklaşık 30 ışık yılı bir bölge içinde bulunur. Açık yıldız kümelerinin hepsi galaktik düzlem üzerinde, bizden çoğunlukla 50

500 pc uzaklıkta bulunurlar. Küresel yıldız kümeleri ile karşılaştırıldığında daha az yoğun yıldız içerir. Çok daha az kütle çekim kuvveti ile bağlıdırlar. Ve zaman geçtikçe dev moleküler bulutlar ve diğer kümelerin kütle çekim etkisiyle bozulurlar. Küme üyeleri arasındaki yakın karşılaşmalar da buharlaşma fırlatmaları ile sonuçlanabilir.

2.2. Küresel Küme Yıldızlar

Küresel yıldız kümesi, galaksi merkezi etrafında uydu gibi dolanan, yıldızların küresel bir bileşimidir. Küresel yıldız kümeleri, samanyolu merkezi etrafında, Samanyolu galaksinin halo bileşenin de bulunmaktadır, yarıçapı 50 kpc olan bir küresel uzayda dağılmışlardır ve Küresel kümelerin çapları 70 pc civarında değişmektedir.

Küresel kümeler, yaklaşık 100 ışık yılı genişliğinde tek bir yapıya kütle çekimsel olarak bağlı olan 0,1-1 milyon yıldız arasında sistemlerdir. Yerçekimi sayesinde küresel bir şekle ve göreceli olarak merkeze doğru artan bir madde yoğunluğuna sahiplerdir. Bu kümelerin merkezlerinde yıldız yoğunluğu çok fazla olmasına rağmen bu yoğunluğu ölçmek zordur. Çünkü yıldızları ayırık olarak görmek güçtür.

Küresel kümelerin astrofizik alanın da çalışması, modern astronominin önemli ve büyük bir bölümünü oluşturur ve astronomideki en temel sorunlardan bazıları hakkında bilgi sağlar. Küresel kümeler birkaç nedenden dolayı önemlidir:

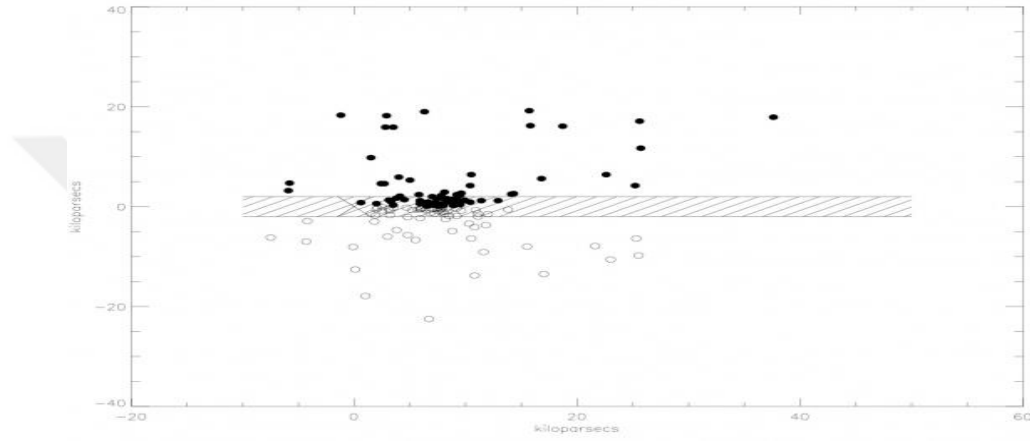
*Bu kümelerdeki yıldızların, benzer kimyasal bileşimlere ve benzer yaşlara sahip olmalarıdır. Bu, onları yıldız oluşumu ve evriminin teorik modellerini test etmek için kullanılacak en basit sistemler yapmaktadır.

* Küresel kümeler bilinen en eski yıldız sistemlerinden bazılarıdır ve bu nedenle yaşlarının tahminleri bir bütün olarak Evrenin yaşını sınırlamak için kullanılabilir.

* Yaşlarının dağılımı ve küme yaşları ile metal bollukları arasında ki korelasyonlar, bu sistemleri galaksi oluşum süreçleri için paha biçilmez bir araştırma haline getirmektedir.

Gökadamızda bugüne kadar yaklaşık 160 küresel küme keşfedildi. 1917'de Harlow Shapley, Samanyolu Galaksisini daha iyi anlamak için Samanyolu'ndaki küresel kümelerini kullanmıştır. Küresel kümelerin dağılımına bakarak Güneş'in galaksi merkezine olan mesafesini tahmin etmeyi başarmıştır. Küresel kümelerin dağılımının Galaksinin diskini takip etmediğini, bunun yerine küresel kümelerin Galaktik merkez çevresinde küresel bir hale halinde dağıldığını görebiliriz. Bunun nedeni, bu yıldız

kümelerinin, proto-galaktik materyalin çoğunluğu bir diske yerleşmeden önce, Galaksi tarihinde erken oluşmasıdır. Galaksimizin disk düzleminde küresel kümelerin görünürdeki yokluğu, iki etkinin birleşiminden kaynaklanmaktadır. Birincisi, galaksinin diskindeki tozdan kaynaklanan yüksek belirsizlik, küresel kümelerin diske yakın yönlere bulunmasını zorlaştırıyor. İkincisi, herhangi bir küresel kümenin yıldızları ortak bir geçmişi paylaşır (yaş, kimyasal bolluk vb.) ve birbirlerinden yalnızca orijinal kütleleri bakımından farklılık gösterir. Böylece yıldız evrimi çalışması için ideal adaylar oluştururlar.



Şekil 2.1: Gökada Merkezinde merkezlenmiş bir X, Y, Z koordinat sisteminde Küresel Küme konumlarının grafiği. Küresel kümelerin galaksinin merkezi etrafında küresel olarak dağıldığını gösteriyor. Kredi bilgileri: Dr.Christopher Palma

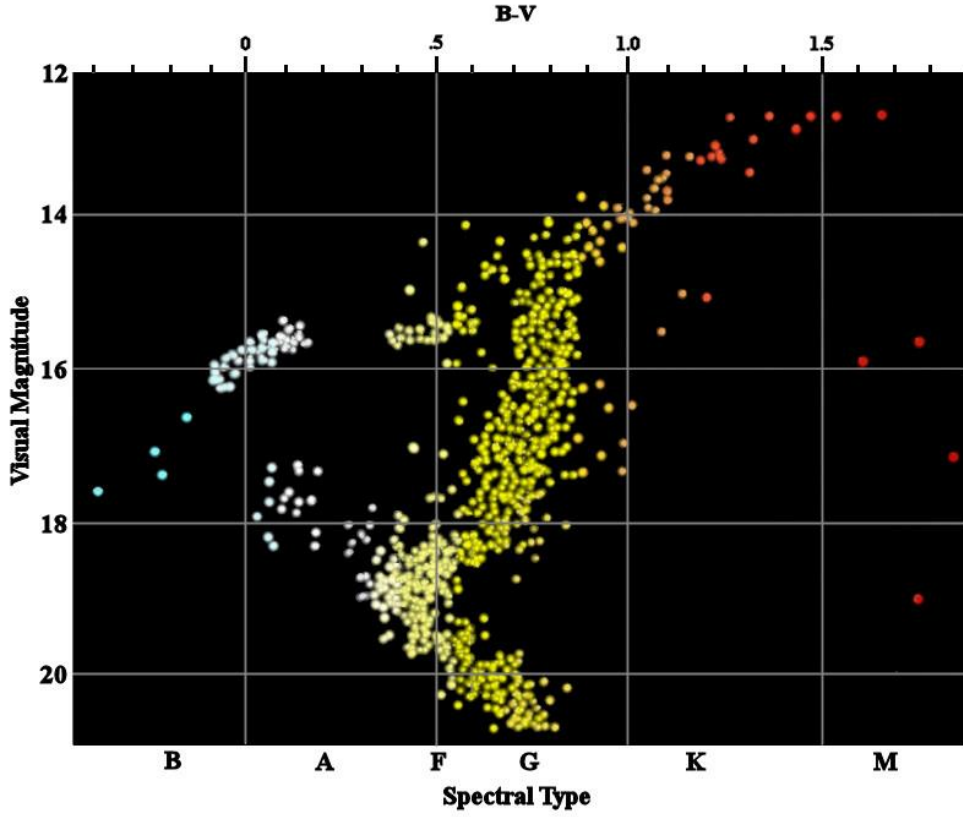
2.3. Küresel Küme Yıldızların Oluşum Evrimi

Gökbilimciler uzun zamandır küresel yıldız kümelerinin hayatlarının başlarında tek bir yıldız "bebek patlaması" yaşadığını ve sonra sessiz bir varoluşa yerleştiklerini düşünüyorlardı. Ancak, NASA'nın (National Aeronautics and Space Administration) Hubble Uzay Teleskobunun devasa küresel küme NGC 2808'e yaptığı yeni gözlemler, yıldız doğumunun, kümenin yaşamının çok erken dönemlerinde üç nesil yıldızın oluşmasıyla birlikte "patlama, patlama, patlama" ya geçtiğine dair kanıtlar sağlamıştır. Küme yıldızlarının parlaklığını ve rengi Hubble'ın araştırmalar için geliştirdiği kameralar ile yapılmıştır. Hubble'ın iyileştirilmiş kamera çözünürlüğü ile gökbilimcilerin farklı yıldız popülasyonları ayrıştırılmıştır. Hubble ölçümleri, birbirini izleyen her nesil biraz daha mavi görünen üç farklı popülasyon olduğunu göstermiştir. Bu renk farkı, ardışık nesillerin

bazı kimyasal elementlerin biraz farklı bir karışımını içerdiğini göstermektedir. Seattle'daki Washington Üniversitesi'nden ekip üyesi Ivan King, "Doğrudan bir kanıtımız olmasa da bir varsayım, yıldız popülasyonlarının art arda daha mavi renginin, her bir yıldız nesli ile helyum miktarının arttığını göstermesidir." NGC 2808 gibi devasa yıldız kümeleri, hızla birbirini izleyen yıldızları tutuşturmaya yetecek kadar gaza tutunur. " King, yıldızların doğumunun süpernovalardan gelen şok dalgaları ve dev yıldızlardan gelen yıldız rüzgârlarının gazı sıkıştırarak yeni yıldızlar oluşmasına olanak sağlayacağını ve gaz, Güneş'ten daha büyük kütleli önceki nesil yıldızların helyumunda giderek zenginleşecektir diyerek küresel küme yıldızların oluşum senaryosuna yeni katkılar eklemiştir.

Gökbilimciler genellikle küresel kümelerin yalnızca bir yıldız nesli ürettiğini varsayarlar, çünkü ilk yıldız kümesinden yayılan enerji, daha fazla yıldız yapmak için gereken kalan gazın çoğunu temizleyecektir. Ancak tipik bir küresel kümeden iki ila üç kat daha büyük olan NGC 2808 gibi ağır bir küme, ilk yıldızlardan elde edilen helyumla zenginleştirilmiş bu gaza tutunmaya yetecek kadar yerçekimine sahip olabilir. Samanyolu Gökadamındaki bilinen yaklaşık 150 küresel kümeden NGC 2808, 1 milyondan fazla yıldız içeren en büyük kütleli kümelerden biridir.

Bilinen hiçbir küresel yıldız kümesi aktif yıldız oluşumu sergilememektedir. İstikrarlı bir görünümle, küresel yıldız kümeleri genellikle galaksideki en yaşlı objelerdir ve yıldızların kümelendiği ilk oluşumlardır. Genellikle daha eski kırmızı yıldızlar ve daha az büyük mavi yıldız içermeleri beklenir. Küresel bir kümedeki tüm yıldızların yaklaşık aynı zamanda oluşması beklenir, bu nedenle kümenin yaşına göre ve kütlelerine göre belirlenen belirli bir eğilimi izlemeleri olasıdır. Ancak mavi başıboşlar bu kurala uymazlar; daha parlak ve daha genç görünürler. Mavi (gök) başıboşlar, açık veya küresel yıldız kümelerinde bulunan ve aynı aydınlatma gücüne sahip diğer küme yıldızlardan daha mavi ve sıcak olan yıldızlardır. Ayrıca diğer ana kol yıldızlarından iki veya üç kat fazla olan kütleleriyle Hertzsprung-Russell çizceğinde diğer yıldızlardan ayrı bulunurlar.



Şekil 2.2: Küresel yıldız kümesi M3 için renk-şiddet diyagramı. Eğimdeki karakteristik 19 şiddetindeki bölgede yıldızların kendi evrim yollarındaki dev aşamaya geçişi gösteriyor.

Kredi: R. J. Hall - The image was drawn using Paint Shop Pro, and is based after a diagram from: Albrecht Unsöld, The New Cosmos, p. 264, Springer-Verlag, New York Inc., 1969. which in turn credits: W. Baade, Stars and Galaxies, p. 91, Harvard University Press, 1963. The work by Unsöld is also the reference for the above description

Doğaları hala gizemli kalsa da bu olağandışı nesnelere muhtemelen küresel kümelerin kalabalık merkezlerindeki yıldızlar arasında yakın karşılaşmaları, muhtemelen çarpışmalarla oluşurlar.

2.4. Küresel Yıldız Kümelerinin Metal Yoğunlukları

Galaksilerdeki yıldızlar ve yıldızlararası gaz, çeşitli kimyasallar sergilerler. Yıldızlar çevrelerine ve oluşum geçmişlerine göre şekillenen element bolluk kalıpları oluştururlar. Evrendeki daha önceki çağların kilidini açmada, galaksi oluşum mekanizmalarını araştırmada ve yıldız sistemlerinin evrimine dair bir kaniye varma da yıldızların kimyasal yapılarına metal bolluklarına bakılmaktadır. Samanyolu galaksimizin kinematik yapısını anlamada tamamlayıcı rol oynamaktadır. Yıldızlar oluştuklarında yaklaşık kütlelerinin

%71'i hidrojen, %27'i helyum [77], geri kalanı da metallerdir. Genel olarak metallerin oranı yıldız atmosferlerinde bulunan demir içeriğiyle belirlenir çünkü demir hem sık bulunan bir metaldir hem de soğurma çizgileri görece daha kolay ölçülür. Yıldızların oluştuğu moleküler bulutlar süpernova patlamalarıyla sürekli olarak metallere zenginleştiğinden bir yıldızın kimyasal bileşimi yaşını belirlemek için kullanılır.

Galaksimizin bileşenleri yapılan spektroskopik araştırmalar neticesinde şekildeki tablo oluşturulmuştur.

	Mean age (Gyr) ^a	Mean [Fe/H] ^a	Scaleheight (kpc)	Scalelength (kpc)
Halo	14	-1.78	Effective radius $\sim 2.7^b$	
Thick disk	11	-0.78	$\sim 0.75^c$	3.5^c
Thin disk	5-7	-0.14	$\sim 0.33^c$	2.25^c
Bulge	10	0	Effective radius $\sim 1.2^d$	

^a Robin et al. (2003)

^b de Vaucouleurs profile — Buser et al. (1998)

^c Chen et al. (2001)

^d de Vaucouleurs profile — Yoshii & Rodgers (1989)

Şekil 2.2: Samanyolu galaksisinin kimyasal bileşenleri.

3. YILDIZ POPULASYONLARI

Yıldızlar, metal bolluklarına göre Popülasyon I, II ve III olmak üzere sınıflandırılmışlardır. Genel olarak yaş, kimyasal yapı ve kinematik bakımdan benzer özellikler gösteren yıldız topluluğuna popülasyon denir. İlk defa Walter Baade (Baade 1944) tarafından Pop I ve Pop II ayrımı yapılmıştır.

Popülasyon III yıldızları, 1978'de Popülasyon III teorik olarak eklenmiş ve neredeyse metal içermeyen bu yıldızlar farklı galaksi de gözlenmiştir. Evrende ilk oluştuklarından metal içermeyen yıldızlardır. Evrendeki ilk metaller bu yıldızlar tarafından üretilmiştir. Bu yıldızlar süpernova olarak hayatlarını sonlandırdıklarında evreni metal bakımından zenginleştirmişlerdir. Bu sayede onların küllerinden bir miktar metal içeren Pop II yıldızları doğar.

Popülasyon II yıldızları, küresel kümelerde ve bir galaksinin çekirdeğinde bulunma eğilimindedirler. Popülasyon I yıldızlarından daha yaşlı, daha az aydınlık ve daha soğuk olma eğilimindedirler. Ya daha yaşlı olduklarından ya da ağır element üreten öncüllerin bulunmadığı bölgelerde bulunarak daha az ağır elemente sahiptirler. Bu durumu metal fakiri olarak açıklanır. Bu yıldızların süpernova veya gezegenimsi bulutsu olarak hayatlarına son vermeleri evreni ve galaksileri metal bakımından daha da zenginleştirirler. Bu sayede Pop II yıldızlarının küllerinden metalle zengin Pop I yıldızları doğarlar.

Popülasyon I yıldızları, metalle zengin genç yıldızlardır. Güneş bir Pop I yıldızıdır. Samanyolu galaksisinin spiral kollarında bulunurlar. Açık yıldız küme üyeleridir. Gezegenler metal içerikli maddenin yıldızların etrafında bir yığılma diski oluşturması ile meydana geldiklerinden bu yıldızlar gezegen barındırmak için ideal cisimlerdir.

Küresel küme yıldızlardan olan RR Lyrae değişeni yıllarca metallik yaş ve kinematik özellikleri ile dikkatler üzerlerin de olmuştur. Biz bu çalışmamızda da bu gözlem serüvenine devam edeceğiz.

4. RR LYRAE DEĞİŞENİ

4.1. Genel Özellikleri

Değişen yıldız, parlaklıkları zaman içinde değişen yıldızlardır. Parlaklıkları genelde ya çok gençken ya da çok yaşlı iken değişir. Bunun nedeni, genişleme, daralma, püskürme gibi yıldızın iç dinamiğinden ya da iki ya da daha fazla yıldızın birbirlerinin yörüngelerinde dönerken oluşturdukları tutulmalardan kaynaklanan dış dinamiklerden dolayı oluşur. RR Lyrae değişkenleri iç dinamik etkilerle değişen eski yıldızlardır. Evrenimizin hem boyutu hem de doğası hakkındaki anlayışımız bu önemli yıldızlar olmadan çok daha eksik olacaktır. RR Lyrae'nin kendisi, mütevazı teleskopları veya dürbünleri olan çoğu kuzey gözlemcinin gözünde kolayca gözlenebilen bir değişkendir ve büyük gözlemevleri ve araştırma programları için bir hedef olmaya devam etmektedir.

RR Lyrae, küresel kümeler adı verilen eski yıldız kümelerinde ve galaksimizin yıldız halo bölümünde bulunur. Bir kümedeki tüm RR Lyrae yıldızları aynı ortalama görünür büyüklüğe sahiptir. Yaygın olarak küresel yıldız kümelerinde bulunan özel bünyesel değişen, zonklayan bir yıldız türüdür. Küresel kümelerdeki değişken yıldızların %80'inden fazlası RR Lyrae'lardır. RR Lyrae yıldızları metal bakımından fakir, popülasyon II yıldızlardır. Kozmik mesafe merdivenine yardımcı olarak (ekstra) galaktik mesafeleri ölçmek için RR Lyrae yıldızları, yaklaşık 760.000 parsek'e (yaklaşık 2,5 milyon Işık yılı) kadar olan mesafeleri ölçmek için standart mumlar olarak kullanılabilirler. Zonklayan değişen yıldızlar yüzey katmanlarında dönemsel genişleme gösteren yıldızlardır. Kısa dönemli (0.05 ile 1,2 gün), zonklayan, genellikle A sınıfı tayflı beyaz dev yıldızlardır. RR Lyrae yıldızlarının değişim genliği 0,3 ile 2 kadir arasındadır. En çok rastlanan değişen yıldızlardır. Tayf türleri A0-F0 aralığındadır. Yatay ana kol yıldızları olan bu sistemlerin kütlesi yaklaşık 0.6 ile 0.8 Güneş kütlesi (M_{\odot}) a, etkin sıcaklıkları (Teff) 6100 ile 7400 K arasındadır ve düşük metal bolluklu atmosfere sahiptirler. RR Lyrae yıldızları, sadece birkaç saat içinde düzenli olarak titreşir, boyutlarını, sıcaklıklarını ve parlaklığını önemli ölçüde artırır ve sonra azaltır. Yıldızın boyutu değiştikçe parlaklık değişimi gerçekleşir. Küçüldükçe yüzeyi, havayı küçük bir hacme sıkıştıran bir piston gibi ısınır. Ardından RR Lyrae'nin yüzeyi genişledikçe soğumaktadırlar.

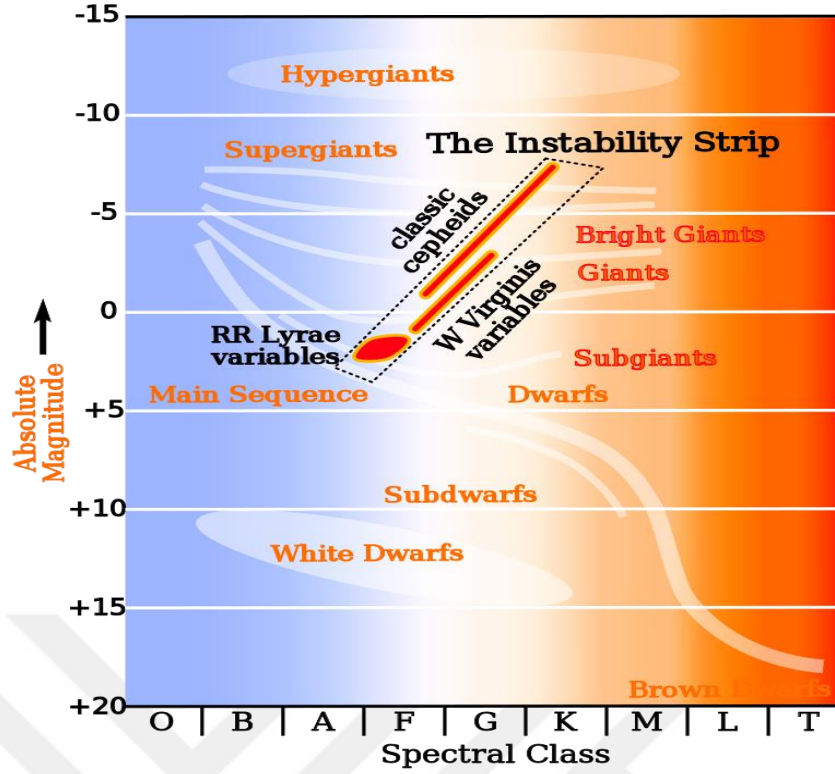
RR Lyrae yıldızları Güneş'ten önemli ölçüde daha parlaktırlar.

4.2. Hertzsprung-Russell Diyagramları

1910 yılı civarında Ejnar Hertzsprung ve Henry Norris Russell tarafından oluşturulan ve yıldızların evrimini anlama çalışmalarında önemli bir rolü olan Hertzsprung-Russell Diyagramı yıldızları ışınım güçleri, etkin sıcaklıkları gibi özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren bir çizimdir. Yıldızın çizelgedeki konumunun değişimine bakılarak yıldızın evrimi izlenir. Bir yıldızın tayfı, parlaklığı ve uzaydaki hareketi gözlemleyerek o yıldızın kütlesi, yaşı, kimyasal bileşimi ve bunun gibi birçok özelliği belirlenebilir. Sıcaklık ve parlaklık durumuna göre işaretlendikleri Hertzsprung-Russell diyagramı (H-R diyagramı), yıldızların güncel yaşını ve gelişim, sürecindeki aşamasını belirlemek için kullanılır. Yıldız evrimi teorisinin en önemli amaçlarından biri, Hertzsprung-Russell diyagramındaki yıldızların konumlarını anlamaktır. Koordinatlar olarak mutlak görsel büyüklük ve renk içeren orijinal Hertzsprung versiyonu 1911'de yayınlandı (Rosenberg 1911; Hertzsprung 1911) ve koordinatlar olarak mutlak görsel büyüklük ve spektral tipli orijinal Russell versiyonu 1914'te yayınlandı. Spektral türlerin sıralaması O, B, A, F, G, K ve M olarak tanımlanmıştır. Tayf türleri dizisi, uluslararası gökbilimciler topluluğu tarafından benimsenmiş ve 1918 ile 1925 arasında yayınlanan Harvard College Gözlemevi'nin Henry Draper (HD) kataloğunda yıldızların sınıflandırılmasında standart haline gelmiştir.

4.3. RR Lyrae değişenin Hertzsprung-Russell Diyagramı

RR Lyrae değişkenleri tipik olarak Hertzsprung-Russell Diyagramının "yatay dal" olarak adlandırılan belirli bir alanında bulunur ve bu alandaki yıldızların çoğu RR Lyrae olduğu için ayrıca "RR Lyrae boşluğu" olarak tanımlanır. Tayf türleri A0-F0 aralığındadır. RR Lyrae'nin rengi ve türü mavi - beyaz değişken yıldızdır. Spektral tipe bağlı olarak, göre yıldızın yüzey sıcaklığının yaklaşık 7.500 ile 10.000 K arasında olduğu sonucuna varılır.

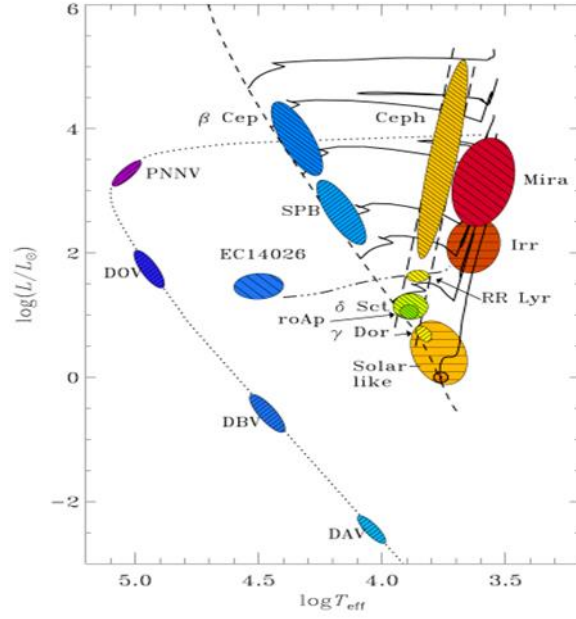


Şekil 4.1: RR Lyrae değişken yıldızları, renk ve parlaklık arasındaki Hertzsprung-Russell diyagramında belirli bir alana düşer. R Lyrae değişkenlerinin Hertzsprung-Russell diyagramındaki yeri. https://tr.wikipedia.org/wiki/RR_Lyrae

RR Lyrae yıldızları tipik olarak Güneş'in yaklaşık 45 kat daha parlaktırlar. Güneş'ten daha yaşlı ve çok daha sıcaktırlar.

4.4. Kararsızlık Şeridi

RR Lyrae, kararsızlık şeridi olarak bilinen seçkin bir titreşimli değişken sınıfının üyeleridir. RR Lyrae alan yıldızları Hertzsprung-Russel (HR) diyagramında, küresel küme diyagramının karakteristik olan yatay kol üzerinde bulunurlar.



Şekil 4.2: RR Lyrae yıldız değişiminin kararsızlık şeridi
https://www.aavso.org/vsots_rrlyr

Hertzsprung-Russell diyagramının dar bir bölgesi ile sınırlı olan bu yıldızlar, aynı nedenle titreşirler. Titreşimler, yıldızdan kaçan radyasyon tarafından kısmen engellenir ve sonuçta oluşan basınç ve sıcaklık artışı onları genişletir. Yerçekimi kuvvetin etkisiyle tekrar kasıldığında, döngü tekrar eder. Yıldızların ve yıldız iç mekânlarının fiziksel özellikleri nedeniyle, yalnızca çok özel fiziksel özelliklere sahip yıldızlar bunu yapabilir ve sol altta sıcak, mavi ve soluk yıldızlardan uzanan HR diyagramının dar bir köşegen şeridi üzerinde uzanabilenler, sağ üstte daha soğuk, daha kırmızı ve daha parlak yıldızlar bulunur.

RR Lyrae yıldızları, düşük metalik yıldız popülasyonlarının çok gelişmiş üyeleridirler, çekirdeklerindeki tüm hidrojeni yakmışlardır, çekirdeğinde helyum ve çekirdeğin etrafındaki bir kabukta hidrojeni yaktıkları yaşam evrelerindedirler. Hidrojen merkezden dışa doğru genişlemiş ve merkezde helyum karbona dönüşecek şekilde, nükleer füzyon süreçleri olan RR Lyrae yıldızları alt devlerdirler.

4.5. RR Lyrae Yıldızlarının Astronomi Alanındaki Önemi

RR Lyrae yıldızları kendi başlarına astrofizik açılarından ilgi çekicidirler. Samanyolunun fosil kayıtlarıdır. Bu fosil kayıtları incelendikçe galaksimizin oluşumu ve evrilmesi hakkında kayıtlar sunmaktadır.

On yıllardır, RR Lyrae olarak bilinen titreşimli yatay dal yıldızlarına, Galaksinin haritasını çıkarmamıza yardımcı olmaları açısından en güvenilir mesafe ölçekleridir.

Optik alanındaki ilk gerçek tüm gökyüzü değişkenliği sayımı olan Gaia, önceki nesil çalışmaların geride bıraktığı boşlukları doldurmakla kalmamış, aynı zamanda Samanyolu RRL anlayışımızı daha da geliştirmiştir. GAIA gördüğü RR Lyrae 'nin büyük kısmı - Gaia'dan uygun hareket ölçümleri ve çok nesnel spektroskopik incelemelerden radyal hız ölçümleri ile birlikte sunulmuştur. Bu sayede RR Lyrae yıldızları, Galaksimizin yapısı, kinematiği inceleme konusunda birincil kaynak olabilir. Gaia verileri böylece Galaktik hale yoğunluğu alanının yeni ve kesin bir karakterizasyonunu mümkün kılmıştır.

Samanyolu'nun toplam kütleini ölçmek ve en zayıf cüce uyduları bulmak için, Galaktik halonun uzaysal ve kinematik yapısını ve altyapısını (yani yıldız akışlarını) mümkün olan en büyük mesafelerde ve mümkün olan en yüksek hassasiyetle izlememiz gerekir. Bu görev için en iyi izleyiciler RR Lyrae yıldızlarıdır.

RR Lyrae yıldızları yaşlı (Gyr), metal açısından fakirdir (dex), periyodik olarak değişken ışık eğrileri ile titreşen yatay dal yıldızlarıdır (0.2 ila 0.9 gün arasında değişen periyotlar; Smith 2004). Farklı ışık eğrilerine sahip parlak yıldızlardır, bu da onların zaman alanı görüntüleme araştırmalarıyla, hatta büyük mesafelere kadar (büyüklük aralığına sahip anketler için 5-120 kpc; örneğin, Sesar ve diğerleri, 2010) tanımlanmalarını kolaylaştırmaktadır.

RR Lyrae yıldızları aynı zamanda kesin standart mumlardır (yani, içsel parlaklıkları iyi belirlenmiştir). RR Lyrae yıldızlarına olan mesafeler, optik veriler kullanılarak % 3 belirsizlikle ölçülebilirken, yakın kızılötesinde sıkı bir periyot-parlaklık ilişkisi sayesinde, RR Lyrae yıldızlarına olan mesafeler, kullanılarak % 2 veya daha iyi bir hassasiyetle ölçülebilir. Örneğin K- bandı gözlemleri (Braga ve diğerleri 2015; Beaton ve diğerleri 2016).

4.6. RR Lyrae dönem dağılımı

Çizelge 4.1: “ Kukarkin, B.V. (1975), IAU Symp, ss. 67-511”

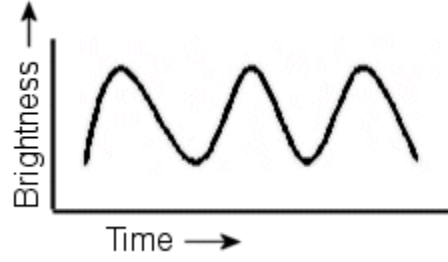
Dönem (gün)	Yüzdeler		
	Gökada	Küresel kümeler (A)	Küresel kümeler (B)
0,225	0,8	1,5	0,4
0,275	2,3	5,8	3,2
0,325	4,6	7,7	8,5
0,375	5,6	3,1	27,6
0,425	8,5	5,4	6,8
0,475	19,4	20,0	1,4
0,525	19,6	23,8	3,2
0,575	18,1	17,6	13,1
0,625	11,5	9,6	19,0
0,675	5,7	3,8	9,0
0,725	2,5	1,0	5,9
0,775	0,8	0,4	0,9
0,825	0,3	0,2	0,8
0,875	0,3	0,1	0,2

Yukarıda ki çizelge RR Lyrae yıldızlarının döneme bağlı, gökada ve kümelerdeki dağılımlarını göstermektedir. Bu tabloda A ve B sırasıyla, ortalama metal bolluğuna ve düşük metal bolluğuna sahip yıldızlar içeren kümeleri göstermektedir. Yüksek metal bolluğuna sahip kümelerde, RR Lyrae türü değişen yıldızlara rastlanmamaktadır. Tabloda görüldüğü gibi, gökada ve farklı metal bolluğuna sahip kümelerdeki dönem dağılımı belirgin farklar göstermektedir. Bu da bize, RR Lyrae yıldızlarının tamamıyla homojen bir grup meydana getirmediğini gösterir. RR Lyrae yıldızları, başlangıçta çok farklı süreçler sonucu oluşmaktadır. Metalce fakir olan kümelerde, 0,3- 0,4 gün dönem aralığında çok sayıda yıldız rastlanmaktadır.

4.7. RR Lyrae Sınıflandırılması

RR lyre yıldızları, ışık eğrilerinin özelliklerine göre kategorilere ayırmak mümkündür.

Işık eğrisi; değişken yıldızların gözlemleri genellikle ışık eğrisi adı verilen bir grafik üzerinde, zamana karşı görünen parlaklık (büyüklük) olarak, genellikle Jülyen Tarihinde (JD) gösterilmektedir. Büyüklük ölçeği, Y ekseninde aşağıdan yukarıya doğru gittikçe parlaklık artacak ve X ekseninde soldan sağa gittikçe JD artacak şekilde çizilir.



Yıldızların periyodik davranışları, güneş tutulması çiftlerinin yörünge periyodu veya yıldız patlamalarının düzenlilik derecesi (veya düzensizlik) hakkındaki bilgiler doğrudan ışık eğrisinden belirlenebilir. Işık eğrisinin daha ayrıntılı analizi, gökbilimcilerin yıldızların kütleleri veya boyutları gibi bilgileri hesaplamasına olanak tanır. Birkaç yıl veya onlarca yıllık gözlemsel veriler, bir yıldızın değişen dönemini ortaya çıkarabilir ve bu, yıldızın yapısındaki bir değişikliğin sinyali olabilir.

RR Lyrae yıldızları; RRA, RRb ve RRc olarak alt sınıflar olarak gösterilmektedir. Bu alt sınıfların dönemleri birbirinden farklıdır. a türünden RR Lyrae'lerin dönemi 0.48 gün, b türündekilerin de 0.32 gün mertebesinde olmaktadır. Gökadamız Samanyolun da RR Lyrae yıldızlarının % 10'dan az bir bölümü RRc türündendir. Değişen yıldızların genel kataloğunda yer alan çok sayıda RR Lyrae yıldızının % 50 kadarı RRab, % 6 kadarı da RRc sınıfındadır. Bu sınıflar kısaca RRA, RRb, RRc (RRc veya RR1), RRd olmak üzere isimlendirilmektedir. İstatistiki olarak a türlerinin sayısı, diğer türlerin sayısının yaklaşık 4 katıdır. Gökadamızdaki RR Lyrae yıldızlarının % 10 dan az bir bölümü RRc türündendir. Değişen yıldızların genel kataloğunda yer alan çok sayıda RR Lyrae yıldızının %50 kadarı RRab, % 6 kadarı da RRc türündendir (LaCluyze et al. 2002).

Alt sınıfların genel özelliklerine bakacak olursak;

Alt sınıf a: Işık artışı hızlıdır. Artış hızı azalma hızından fazladır. Işık değişimi tüm dönemin yaklaşık bir yarısı için minimumda sabittir fakat bu esnada ışık değişimi yavaştır. Bu oran genellikle 1m' daha fazla ve yıldızın dönemi 12-15 saattir.

Alt sınıf b: Işık artışı kısmen hızlıdır. Azalışı yavaştır ve sakin evre haricinde bu azalma devam eder. Bu oran genellikle 1m'den daha düşük ve yıldızın dönemi 15-20 saattir.

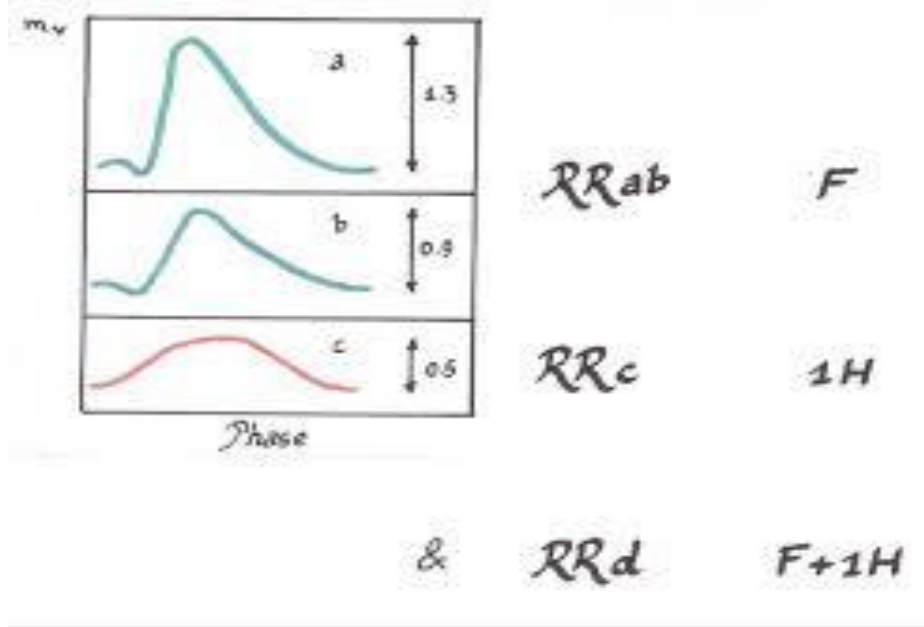
Alt sınıf c: Işık değişimi orta hızdadır. Işığın artış hızı azalış hızından fazladır. Fakat birkaç durumda, eşit ya da daha az hızlı görülür. Değişim $0^m.5$ civarında ve yıldızın dönemi 8-10 saattir (Gay 2006).

Işık eğrilerinin biçimleri yanında alt türlerin ortalama dönemleri de birbirinden farklıdır;

RRa türleri için $0^g.48$,

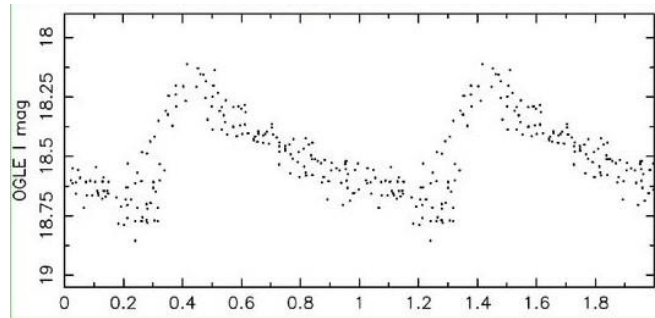
RRb türleri için $0^g.58$,

RRc türleri için $0^g.32'$ dir.

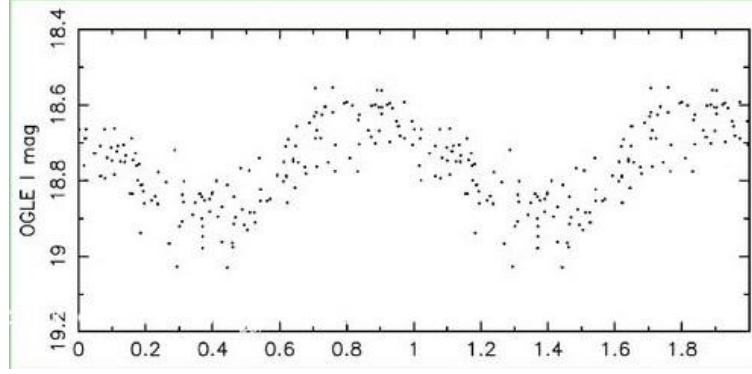


Şekil 4.3: RR Lyrae türü değişenlerin Bailey sınıflaması
(www.univie.ac.at/tops/blazhko/Generalities.html)

Bailey sınıflandırması (RRabc yıldızları): Fotometrik özelliklere (dönem, genlik, ışık eğrisi asimetrisi) göre yapılan sınıflamadır. RRa ve RRb yıldızları adı altında tek bir grup altında toplanırlar. Bu yıldızlar radyal temel tonda zonklarlar ve asimetrik ışık eğrisine sahiptirler. RRc yıldızları ise birinci üst tonda zonklayan sinüsoidal (sinüs dalgasına benzer eğri) ışık eğrilerine sahip yıldızlardır.

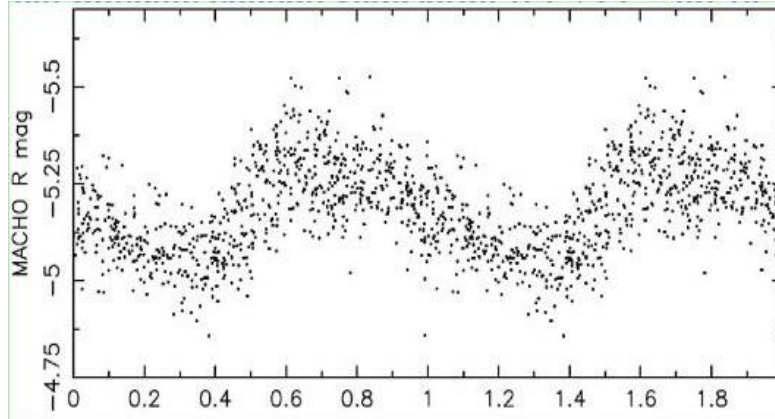


Şekil 4.4: Bir RRab yıldızının OGLE ışık eğrisi (Soszyński et al. 2003)

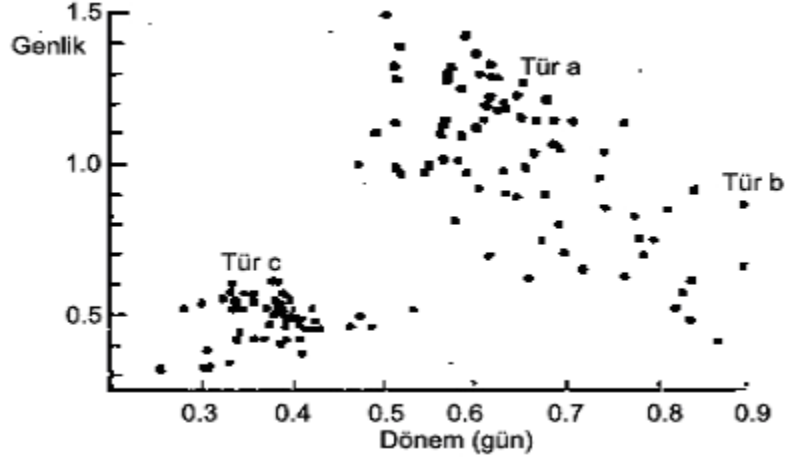


Şekil.4.5: RRc yıldızının OGLE ışık eğrisi (Soszyński et al. 2003)

Bailey sınıflandırması (RRd yıldızları): Bazı RR Lyrae değişenlerin ışık eğrilerinde çevrimden çevrime biçim ve genlik olarak değişimler görülür. Buna etkiyen olayın iki farklı dönemin aynı anda uyartılması olduğu düşünülmektedir. RR Lyrae değişenlerdeki bu çift-dönemden biri temel frekans değeri ise bunun ilk harmoniği olarak adlandırılır. Kısa süreler dahilinde genliği değişen ışık eğrisine sahip çift modlu diğer grup RRd yıldızlarıdır. 1980 yılları içerisinde keşfedilmiştir. Bu yıldızların zonklama dönemi 0.3-0.5 gün arasında olmaktadır. Işık eğrilerin de daha fazla saçılma gözlenmektedir.



Şekil 4.6: Bir RRd yıldızının MACRO ışık eğrisi(Kovács 2000)



Şekil 4.7: Tür a, Tür b, Tür c'nin dönem ve genliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Ledoux and Walraven 1958)

Türler arasında ki genlik ve dönem farklılığına bakıldığında genliği ve dönemi en düşük olan tür c olduğu görülmektedir.

4.8. Blazhko Etkisi

RR Lyrae yıldızlarının (RRabc) yaklaşık %25' inde zonklama dönemlerinin yaklaşık 100 katı uzunluğundaki zaman ölçeklerin de dönemli genlik değişimleri gözlenmektedir. 1907'de Rus gökbilimci Sergei Blazhko ilk olarak RW Draconis'in titreşim ışık eğrisinin modüle edici genliğini fark etmiştir. Diğer benzer titreştiricilerden farklıydı. Işık eğrisi düzgünden düzgüne düzenli değildi, ancak hem genlik hem de şekil bakımından düzenli ve öngörülebilir bir şekilde değişiyordu. Çevrimsel yapı bu değişimlerin dönemleri 20-200 gün arasındadır. Bu etki Blazhko etkisi olarak adlandırılmaya başlandı ve kısa süre sonra diğer birçok yüksek genlikli RR Lyrae yıldızında (RRab tipi olanlar) keşfedildi. Sınıf prototip RR Lyrae, Harlow Shapley tarafından Blazhko yıldızı olarak bulundu ve yaklaşık 40 günlük bir Blazhko dönemine (bir Blazhko modülasyon döngüsünden geçmek için gereken süre) sahipti. Bu nedenle RR Lyrae yıldızlarının en parlak da titreşimde bu özelliğe sahiptir. RR Lyr'nin kendisinde, görsel bölgede 0.3 kadir üzerinde uzun dönemli bir değişim olarak izlenmektedir. Bazı RR Lyrae'ler de Blazhko çevrimine ait dönemin de 3.8-4.8 yıl arasında dönemli olarak değişim gösterdiği bilinmektedir. Blazhko yıldızlarının çok uzun zamandır bilinmesinden ve sınıfın en parlak üyesini içerdiğinden, etkinin şimdiye kadar iyi anlaşılacağı varsayılabilir, ancak bu ilginç fenomen günümüze kadar gizemli

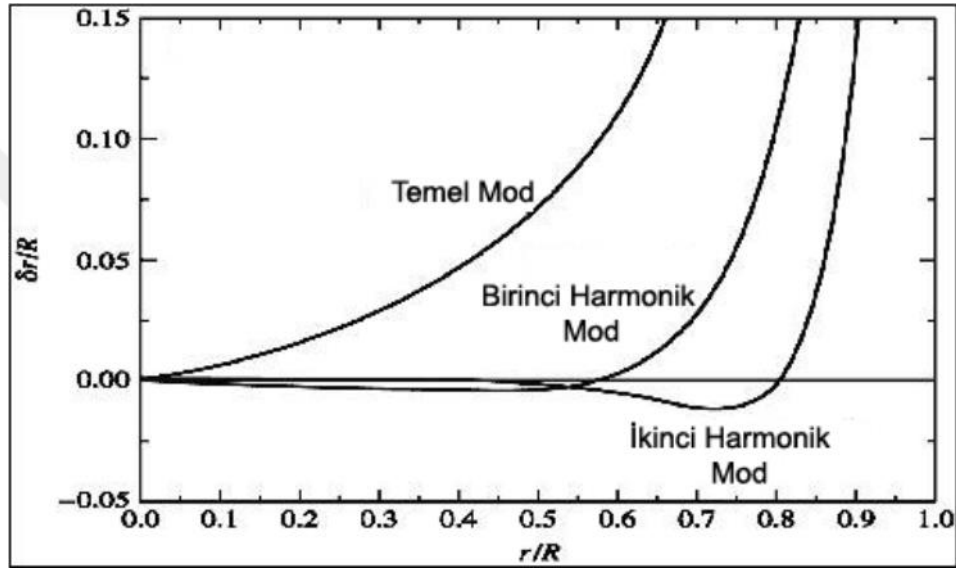
kalmaya devam etmiştir. Son yapılan araştırmalar bilgi verse de, henüz kesin bir neden kanıtlanmamaktadır.

Blazhko etkisi hakkında öne sürülen birden fazla hipotez sunulmuştur. Bunlardan en eski hipotezlardan biri, Blazhko yıldızlarının, ana titreşimin - radyal temel modun - genlik modülasyonlarının vuruş modelini oluşturmak için bir veya daha fazla zayıf radyal olmayan modla etkileşime girdiği çok modlu pulsatörler olduğudur. Yıldızda temel modda radyal modun yanı sıra bir de düşük dereceli radyal olmayan bir salınım modunun var olduğu ve bu iki modun bileşke etkisinin (ing.nonlinear resonant mode coupling) gözlendiğidir. Blazhko döneminin de bu iki salınım modunun vuru dönemi (ing. Beat period) olduğu açıklamasıdır Van Hoolst vd. 1988 , Deizembowski ve Cassisi 1999).Bu fikre daha sonra, rotasyonun eklenmesi ve titreşim modları arasında doğrusal olmayan bir etkileşimi içeriyor olması eklenmiştir. Bir başka olasılık da bu yıldızların içinde doğada 11 yıllık manyetik güneş döngüsüne benzer, ancak daha kısa bir zaman ölçeğinde manyetik döngülerin bulunması teorisidir. Bu teoriye yapılan diğer iyileştirmeler, yıldızın dönme ekseninin manyetik kutuplarla hizalı olmadığı, manyetik alanlar ve konveksiyon ile bir etkileşim olduğu veya belki de bunların hepsinin bir kombinasyonu olduğu fikri öne çıkmıştır. Chadid ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarında, Blazhko etkisinin muhtemelen manyetik alanlardan kaynaklanmadığını öne sürmüşlerdir; o ve çalışma arkadaşları, RR Lyrae'nin kendisinin güçlü bir manyetik alana sahip olmadığını (en azından 80 Gauss sınırının üzerinde) ve bu nedenle Blazhko etkisinin başka bir şeye bağlı olduğunu keşfetmişlerdir. Öne sürülen teoriler kanıtlanamamıştır.

Blazkho etkisinin bütünsel, etkin gözlendiği tüm RR Lyrae yıldızları için (bu grup içerisinde çeşitlilik gösteren karakteristiklerde yıldızlar vardır) yapılan bir açıklama üzerinde konsensüsü ulaşılabilmiş değildir (Aerts vd. 2010). Blazhko etkisi gözlenen yıldızlarda (RR Lyrae 'nin kendisi dahil) bu etkiye sebep olabilecek denli yüksek bir manyetik gözlenememiş olması bu açıklamanın savunulmasını güçleştirmektedir (Chadid vd.2004).

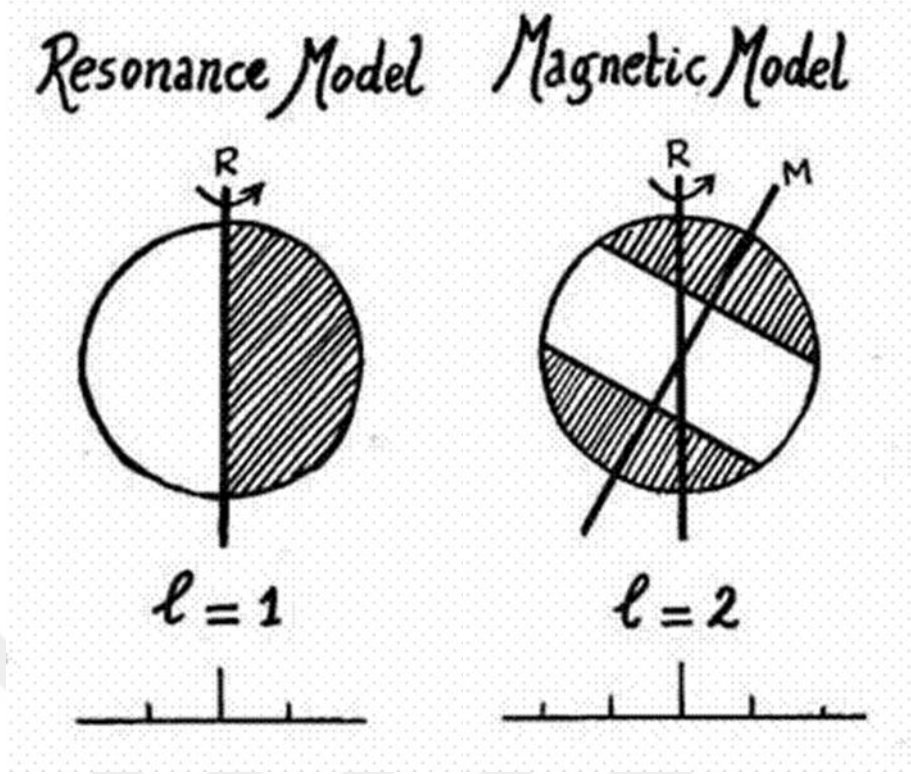
R Lyrae'lerin çoğunda ışık eğrileri çevrimden çevrime çok düzenli olarak tekrarlanır. 20. yy'in başlarında bunlardan bazılarının maksimum ışınımlarında önemli değişimler gösterdiği ortaya çıkmış ve basit bir doğrusal denklemlerle bunun ifade edilemeyeceği öngörölmüştür.

Blazhko etkisi RRab yıldızlarının %20-30'unda RRc yıldızlarının yaklaşık %5'inde görülür RRab yıldızlarındaki bu olayın sıklığı metal bolluğu etkisi ile ilişkilidir (Alcock et al. 1998). Uzun dönemli RRab yıldızlarında Blazhko etkisi bulunmamıştır (Kolenberg et al. 2006). Dönem değişiklikleri RR Lyrae yıldızlarında ortak bir özelliktir ve ayrıca Blazhko yıldızlarında da meydana gelir (Smith 1995; Szeidl & Kollath 2000; LaCluyzé ve diğerleri 2002). Gözlemlenen dönem değişkenliği evrimsel nitelikte olamayacak kadar hızlıdır.



Şekil 4.8. RRab, RRc ve RRd türü yıldızların yarıçaplara bağlı olarak zonklama modları (Carrol2007)

Bazı iyi çalışılmış alan Blazhko yıldızlarının, Blazhko döngülerinin yanı sıra, yıllarca sırayla çok uzun dönemler sergiledikleri bildiriliyor. Örneğin RR Lyrae, yaklaşık 4 yıllık bir döngü gösterir , bunun sonunda modülasyonun gücü aniden azalır ve Blazhko döngüsünde yaklaşık 10 günlük bir faz kayması meydana gelir. Manyetik modeller için bir argüman olarak kullanılmış olsa da, bu fenomen hala açıklanamamıştır. Fenomeni açıklamak için en makul hipotezler, her ikisi de radyal olmayan titreşim bileşenlerini içeren iki tip modele odaklanır: rezonans modelleri ve manyetik modeller.



Şekil 4.9: Blazhko etkisi için makul modellere şematik genel bakış.
(acikders.ankara.edu.tr)

Rezonans modelleri:

Rezonans modelleri, radyal temel mod ve bir radyal olmayan mod arasındaki (doğrusal olmayan) rezonansa dayanmaktadır. Bu modellerde, dipol ($l = 1$) modları, doğrusal olmayan bir şekilde uyarılma olasılığı en yüksek olan moddur (Cox 1993; Van Hoolst ve diğerleri, 1998). Nowakowski ve Dziembowski (2001), rotasyonel olarak bölünmüş $m = 1$ çiftinin uyarılması durumunda önemli genlik ve faz modülasyonunu tahmin etmektedir. Modülasyon periyodu, dönüş hızı (şu anda bilinmeyen) ve ışınımsal iç kısmın en derin kısmındaki Brunt-Väisälä frekansı ile belirlenir. Peterson (1996) 27 RR Lyrae yıldızı için çapraz korelasyon yoluyla çizgi genişliklerini ölçmüş ve $v \sin i$ için 10 km / s 'lik bir üst sınır elde etmiştir .

Manyetik modeller:

Blazhko yıldızlarının yıldız dönüş eksenine eğimli bir manyetik alana sahip olduğu varsayılmaktadır (Cousens 1983; Shibahashi & Takata 1995). Ana radyal mod, simetri ekseninin manyetik eksen ile çakıştığı ek bir dört kutuplu bileşene ($l = 2$) sahip olmak için manyetik alan tarafından deforme edilir. Yıldızın dönüşü nedeniyle, titreşim bileşenlerine

bakışımız değişir ve gözlemlenen genlik modülasyonuna neden olur. Shibahashi \ ve Takata (1995), frekans spektrumunda beşiz bir yapı öngörür, ancak aynı zamanda beşizin belirli geometrik konfigürasyonlar için neredeyse bir üçlü gibi görüldüğünü göstermektedir. Bu modelde genlik modülasyonunun gözlemlenebilir olması için yaklaşık 1 kg'lık bir manyetik alana ihtiyaç vardır. Oysa Babcock (1958) ve Romanov ve ark. (1994) RR Lyr'de 1,5 kG'ye kadar bir güçte değişken bir manyetik alan bildirmiştir, Preston (1967) ve Chadid ve ark. (2001, 2004) bu ölçümlerle çelişmektedir.

Hem manyetik (Shibahashi 2000) hem de rezonans modellerinde (Nowakowski & Dziembowski 2001) titreşim genliklerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Işık eğrisinin gözlemlenen modülasyonu, dönüşün bir sonucudur. Modülasyon derecesi, her iki modelde de görünüme bağlıdır. Modellerin her biri, gözlemlenen frekans modellerinin büyük çoğunluğunun tam tersine, eşit genlikteki modülasyon bileşenlerini öngörmektedir. Blazhko etkisini açıklamaya yönelik her iki model de radyal olmayan bileşenlerin varlığına dayandığından, bunların saptanması ve tanımlanması, genlik modülasyonunun arkasındaki mekanizmayı anlamak için son derece önemli bir yere sahiptir.

Parlak yıldızların spektrumlarını elde etmek daha kolaydır. RR Lyrae grubun en parlak Blazhko yıldızı olduğundan araştırma alanında hem spektroskopik hem de fotometrik gözlemler için önemli bir hedef olmuştur ve olmaya devam etmektedir. RR Lyrae yıldızlarında dönem ve genlik değişimi onların doğasında varolan yaygın özelliktir (Kolenberg 2004). Genlik modülasyonunun dönemi 30 ile 100 gün arasında değişmektedir. Gözlenen dönem değişimi evrim doğasına göre çok hızlıdır. Özellikle RR Lyrae, Viyana Üniversitesi Blazhko Projesi için birincil hedefti ve yıldız, Michigan'dan Horace Smith, Viyana'dan Katrien Kohlenberg ve diğer birçok işbirlikçinin çeşitli işbirlikçi gözlem programlarının hedefi oldu. Keşfedilmelerinden itibaren bir asırdan fazla bir süre geçmesine rağmen, bu parlak kuzey değişkeninin sırları henüz tam olarak ortaya çıkmış değildir. Bununla birlikte, astrofizik camiasında, RR Lyrae ve onun gibi diğer yıldızların değişkenliğine ilişkin karmaşık sorunların, keşfinden bir asır sonra daha fazla ve daha iyi gözlemsel verilere nihayet yol açabileceği konusunda umut vardır. Değişken Yıldız, RR Lyrae, 100 yıldan daha uzun bir süre önce başlayan ve günümüze uzanan kesintisiz keşif ve anlayış zincirini göstermektedir.

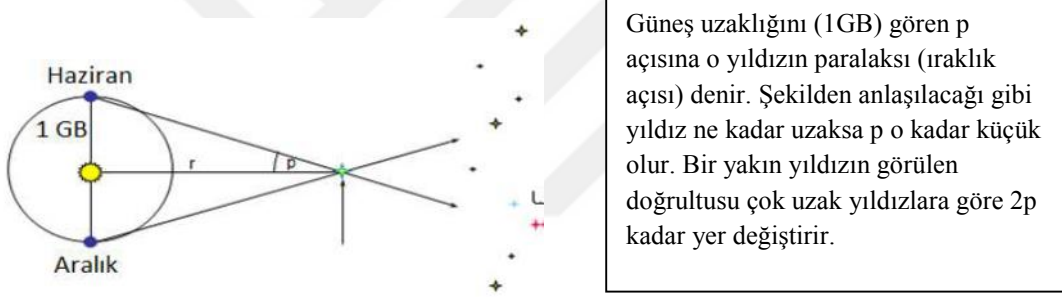
5.RR LYRAE YILZDIZLARIN HIZ VE MESAFE TAHMİNİ

5.1.Yıldızların Uzay Hareketleri Ve Yıldız (Mesafe) Uzaklıkları Ölçümü

Bu analizin temel bileşenlerinden biri, her yıldızın Güneş'e olan uzaklığıdır. Güneş merkezli mesafe bilindikten sonra, Galakto-merkezli koordinatları tahmin ediyoruz ve gözlemlenen doğru hareketi kullanarak V_l (Galaktik boylam boyunca) ve V_b (Galaktik enlem boyunca) hızlarını hesaplıyoruz.

5.2. Yıldız Uzaklık Ölçümü

Bir yıldızdan Yer-Güneş uzaklığını gören p açısına o yıldızın paralaksı (ıraklık açısı) denir. (Yer-Güneş uzaklığına Astronomi Birimi ya da Gök Birimi (GB) denir). Bir yıldızın bulunduğu bölge 6 ay ara ile bir teleskopla fotoğraflanırsa yıldız çok uzak yıldızlara göre $2p$ açısı kadar yer değiştirir (Şekil de), bu yer



değiştirme ölçülebilmektedir.

Paralaks, uzaydaki gök cisimlerinin Dünya'dan uzaklıklarını belirlemek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Paralaks evrendeki uzaklıkları bilmemiz açısından bir anahtardır. Yakın yıldızlar, evrende paralaksı ölçülemeyecek kadar uzak olan diğer cisimlerin uzaklıklarını hesaplamak için basamak taşları olarak kullanılır.

Paralaksın anlaşılması kolaydır- sadece parmağımızı yüzümüzün önünde tuttuğumuzda, her seferinde bir gözümüzü kapattığımızda ve daha uzaktaki nesnelere kıyasla parmağımızın hareket ediyormuş gibi görünmesini izleriz. Paralaks, 3-boyutta nasıl gördüğümüzdür ve bu yüzden dünyadaki şeylerin bizden ne kadar uzakta olduğunu biliriz. Astronomide etki aynıdır- ancak yıldızlar gerçekten de çok uzak mesafelerdedir. Bu nedenle, Dünya birbirlerinden olabildiğince uzaklaştığında, örneğin yaz ve kış, yönlerden bakmamız gerekir. Ayrıca yıldızın çok küçük görünür hareketlerini de ölçmemiz gerekmektedir.

Gaia'nın ölçeceği bir yıldızın ikinci hareketi gerçek harekettir- bu, Samanyolu'ndaki her yıldızın hareketidir. Güneş, Samanyolu'nun merkezinde yaklaşık 220 km / saniye (10.000.000.000 mil / saat) hızla hareket eder ve diğer yıldızların çoğu benzer hızlarda hareket eder. "Düzgün" hareket olarak adlandırılan bu hızın hareketi Gaia tarafından ölçülecek ve yıldızın Samanyolu'nda nasıl yörüngede olduğunu ve bazı durumlarda o yıldızın nereden geldiğini hesaplamak için kullanılacaktır.

5.3. Yıldız Kinematığı

Yıldız kinematığı yıldızların uzaydaki devinimlerini gözlemleyen bilim dalıdır. Samanyolu Galaksisindeki yıldız ve uyduların hızını ölçmeyi amaç edinir. Samanyolunun İnce disk, kalın disk, şişkinlik ve yıldız halo dahil olmak üzere farklı alt bileşenlerinde yıldızların kinematığının ölçülmesi, Galaksimizin oluşumu ve evrimsel geçmişi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

1718'de Felsefi İşlemler 'de Edmond Halley parlak yıldızlar Sirius, Aldebaran ve Arcturus'un antik çağlardan beri diğer yıldızlara göre konumlarını değiştirdiklerini kaydetmiştir. Bu, doğru hareketin, bir yıldızın (veya başka bir göksel nesnenin) konumunun göksel küre boyunca kaymasının kaydedilen ilk sözüydü. Doğru hareket, yılda ark saniye cinsinden ölçülür ("/ yıl)

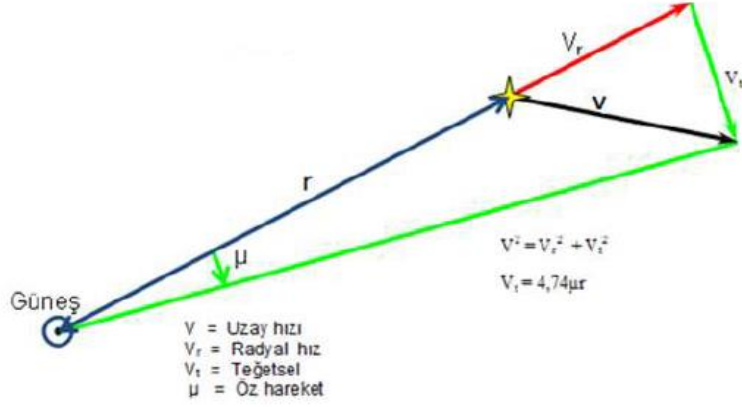
Yıldızlar sürekli hareket halindedirler, bazıları bize doğru bazıları da uzağa doğru hareket etmektedir. Galaksiler de rastgele hareketler sergilerler, böylece yakındaki gruptan bazıları nispeten bize doğru hareket eder. Daha büyük ölçeklerde, Edwin Hubble'ın gözlemlediği gibi, uzayın genişlemesi nedeniyle çoğu galaksi bizden uzaklaşıyor. Güneşimiz Samanyolu'nun merkezinde 220 km / s hızla dönüyor. Bir yıldızın Güneşimize göre uzaydaki gerçek hızını doğrudan ölçmek imkânsızdır. Bunun yerine gökbilimciler bunun iki bileşenini, enine hız ve radyal hızı ölçmek zorundadır. Bir nesnenin enine (veya teğetsel) hızı, göksel küre üzerinde görüldüğü şekliyle görüş hattımız boyunca yaptığı harekettir. Bir yıldızın doğru hareketi, gerçek enine hızına ve bizden uzaklığıyla ters orantılıdır. Bu, iki nesne aynı mutlak enine hıza sahipse, daha yakın olanın daha yüksek bir düzgün hareket göstereceği anlamına gelir, tıpkı yolda yanınızdan hızla geçen bir araba, jet aslında daha hızlı hareket etse bile, görünüşe göre yüksek irtifadaki bir yolcu jetinden daha hızlı hareket etmesi gibi.

Nesnenin radyal hızı, görüş hattımız boyunca bize doğru veya bizden uzaklaşma hızının ne kadar hızlı olduğudur. Bu, o nesnenin spektrumundaki spektral çizgilerin doppler kayması ölçülerek ölçülür. Bize doğru hareket eden nesnelerin hatları maviye kayacaktır, uzaklaşanlar ise kırmızıya kayacaktır.

Teorik olarak, bir yıldızın doğru hareketi, bir yıl arayla (paralaksın herhangi bir etkisini ortadan kaldırmak için) konumu hakkında iki gözlem yaparak ve diğer yıldızlara göre hareket edip etmediğini görerek elde edilebilir. Pratikte, uygun hareket çok küçük olduğundan, genellikle yalnızca birkaç on yıl veya daha fazla aralıklarla yapılan gözlemlerin karşılaştırılmasıyla ölçülebilir. Bu, tekrarlanan gökyüzü araştırmalarının değerli bir uygulamasıdır. Dünyanın Güneş etrafındaki hareketi için de düzeltmeler yapılır, böylece doğru hareketler her zaman Dünya'ya değil Güneş'e göre ifade edilir.

Bütün yıldızlar güneş gibi gök küresinde, gök ekvatoruna paralel yaylar çizerek batırlar. Bütün yıldızlar için bu görünür hareketi süresi bir gündür. Dünyanın dönmesinden dolayı yıldızların birbirlerine göre konumları değişmez. Yıldızların kendine özgü hareketlerine öz hareket/ denir. Yıldızların gözlenen hareketleri aslında onların uzay hareketlerinin gökyüzü düzlemindeki iz düşümleridir. Öz hareket, açısal ölçü birimleri cinsinden ifade edilir. Bütün hallerde öz hareket çok küçüktür (sadece 100 kadar yıldızın öz hareketi yılda 0,1'den büyüktür. Yılda 0,1 hareket ederse yıldız ancak yılda ayın çapı kadar yer değiştirir). Öz hareketi olan yıldızların çoğunda bu değer bir asır için ancak birkaç saniyedir. **Öz hareket, yıldızın rektasansyon ve deklinasyonunda değişmeye neden olduğundan, ilke olarak ölçülmesi kolaydır, fakat öz hareketler çok küçük olduklarından ölçülebilir büyüklüklere ulaşmaları için yıllarca beklemek, ölçtükten sonra da aradan geçen yıla bölmek gerekir.** Öz hareket, çok farklı tarihlerde hazırlanmış yıldız kataloglarını veya aynı aletle çeşitli yıllarda alınmış fotoğrafları karşılaştırarak tayin edilir. En büyük öz hareketi olan yıldız Ophiuchus takım yıldızında 10. kadirde bir yıldızdır ve öz hareketi 10,3 dir yılında fotografik olarak Barnard tarafından keşfedilmiştir. Bize doğru 108 km / s'lik bir radyal hıza ve 88 km / s'lik bir enine hıza sahiptir.

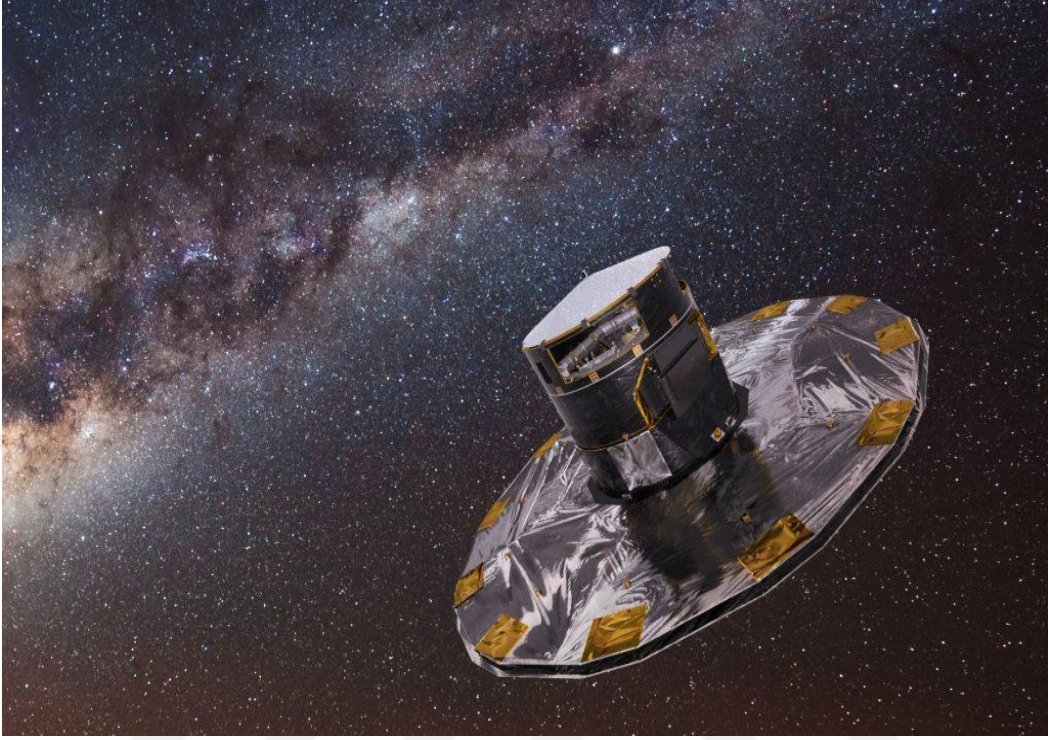
Bir yıldızın Güneş sistemi kütle merkezine göre hızına onun uzay hızı denir. Bunun Güneş sistemi kütle merkezini yıldızla birleştiren doğrultudaki bileşenine radyal (dikine) hız (V_r), buna dik doğrultudaki bileşenine teğetsel hız (V_t) denir. Daha basit tanımla (Güneşten baktığımızı varsayarak) bir yıldızın bakış doğrultumuzdaki hızına radyal (dikine) hız, çok uzak yıldızlara göre gökyüzüne bir yıldızdaki açısal yer değiştirme miktarına öz hareket, öz hareketin μ (km/s cinsinden değerine teğetsel hız denir.(Zeki Aslan)



Bir yıldızın veya diğer ışıklı uzak nesnelerin radyal hızı, yüksek çözünürlüklü bir spektrum alınarak ve bilinen spektral çizgilerin ölçülen dalga boylarını laboratuvar ölçümlerinden gelen dalga boylarıyla karşılaştırarak doğru bir şekilde ölçülebilir. Pozitif bir radyal hız, nesneler arasındaki mesafenin arttığını veya artmakta olduğunu gösterir; negatif bir radyal hız, kaynak ile gözlemci arasındaki mesafenin azaldığını veya azaldığını gösterir. Bir yıldız uzaklaşıyorsa, spektral çizgilerinde bir kırmızıya kayma olur ve bu durumda radyal hız pozitiftir. Yaklaşan bir yıldızın spektral çizgileri ise maviye kayar ve radyal hız negatiftir.

Öz hareketler nedeni ile takımyıldızların şekli zamanla yavaşça değişir. Gözle görülebilecek değişiklikler on binlerce yıl sonra fark edilmektedir. GAIA 1,3 milyardan fazla yıldızın paralaksını, öz hareketini, radyal hızını, parlaklığını ve renk gibi diğer verilerini listeliyor. Güneş sistemimiz içindeki asteroidlerin ve Samanyolu Gökadamızın ötesinde çok sayıda yıldızın yüksek duyarlılıklı ölçümlerini de vermektedir.

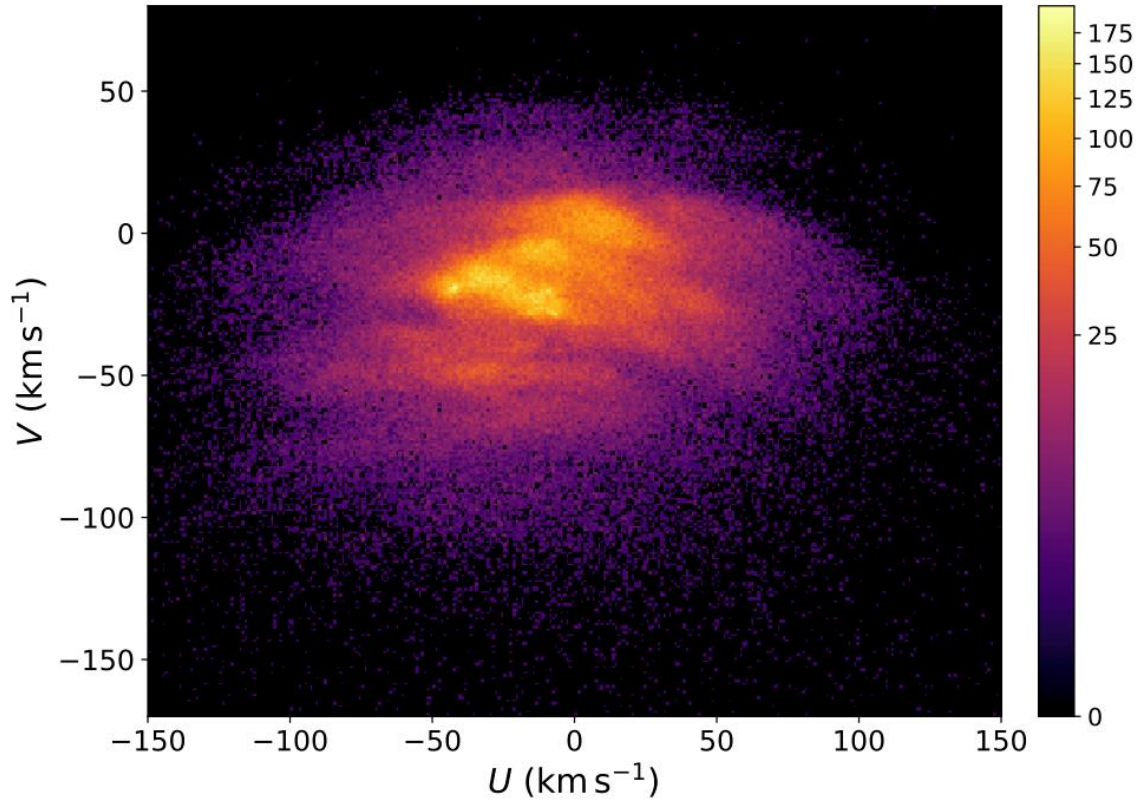
6. GAIA UYDUSU VE GÖREVİ



Şekil 6.1: Gaia uydusu (<http://sci.esa.int/gaia/>)

Gaia'nın kökleri ESA'nın Hipparcos misyonunda (1989-1993), 100.000'den fazla yıldızı yüksek hassasiyette ve bir milyondan fazla veya daha az hassasiyette kataloglamıştır. Yaklaşık 20 yıl sonra Gaia, 19 Aralık 2013 tarihinde fırlatılmıştır. Her yıldızın konumunu ve hareketini Hipparcos'tan 200 kat daha doğru ölçerek ve öncekinden 10.000 kat daha fazla veri üreterek, yıldızları kataloglama görevine başlamıştır. Gaia, Dünya'nın 1,5 milyon kilometre gerisinde, Güneş'ten uzak bir yönde bulunan Lagrange 2 (L2) noktası etrafında bir yörüngede faaliyet göstermektedir. Bu nokta, Dünya'nın Güneş'e göre tam aksi tarafında ve 1.5 milyon kilometre uzaklıkta bulunuyor. Astronomide sıklıkla kullandığımız Roche Geometrisi Modeli vardır. Bu modele göre ikili bir sistemde, her iki cismin çekim etkilerinin dengelendiği özel noktalardan birine konumlanan bir cisim, bu ikili sisteme göre hep aynı yerde kalmaktadır. Böylece Gaia da bu noktalardan biri olan L2 noktasında, Güneş etrafında Dünya'dan daha büyük bir yörüngede dolanmaktadır. (**varol**). L2'de Dünya ile Güneş arasındaki yerçekimi kuvveti ile dengelenir, bu sayede uzay aracı sabit pozisyonda kalır ve uzun vadede gökyüzünün engelsiz görüşlerine izin verir.

Gaia'nın temel amacı, paralaks yöntemini kullanarak yıldız mesafelerini ölçmektir. Bu durumda gökbilimciler, gökyüzünü sürekli olarak taramak için gözlemevini kullanırlar ve Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketinden kaynaklanan yıldızların konumlarında zaman içinde meydana gelen görünür değişiklikleri ölçerler. Gaia, görevi boyunca hedef yıldızlarının her birini yaklaşık 70 kez izlemektedir. Konumlarını, mesafelerini, hareketlerini ve parlaklık değişikliklerini tam olarak çizmektedir. Gaia, Galaksimiz ve ötesinde bin milyondan fazla yıldızın hareketlerini, parlaklığını, sıcaklığını ve kompozisyonunu haritalayarak üç boyutlu bir harita oluşturacaktır. Bu devasa yıldız sayımı ile, Galaksimizin kökeni, yapısı ve evrimsel geçmişi ile ilgili çok sayıda önemli problemin üstesinden gelmek için gereken verileri sağlayacaktır.

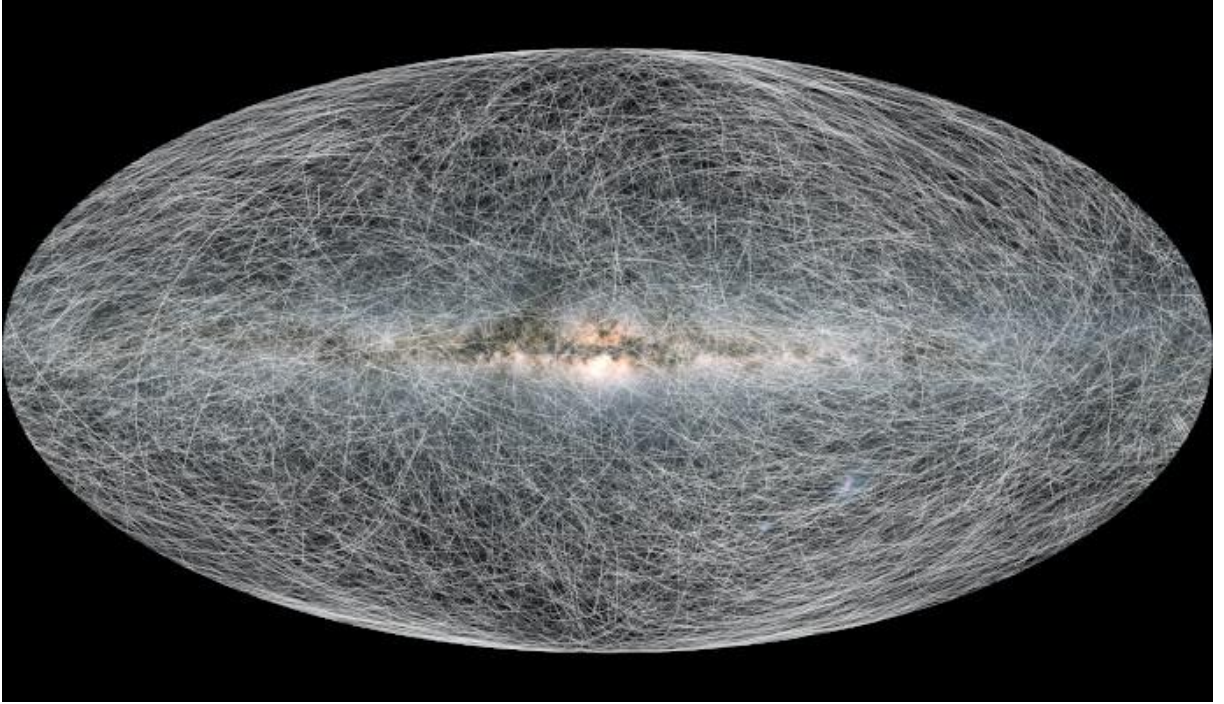


Şekil 6.2: Solar mahallesindeki yıldızların Gaia hız dağılımı. Resim, 366182 yıldızın 200 pc'den daha yakın hızlarını göstermektedir. Güneş'in hareketinin referans çerçevesinde Galaktik radyal hızın (yatay eksen) ve dönme yönündeki hızın (dikey eksen) 2D bir histogramıdır.

Resim, Güneş komşuluğu denenen yerde, Güneş'e 200 pc'den daha yakın olan yıldızların hızlarını göstermektedir. Bu, Galaksinin Gaia'dan önce daha iyi keşfedilen ve belki de

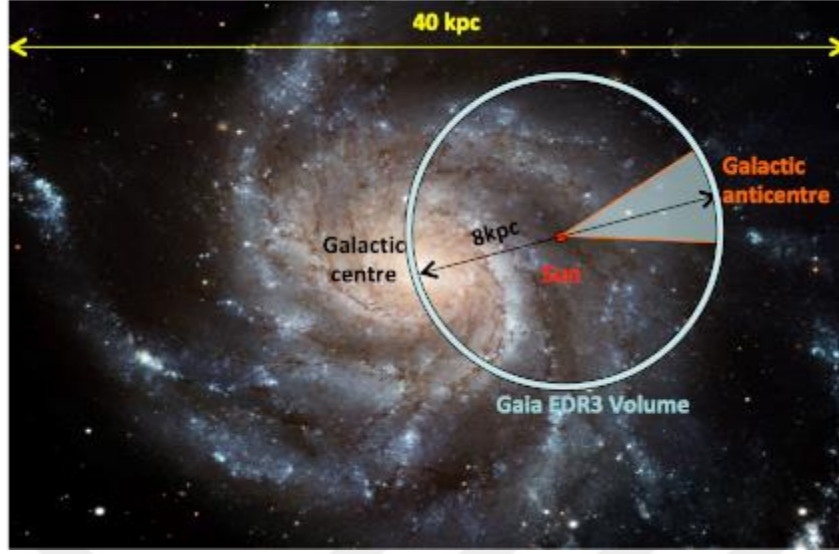
büyük değişikliklerin beklenmeyen bölgesi olmuştur. Yine de Gaia verilerinin kalitesi o kadar muhteşem ki yeni bir hız düzlemi ortaya çıkıyor. Yıldızların dağılımının oldukça desenli olduğunu ve yıldızların daha önce hiç görülmemiş ince ve yatay kemerler halinde organize edildiğini gözlemliyoruz.

Değişen yıldızlar arasında bulunan RR Lyrae yıldızları iyi birer uzaklık belirteci olarak kullanılabilirler. Paralaks yöntemiyle yıldızların uzaklıkları hesaplanırken bu tür değişen yıldızlarla da dolaylı olarak yıldızların uzaklıkları hesaplanabilmektedir. Bunun dışında RR Lyrae yıldızları çok daha uzak gökadalardan uzaklıklarının belirlenmesine yardımcı olurlar. Gaia'nın bu tür değişen yıldızların verisini sağlamasıyla, günümüzde bilinen Dönem-Parlaklık bağıntısı çok daha duyarlı bir denkleme dönüştürülmekte ve bu da uzak galaksilerdeki bu tür yıldızların gözlenmesiyle o galaksilerin uzaklıklarının çok duyarlı biçimde belirlenmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 6.3: Görüntüdeki izler, güneşten 100 parsek uzaklıkta bulunan 40.000 yıldızın gökyüzünde 400 bin yıl boyunca nasıl hareket ettiğini göstermektedir; her iz bir yıldızın yer değiştirmesini temsil etmektedir. Kredi : ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO.

6.1. Gaia Erken Veri Yayını 3:



Şekil: 6.4: Güneş sisteminden görüldüğü gibi, gösterilen Galaktik antik merkezin yönü ile Samanyolu'nun genel görünümü: ESA / Hubble, Taslak: ESA / Gaia / DPAC

Gaia Erken Veri Yayın 3 (Gaia EDR3) 11:00 GMT, 3 Aralık 2020 tarihinde yayınlanmıştır. Gaia EDR3, Gaia'nın 34 aylık görev verilerine dayanan 3. veri yayımının ilk bölümüdür. Gaia EDR3 verileriyle, aynı hassasiyetle Gaia DR2'den neredeyse 2 kpc daha uzağa bakılabilmektedir. Diskin dış kısımları karmaşık ve oldukça karışıktır. Dış galaksilere bakıldığında, bu dış kısımlar çok soluk ve gözlemlenmesi zordur. Şimdi Gaia'nın en yeni kataloğuyla, kendi galaksimizdeki diskin bu kısmına ulaşılabilme mümkün olmuştur. Yıldızların dikey ve azimut hızları yalnızca Gaia astrometrik verilerine (uygun hareketler ve paralaksalar) dayanarak hesaplanabilir ve bu da yıldızların kinematiğini araştırma için eşsiz bir fırsat sunar.

Yaklaşık 1,8 milyar yıldız için astrometrik veriler (konumlar, uygun hareketler, paralaksalar) ve fotometrik veriler (büyüklükler, renkler) içerir. Yeni veriler, Güneş'e en yakın 326 ışık yılı içindeki 300.000 yıldızın olağanüstü hassas ölçümlerini de içermektedir. Araştırmacılar bu veriler ile yıldız arka planının önümüzdeki 1,6 milyon yıl içinde nasıl değişeceğini tahmin etmek için kullanılabilir. Ayrıca, Güneş sisteminin Galaksi çevresindeki yörüngesinde hızlandığı teorisi doğrulanmıştır. Güneş, bir yıldan fazla bir süredir galaksinin merkezine doğru saniyede yaklaşık 230 kilometre yörüngesindeki hızına kıyasla saniyede 7 mm hızlanmaktadır.

Bir yıldızın ölçülmesi en zor, ama aynı zamanda en temel özellikleri arasında, uzaklığı ve uzaydaki hareketidir. ESA Gaia misyonu tam olarak bunu yapmak için tasarlandı ve bunu benzeri görülmemiş bir doğrulukla yapmaktadır. Aralık 2013'te piyasaya sürülen Gaia, şu anda astrofizik üzerinde yaygın ve önemli bir etkiye sahip. Bu etki, her yeni veri yayımıyla birlikte önemli ölçüde artıyor. Yeni sürümün ana etkisi, fotometri, doğru hareketler ve paralakslar için doğruluktaki iyileştirmelerde olacak. Verilerin daha uzun zaman aralığı ve Gaia cihazının daha fazla anlaşılması, sistematüğün gözlemlerden daha doğru ve ayrıntılı bir şekilde çıkarılmasına izin verdi. Yeni verilerin doğruluğu ve eksiksizliği, örneğin, 100 parsek (326 ışık yılı) yarıçapı içinde güneşi çevreleyen yıldızların 3 boyutlu konumlarının ve hareketlerinin güvenilir bir haritasını çıkarmayı mümkün kılmıştır.

Gaia, 2025'e kadar veri toplamaya devam edecektir. Nihai veri yayınlarının, şimdiye kadar yayımlananlardan 1,9 kat daha doğru yıldız konumları ve 7 kat daha doğru hareketler vermesi beklenmektedir.

7. YILDIZLARIN UZAY HIZ BİLEŞENLERİNİN HESAPLANMASI

Uzayda gözlemlediğimiz tüm nesnelere, Güneş ve onunla birlikte güneş sistemi dahil hareket ediyor. Gaia tarafından gözlemlenen nesnelere için ana hareket, gökadamızın çekirdeği civarındadır, ancak bu hareketlerde, nesnenin oluşumu sırasındaki koşullardan ve şimdiye kadarki yaşamı boyunca karşılaştığı karşılaşmalardan kaynaklanan önemli farklılıklar vardır. Uzaydaki hareketleri iki şekilde ölçüyoruz. Görüş hattı boyunca, spektral çizgilerindeki Doppler kaymasını inceleyerek bir nesnenin radyal hızını ölçebiliriz. Bizden uzaklaşan bir nesne için, spektrumundaki çizgiler (genellikle soğurma çizgileri) daha uzun, daha kırmızı dalga boylarına doğru kayacaktır. Nesne bize doğru hareket ediyorsa, geçiş daha kısa, daha mavi dalga boyuna doğru olacaktır. Uzay hızının iki bileşeni nesnenin doğru hareketi olarak adlandırılan gökyüzünde bir yer değiştirme olarak gösterilir. Bu uygun hareket mesafe ile ölçeklenir. Aynı uzay hızı için, nesne daha büyük bir mesafeden görüldüğünde doğru hareket daha küçük olacaktır.

Radyal ve teğetsel hızların vektörel toplamı bir yıldızın uzaysal hızını veriyor olsa bile, RR Layre gibi yıldız kümelerinin galaksi merkezi etrafındaki net sistemsel hızlarının daha doğru bir şekilde belirlenmesi için, galaktik düzlemi ve merkezi temel alan bir koordinat sisteminin kullanılması gerekir. Yıldız kümesinin uzay hızı W , V ve U olmak üzere üç alt bileşenden oluşur.

1. W hız bileşeni; bir yıldızın ya da kümenin uzay hızının galaktik düzleme dik doğrultudaki bileşeni olarak tanımlanır. Bu bileşen kuzey galaktik kutup ($b = 90^\circ$) doğrultusu boyunca ölçülür.
2. V hız bileşeni; bir yıldızın ya da kümenin uzay hızının galaktik merkez doğrultusundaki bileşeni olarak tanımlanır. Bu bileşen galaktik anti-merkez ($b = 0^\circ$, $l = 180^\circ$) doğrultusunda ölçülür.
3. U hız bileşeni; bir yıldızın ya da kümenin galaktik merkez etrafındaki yörüngesel açılal momentum hız bileşeni olarak tanımlanır. Bu bileşen yerel durağanlık standarttı ($b = 0^\circ$, $l = 90^\circ$) doğrultusunda ölçülür.

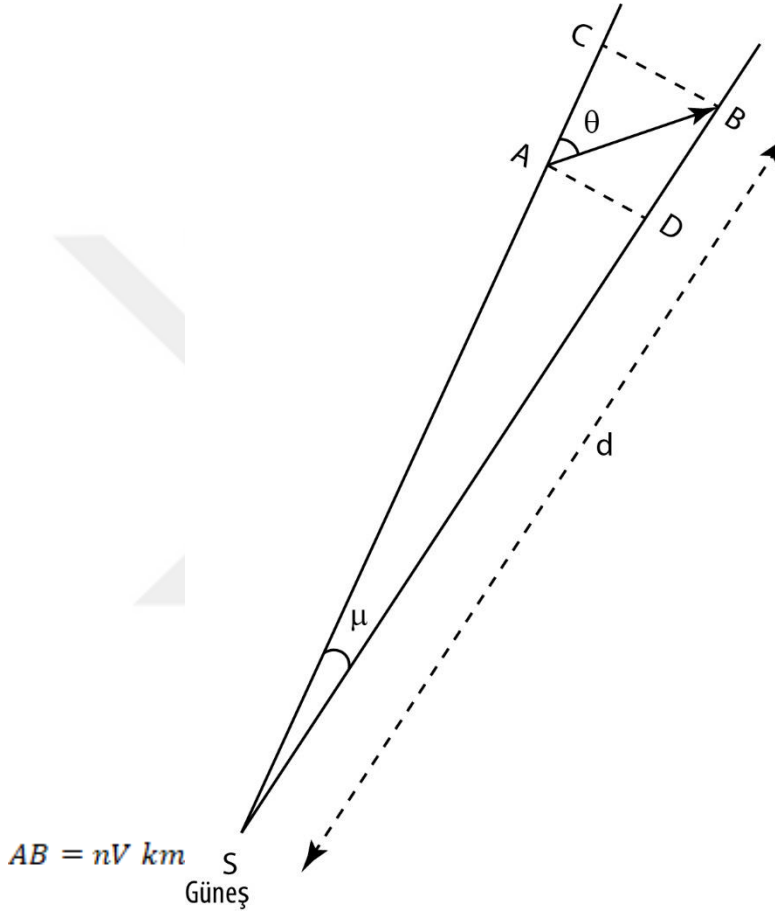
Bir yıldızın ekvatorial koordinatları (α, δ) , öz hareket bileşenleri $(\mu\alpha\cos\delta, \mu\delta)$, radyal hızı (v_{rad}) ve trigonometrik paralaksı (π) mevcut olduğunda helyosentrik uzay hız bileşenleri (U, V, W), Johnson ve Soderblom (1987) tarafından verilen eşitliklerinden itibaren hesaplanabilir.

AB, yıldızın hareket doğrultusu ;

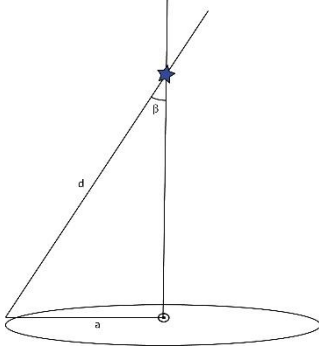
d yıldızın güneşe olan uzaklığı (km)

V: Yıldızın A ile B arasındaki çizgisel hızı (km/sn)

n: yıldaki saniye sayısı olmak üzere



v çizgisel hızın SA doğrultusuna (görüm çizgisi) dik bileşeni olsun, v'ye teğetsel hız veya geçiş hızı denir.



ve km/sn cinsinden ifade edilir. ASB açısı her zaman küçük olduğundan

$$AD = CB = nv$$

$$CB = d\mu \sin 1''$$

β yıldızın paralaksı a ise yer-güneş uzaklığı olursa, d uzaklığı ile paralaks birbirlerine

$$\sin \beta = \frac{a}{d} \quad \text{ve küçük açı yaklaşımı ile } d = \frac{a}{\beta \sin 1''} \quad \beta \text{ yay saniyesi ve son denklemlerden}$$

$$= \frac{\mu a}{n\beta}$$

$a=149.5 \cdot 10^6$ km ve $n=31.56 \cdot 10^6$ yerine konursa, teğetsel hız için

$$v = 4.74 \frac{\mu}{\beta} \text{ km/sn bulunur.}$$

Radyal yani görüş doğrultumuzdaki hız bileşenine ρ dersek

$$AC = n\rho = AB \cos \theta$$

$$AB = nV \text{ olduğundan } \rho = V \cos \theta \text{ bulunur.}$$

ρ radyal hız değeri km/sn olarak spektroskopik yöntemlerle doğrudan elde edilebilir.

Yıldız bizden uzaklaşıyorken radyal hız pozitif Güneş'e yaklaşıyorken negatif kabul edilir.

$BC = AB \sin \theta$ Olduğundan $v = V \sin \theta$ bulunur. Eğer spektroskopik yöntemlerle radyal

hızı bulduysak çizgisel uzay hızı bu bağıntı yardımıyla bulunabilir. (smart spherical astronomy)

Galaksinin detaylı dinamik modellenmesi yapılmadan kinematik doğru bir kinematik betimleme yapılması imkânsızdır. Bir sistemi gözlediğimizde, gözlediğimiz öz hareket ve radyal hız bileşenlerindeki değişme doğal olarak sadece yıldızın öz hareketinin sonucu ilk olarak W. Herschel tarafından gösterildiği gibi Güneş Vega yıldızı yönünde bir doğrultuda hareket etmektedir . Herchel yıldızların kütle dağılımı hakkında yeterince bilgi sahibi olmadığı için yapılan bu hesap geometrik merkezli bir yaklaşımdır. Bu amaçla ilk çalışmalar 1700 lü yıllarda başlamış olsa da güvenilir radyal hız ölçümleri ancak 19. Yüzyılın sonlarında elde edilebildiği için, ilk çalışmalarda o yıllarda yayınlanmıştır [Cambell, Moore]. Cambell ve Moore yaptıkları çalışmanın sonucunda

$$\alpha_0 = 270^{\circ}.6$$

$$\delta_0 = +29^{\circ}.2$$

$$V_0 = 19.7 \text{ km/sn}$$

$$K = +1.3 \text{ km /sn}$$

Burada K , güneş hareketi düzeltmesinden sonraki ortalama radyal hızdır. Farklı gruplar gözönüne alındığında Güneş için farklı sonuçlar bulunmaktadır, böylece Güneş hareketi seçilen yıldızlara bağımlıdır. Güneş hareketini bulmak için kullandığımız formüller,

Öz hareketleri kullanırsak

$$4.74\mu_{\alpha}'' = \frac{X_0}{r} \sin \alpha - \frac{Y_0}{r} \cos \alpha$$

$$4.74\mu_{\delta}'' = \frac{X_0}{r} \cos \alpha \sin \delta - \frac{Y_0}{r} \sin \alpha \sin \delta - \frac{Z_0}{r} \cos \delta$$

Radyal hız verileri kullanılarak

$$\varrho = -X_0 \cos \alpha \cos \delta - Y_0 \sin \alpha \cos \delta - Z_0 \sin \delta + K$$

Burada X_0 , Y_0 , Z_0 km/sn cinsinden Güneş in uzay hareketinin bileşenleridir, K

campbell'in K terimi r ise parsek cinsinden uzaklıktır. Eğer X_0 vs. km/sn, r parsek

cinsinden ölçülürse, öz hareket μ yay sn/yıl olarak bulunur.



8. RR LYRAE METALLİĞİ VE HIZ TAHMİNİ

8.1. RR Lyrae Yıldızının Metal Bolluğu

Astronomide, bir nesnenin metal bolluğu (Z), özdeğinin hidrojen (X) ve helyum (Y) dışında içerdiği kimyasal elementlerin oranıdır. Evrenin en büyük ölçekteki nesnelere büyük oranda bu iki elementi içermesi nedeniyle, gökbilimciler helyumdan daha ağır her elementi "metal" olarak belirtmektedirler. Örneğin karbon zengini bir bulutsu bile, her ne kadar karbon metal olmasa da bu koşullarda "metal zengini" olarak belirtilmektedir. Örneğin Güneş'in metal bolluğu (Z) 0.02'dir. Bu, Güneş kütlesinin %2'sinin helyumdan daha ağır elementlerden oluştuğu anlamına gelir. Yıldızların detaylı tayfsal analizleriyle yapılan kimyasal bolluk çalışmaları, atmosferlerindeki kimyasal bileşimlerinin ortaya konması ve evrim durumlarının belirlenebilmesi bakımından önemlidir. Düşük metal bolluklu yıldızlar atmosferlerinde oluştukları yıldızlar arası ortamın kimyasal özelliklerini barındırmaktadırlar. Bu nedenle bu yıldızlar bize Galaksinin evrimini ve yıldız oluşumlarını inceleme imkânı tanımaktadır. Galaktik çekirdek ve Galaktik diskte bulunan bazı yıldızların metal bolluğu çok yüksek çıkmaktadır. Bunun sebebi galaksimizin erken evrelerinde büyük kütleli yıldızların, çok hızlı bir şekilde oluşmuş olmalarıdır. Güneş, etrafındaki yıldızların çoğunu içine alan ince diskte bulunur. Diskteki yıldızlar Güneş'e benzer metal bolluğuna sahiptirler. Yıldızlar, metal bolluklarına göre Popülasyon I, II ve III olmak üzere sınıflandırılmışlardır. Popülasyon I yıldızları, ilk keşfedilen yıldızlar olup, metal bolluğu en fazla olan gruptur. Güneş, genç ve metalce zengin olan Popülasyon I yıldızıdır. Popülasyon I yıldızları Galaktik düzleme yakın bulunurlar ve genç yıldızlardır. Homojen olmayan bir dağılım gösterirler. Bu tür yıldızlar galaksimizin ince diskini oluştururlar. Popülasyon II yıldızları metal açısından fakir yıldızlar olup, helyumdan daha ağır elementlere nispeten az sahip olanlardır. Bu nesnelere, evrenin daha erken bir döneminde oluşmuşlardır. Popülasyon II yıldızları, Samanyolu'nun merkezine yakın çıkıntıda yaygındır. RR Lyrae yıldız grubu bu popülasyonda bulunmaktadır. RR Lyrae yıldızlarının, iç katmanlarındaki bazı elementlerin (helyum, hidrojen vb.) iyonizasyon bölgelerinde ki opasite artışı nedeniyle meydana gelen enerji birikimiyle çapsal doğrultuda büzülüp genişlemeler göstererek zonklama yaparlar.

RR Lyrae tipi değişkenler, yüksek parlaklıkta ve yaşlılıkta olmaları, özellikle Galaksimizin halo ve kalın disk alt sistemleri için mükemmel mesafe göstergeleri ve kinematik izleyiciler yapar. Bu nedenle, hassas ve homojen fotometriye, homojen metalik tahminlerine ve

doğru hesaplanmış radyal hızlara sahip bu değişkenlerin yeterince büyük bir örneğini oluşturmak, önemli bir görevdir. RR Lyrae yıldızının metal bolluğu (metalliği) ışık eğrisi özellikleriyle ilişkili olduğu iyi bilinmektedir (örneğin Juracsik & Kovacs 1996; Smolec 2005; Nemec ve diğerleri 2013; Hajdu ve diğerleri 2018). Metal bollukları, Güneş benzeri değerlerden başlayarak 100 kat daha düşük değerlere kadar geniş bir aralıkta değişmektedir.

Bu analizin temel bileşenlerinden biri, her yıldızın Güneş'e olan uzaklığıdır. Galakto-merkezli koordinatları tahmin edilir ve gözlemlenen doğru hareketi kullanarak $V_{\&}$ (Galaktik boylam boyunca) ve V_b (Galaktik enlem boyunca) hızları hesaplanmaktadır.

Bu, bir yandan yıldızın metalikliği için tahmin edilen ortalama RRL mutlak büyüklüğu ile kendi kesin mutlak büyüklüğu arasındaki bir karşılaştırmaya dayanır, diğer yandan, yalnızca nabız atma periyoduna göre türetilmektedir.

8.2. Yıldızların Yaş Hız ve Metal Bolluğu Araslarındaki İlişki

Yıldızlar ilk oluşum evrelerinde çoğunlukta hidrojen ve helyumdan oluşmaktadırlar. Yıldızların bünyesinde çekirdek kaynaşması (nükleer füzyon) gerçekleşmektedir. Yıldızların parlamasının sebebi yıldızdaki bu nükleer enerji sonucunda uzaya elektromanyetik radyasyon ve parçacık (foton) ışınımı olarak yayılmasıdır. Bu ışınımlar ölçülerek yıldızın metalikliği ve yaşı dolaylı olarak hızı ölçülmektedir. Yıldızların oluştuğu moleküler bulutlar süpernova patlamalarıyla sürekli olarak metallerle zenginleşmektedir ve bu metalik o yıldızın yaş izidir.

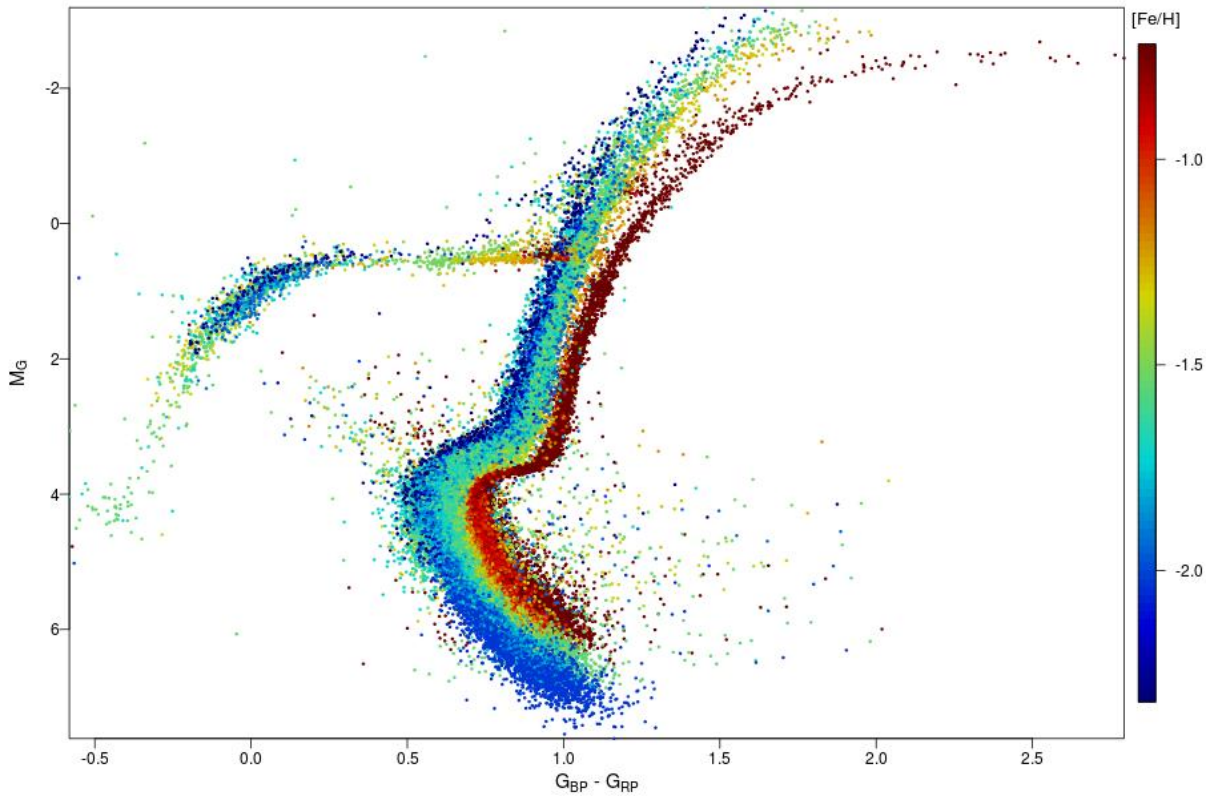
Yıldızların detaylı tayfsal analizleriyle yapılan kimyasal bolluk çalışmaları, atmosferlerindeki kimyasal bileşimlerinin ortaya konması ve evrim durumlarının belirlenebilmesi bakımından önemlidir. Yıldızların yaş ve metal bollukları arasındaki ilişki, ilk kez, Güneş civarında F tayf türündeki ana kol yıldızlarından itibaren yapılan analizler sonucu ortaya konmuştur (Twarog, 1980).

Yıldız gruplarının kimyasal özellikleri (metal bolluk analizleri) buldukları kümenin fosil kayıtlar olarak geçmişin izini taşımaktadırlar. Bu izler galaksimizin geçirdiği değişimlerden etkilenmezlerdir. Bir yıldızın kimyasına bakmak onun yaşı ile ilgileniyoruz anlamına gelmektedir.

Bir yıldızın yaşının anlaşılması için de bulunduğu kümeye bakmaktan geçer. Küme yıldızların en önemli özelliği ortak harekete, ortak kökene ve aynı kimyasal yapıya sahip

olmalarındır. Bu sayede küme yıldızların renk ve parlaklıkları ölçülerek yaşları belirlenebilmektedir. Yıldızların metal bollukları ile yaş arasında önemli ilişki bulunmaktadır. Metal bollukları ölçülerek yaş tayini yapılmaktadır.

Belirli bir yıldız kümesindeki yıldızları gözlemlediğimizde, sıcaklık ve parlaklık arasında net bir ilişki gözlemleriz. Bu yıldızların hepsi aynı yaşta olduğu için bu ilişkiye izokron denilmektedir. Her kümenin en büyük kütleli yıldızları için parlaklık ve sıcaklık arasındaki ilişkiye bakarak farklı yaşlardaki kümeleri tanıyabiliriz. Gaia bu tür çalışmalar üzerinde büyük bir çalışma yapmaktadır. Galaksimizde bulunan birkaç yüz yıldız kümesinin doğru mesafelerini belirleyerek, bu kümeler için küme üyesi olan yıldızların tam ve doğru listelerini sağlamaktadır. Gaia tarafından sağlanan fotometri, bu bilgiyi bir dizi gözlemlenen izokronlara çevirmemize olanak sağlamaktadır. Modelleme yoluyla elde edilen benzer izokronlarla gözlemlenen eşzamanların karşılaştırılması, modelleri ayarlamamızı ve yıldız evrimi, yıldız yapısı ve yıldız atmosferleri hakkında daha fazla bilgi edinmemizi sağlamaktadır.



Şekil 8.1: 14 küresel küme için birleşik HRD'yi göstermektedir. Buradaki farklılıklar öncelikle kimyasal bileşimde ve bunun yıldız evrimini etkileme biçimindedir. Kırmızı daha ağır elementler içerirken , mavi daha az elementler içermektedir. Kredi: Gaia Collaboration, Babusiaux, C., van Leeuwen, F., Barstow, MA et al. 2018a(bağlantı harici), A&A (Gaia

Küresel yıldız kümeleri, metal bolluk analizlerine bakıldığında Güneşe kıyasla yüz kat daha az metal bulundurmaktadır. Bunun sonucu olarak Güneşten daha yaşlı yıldız oldukları anlamına gelmektedir. Samanyolunun en yaşlı gök cisimleridir. Dolayısıyla küme üzerinden yapılan yaş tayini, evrenin yaşının tayini üzerinde önemli bir referans sağlamaktadır.

Yıldızların metal bolluğu dışında hareket hızları hassas ölçümler ile yaşları tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Yıldızların ömürleri arttıkça hızları azalmaktadır. Yıldız doğumları itibariyle yaşlı yıldızlara kıyasla hızlı hareket ettikleri tespit edilmiştir. Örneğin metal bolluğu fazla olan genç yıldızları bünyesinde bulunduran açık küme yıldızları, yaşlı metalce fakir yıldızlar olan küresel kümelere göre hızlı hareket etmektedirler.

Harvard-Smithsonian Merkezi Astrofizik Bölümü'nden Soren Meibom, "Yıldızların yaşını söyleyebilmek, yıldızların evrimini ve bileşenlerinin zaman içerisinde ortaya çıkmasını içeren astrofizik olaylarının anlaşılabilmesi için bir temel oluşturuyor. Ayrıca, bu bilgiler, Güneş Sistemimizin dışında başka bir hayat olup olmadığına dair araştırma yapmakla da kısmen alakalıdır. " diyerek yıldızların dönüş hızı ile yaşları arasındaki ilişkinin önemine vurgu yapmıştır. Yıldızların hızlarında zamanla sabit azalma olmaktadır. Çünkü yaşlanan yıldızların hızları azalmaktadır.

9. SONUÇLAR

Yıldızların hemen hemen tamamı kümeler ya da topluluklar halinde oluşur daha sonra doğmuş oldukları moleküler bulutsulardan saçılırlar. Özellikle topluluklar (associations) 10 ile 100 civarındadır. Bu saçılma büyük ihtimalle genç küme yıldızlarının daha büyük kütleli gök cisimleri ile karşılaşması sonucu oluşur. Aynı süreç gözlenen galaktik yükseklik ölçeğinin yaş ile artmasının da sebebidir (disk ısıtması) (soderblom 1993). Kinematik araştırmaların temelinde de bu yatmaktadır. Aslında galaksinin farklı yerlerinde de oluşsalar da benzer kimyasal ve kinematik özellik gösteren yıldız grupları aslında aynı bulutsuda oluşmuş olabilirler. Kinematik özelliklerin araştırılmasında temel olarak soderbloom un hesaplama yöntemi dikkate alınmıştır. Bu yöntemde α yıldızın sağ açıklığı, δ dik açıklığı, μ_α sağ açıklık yönünde ki öz hareket, μ_δ dik açıklık yönündeki öz hareket, ρ dikine hız ve π paralaks olmak üzere, yıldızın konumu

$$\begin{aligned}x &= r \cos \alpha \cos \delta \\y &= r \sin \alpha \cos \delta \\z &= r \sin \delta\end{aligned}$$

Dikine hız ve öz hareketi de hesaba eklersek

$$\begin{pmatrix} \rho \\ \mu_\delta \\ \mu_\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \delta & \sin \alpha \cos \delta & \sin \delta \\ -\cos \alpha \sin \delta & -\sin \alpha \sin \delta & \cos \delta \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dx}{dt} \\ \frac{dy}{dt} \\ \frac{dz}{dt} \end{pmatrix}$$

Galaktik koordinat sisteminde

$$\begin{pmatrix} \rho \\ \mu_\delta \\ \mu_\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos l \cos b & \sin l \cos b & \sin b \\ -\cos l \sin b & -\sin l \sin b & \cos b \\ -\sin l & \cos l & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$

Buradaki u, v ve w sırasıyla galaktik merkez doğrultusu , galaktik dönme doğrultusu, ve galaktik düzleme dik doğrultudaki uzay hız bileşenlerini olmak üzere,

Koordinat dönüşümü yapmak için

$$\begin{pmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \delta \\ \cos \alpha \sin \delta \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

Buradaki T dönüşüm matrisi

$$T = \begin{pmatrix} -0,05488 & -0,87344 & -0,48384 \\ 0,49411 & -0,44483 & 0,74698 \\ -0,86767 & -0,19808 & 0,45598 \end{pmatrix}$$

Uzay hızları için,

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = B \cdot \begin{pmatrix} \rho \\ k\mu_\alpha / \pi \\ k\mu_\delta / \pi \end{pmatrix}$$

Kullanılır B=T.A dır, A matrisi ise;

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

Güneş'in Yerel Sükunet Standardı'na (LSR) göre hız düzeltmesi, Mihalas ve Binney (1981) çalışmasına ait $(U_\odot, V_\odot, W_\odot) = (+9, +12, +7)$ km/s kabul edilerek yapılmıştır. LSR, R_\odot yarıçapında dairesel bir yörünge boyunca 220 km/s hızla dolanan ideal bir nokta olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca uzay hız bileşenlerinin hesaplanmasında bir belirsizlik mevcuttur. Hız bileşenlerindeki bu belirsizliklere geçmeden önce herhangi bir fonksiyondaki belirsizliğin nasıl ifade edildiğini belirtmekte fayda vardır. Bir F fonksiyonunun belirsizliği bileşenlerin belirsizliği cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

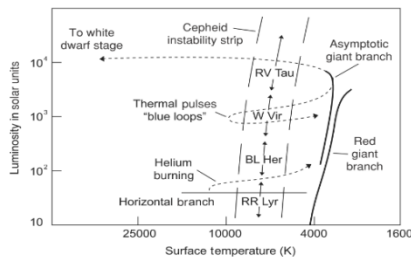
$$\sigma^2_{F(x,y,z)} = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \sigma^2_x + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \sigma^2_y + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \sigma^2_z$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_u^2 \\ \sigma_v^2 \\ \sigma_w^2 \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} \sigma_\rho^2 \\ (k/\pi)^2 [\sigma_{\mu\alpha}^2 + (\mu_\alpha \sigma_\pi)^2] \\ (k/\pi)^2 [\sigma_{\mu\delta}^2 + (\mu_\delta \sigma_\pi)^2] \end{pmatrix} + 2\mu_\alpha \mu_\delta k^2 \sigma_\pi^2 / \pi^4 \begin{pmatrix} b_{12} \cdot b_{13} \\ b_{22} \cdot b_{23} \\ b_{32} \cdot b_{33} \end{pmatrix}$$

İle bulunur.

Öz hareket, paralaks gibi Astronometrik bilgiler GAIA uydusundan alınmıştır. Yıldızların çoğunun radyal hızı GAIA verisi olmakla beraber bazı yıldızların radyal hız verileri için başka kataloglardan faydalanılmıştır. Radyal hız verilerin elde edilmesi spektroskopik yöntemlerle yapıldığı için çok büyük bir farklılık ya da sistematik hata getirdiği

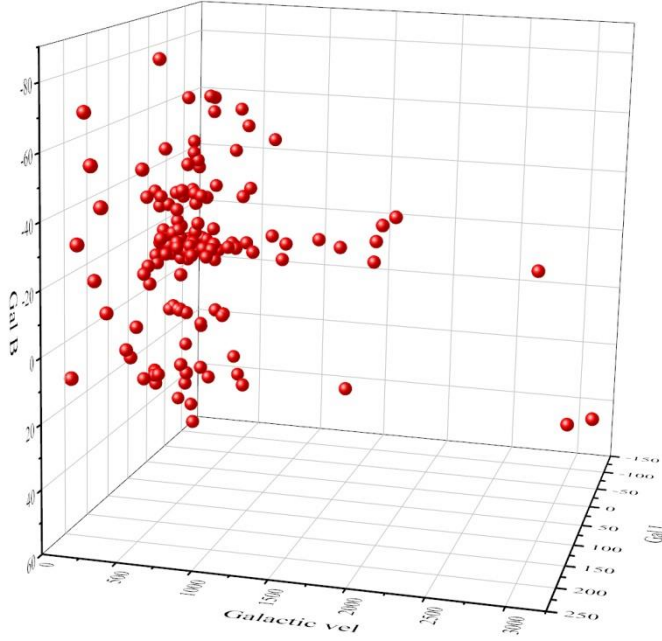
düşünülmemiştir.



Kinematik örnekleme için göz önüne aldığımız yıldız grubu olan RR Lyrae yıldızları, Zonklayan değişen küresel küme yıldızları olup, A ya da F spektral tipinden yaklaşık Güneş'in yarı kütesine sahip yaşlı

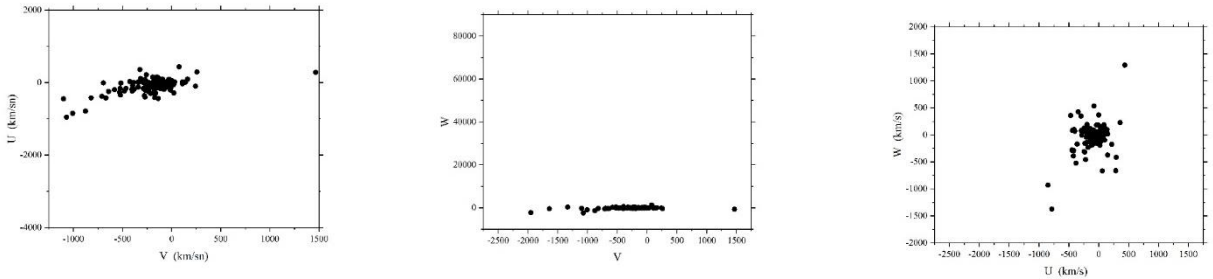
yıldızlardır. Metal bollukları yaşlarına bağlı olmakla birlikte 0.00001-0.01 aralığında değişir. Düşük metal bollukları nedeniyle popülasyon II yıldızları olarak isimlendirilen yıldızlar merkezlerinde hidrojen yakarak ana koldan zonklayan kırmızı dev olacakları dev kolunun tepesine doğru yavaşça evrilirler. Özek'te helyum ateşlendiği zaman yıldız RR Lyrae tipi olarak yatay kola doğru ilerler. Yatay kolda yüzey sıcaklıkları yaklaşık 6000 – 7500 K aralığındadır. Bir yıldızın HR diagramında yatay kolda olması demek ya popülasyon II yada yaşlı popülasyon I yıldızı olması demektir. Popülasyon II yıldızları galaksinin halo bölgesinde blunurken yaşlı popülasyon I yıldızları disk bölgesinde

bulunurlar. RR Lyrae yıldızları bazı küresel kümelerde çok fazla miktarda bulunurlar bu yüzden önceleri bu tip yıldızlar Küme değişenleri olarak isimlendiriliyordu. Küresel küme yıldızları çalışmak için özellikle çok kullanışlıdır, çünkü tüm yıldızların görüntüsü tek bir karede alınabilir ve kabaca tüm yıldızlar aynı uzaklıkta olduğundan bunların kızıllaşması, kimyasal bileşimleri ve yaşlarını yorumlamak daha kolaydır.



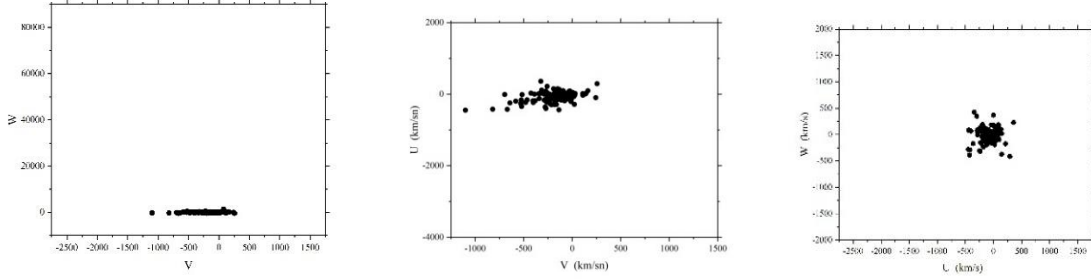
Şekil 9.1: Bir Grup RR Lyrae küresel küme yıldızlarının kimyasal bileşenlerine göre yaş dağılımı

Biz bu çalışmada GAIA uydusunca gözlenmiş olup GAIA yada RAVE kataloklarında radyal hız verisi olan 149 RR Lyrae türü değişen yıldızın galaktik U, V, W hızlarını



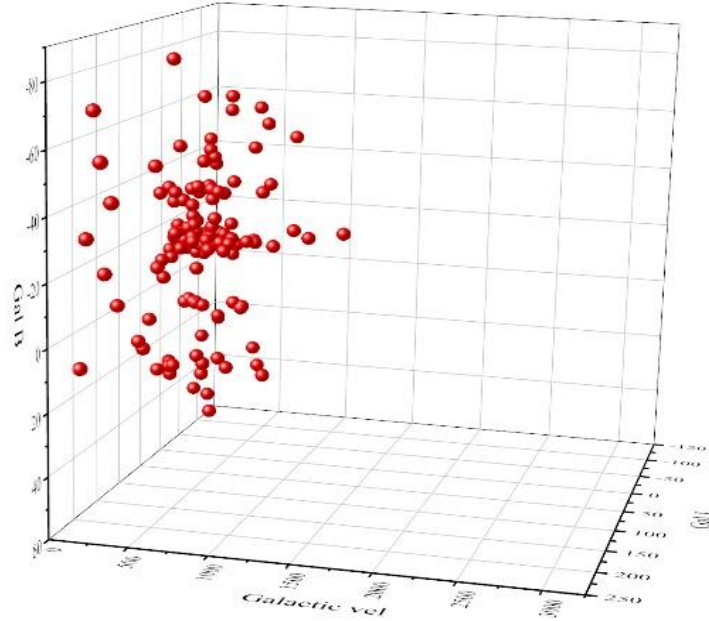
Şekil 9.2: RR Lyrae türü değişen yıldızın galaktik U, V, W radyal hızlarının ölçüm grafiği

bularak hız elipsoidlerini hesapladık. Grafiklerde de görüleceği üzere bazı yıldızlar oldukça uzak düşmektedirler. Bu yıldızlarda hatası çok büyük olanları çıkartınca bulunan grafikler şu şekilde olmaktadır.



Şekil.9.3. RR Lyrae yıldızların galaktik hız elipsoidleri

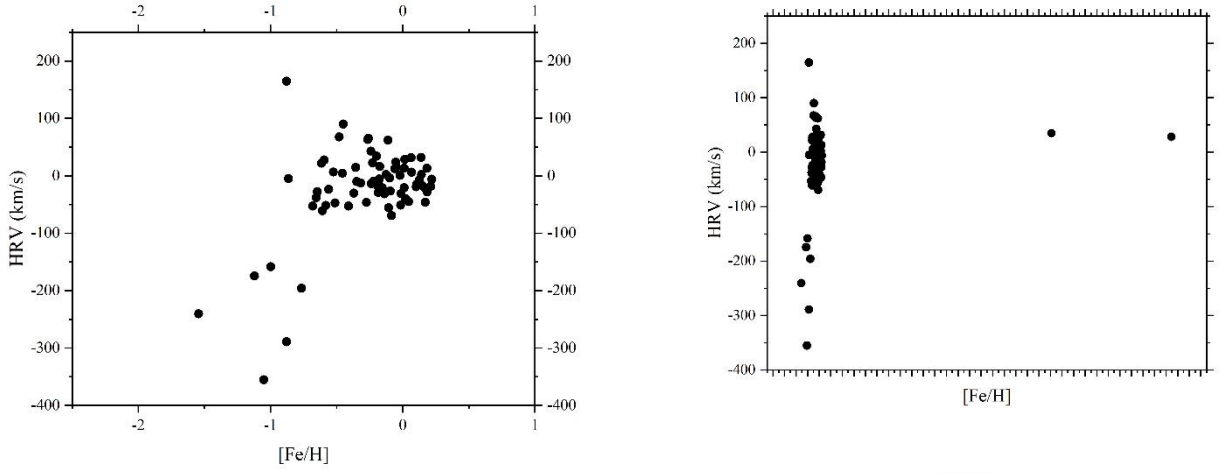
Ve galaktik enlem ve boylam ile hız grafiği çizilirse,



Şekil.9.4. RR Lyrae yıldızlarının galaktik enlem ve boylam hız grafiği

Şekildeki gibi bir görüntü elde edilir. RR Lyrae yıldızlar dağılımı oldukça güzeldir ve neredeyse hız elipsidi seçilebilmektedir. Hız elipsoidinin değerleri ise

Ort U	-77.6497
Ort V	-222.2535
Ort W	-56.7714
Ort KU	51603.6122
Ort KV	214756.2681
Ort KW	130466.8634
Ort UV	34609.8378
Ort UW	13250.7230
Ort VW	76673.4563
U SUN	77.6497
V SUN	222.2535
W SUN	56.7714
x1	43109.9981
x2	215304.5285
x3	79763.1295
l1	0.9897
l2	0.1124
l3	-0.0886
m1	-0.1430
m2	0.7982
m3	-0.5852
n1	0.0049
n2	0.5919
n3	0.8060
Galaktik L1'in tanjantı	0.1445
Galaktik L2'in tanjantı	-7.0990
Galaktik L3'in tanjantı	-6.6085
Galaktik B1'in sinüsü	0.0049
Galaktik B2'in sinüsü	0.5919
Galaktik B3'in sinüsü	0.8060
U ortalama	-77.65
V ortalama	-222.25
W ortalama	-56.77
(U-Uort)^2	7700508.03
(V-Vort)^2	32031799.72
(W-Wort)^2	19448021.58
sigma U	18.69
sigma V	38.11
sigma W	29.70
(U-Uort)*(V-Vort)	2585435.19
karşık moment Muv	17351.91
Tan 2 Q	-0.21
Q radyan olarak	-0.10
Q derece olarak	-5.96



Şekil 9.5: Bir grup seçilmiş RR Lyrae yıldızların metal bolluğu hız eğrisi

Metal bolluğu hız eğrisine bakarsak, grafikteki iki noktanın çok saçıldığını görürüz, bu yıldızlar sırasıyla GM Ori (klasik sefeid değişkeni) ve V0372 Aqr yıldızlarını çıkartırsak, grafik ikinci şekli alır ki beklediğimiz ile yani hız arttıkça metal bolluğunun düşeceği ile uyumludur.

10.EKLER

	Yıldız	Sağ açıklık			Dik açıklık			mu alfa	Mu_alf_err	Mu_del	Mu_de_l_er	Paral aks	Paralak s_err	rad hız	rad hız err
		sa at	Dk	Sn	dere ce	d k	Sn								
1	V0363 Cas	0	15.24	14.33349	60	20	25.69033	-1.55	0.01	-2.57	0.01	0.8	0.01	-39.95	4.49
2	RX Phe	0	24.38	22.85063	-55	34	32.16715	10.36	0.02	-7.01	0.02	0.18	0.02	1.3	5016.45
3	VY Hyi	0	48.28	16.58493	-75	24	8.509039	4.87	0.03	-3.9	0.03	0.15	0.03	-5.37	1.42
4	Z Hyi	0	48.32	19.2166	-77	0	0.399931	3.59	0.03	-1.31	0.03	0.08	0.03	-5.41	1.38
5	RY Phe	0	50.02	1.128428	-56	25	46.27334	5.73	0.02	-2.11	0.02	0.08	0.02	-0.97	1.3
6	CL Eri	2	3.8	47.75291	-58	52	54.85965	9.87	0.02	-1.77	0.03	0.1	0.02	-221.04	79.31
7	AM Hyi	2	11.11	6.385641	-59	45	40.84875	4.08	0.02	-3.12	0.02	0.12	0.02	214.7	0.97
8	NSV 831	2	25.83	49.59245	-72	29	8.290441	10.5	0.02	3.06	0.02	0.11	0.02	21.69	0.77
9	RY Hor	2	59.73	43.9485	-65	54	43.03001	7.89	0.02	-1.2	0.02	0.05	0.02	-24.68	1.24
10	V0428 Per	3	2.6	35.88943	41	12	4.038039	0.65	0.03	-0.46	0.02	0.2	0.02	-42.6	1.13
11	SS Hor	3	8.84	50.43502	-58	48	26.03993	5.13	0.02	-19.91	0.02	0.18	0.01	38.17	1.49
12	UZ Eri	3	13.76	45.76606	-15	47	16.31732	8.85	0.02	-9.11	0.02	0.4	0.02	89.62	10.27
13	NSV 1215	3	37.65	39.03407	-64	55	9.211701	3.72	0.02	1.97	0.02	0.16	0.02	31.51	0.7
14	YZ Eri	4	12.01	0.850024	-18	4	33.84351	2.43	0.03	-4.23	0.03	0.08	0.04	64.71	4
15	AX Hyi	4	13.76	45.65293	-74	51	17.14207	2.51	0.04	-3.02	0.04	0.1	0.03	10.06	1.23
16	BN Eri	4	33.92	54.95145	-1	34	28.13537	4.7	0.02	-1.31	0.02	0.51	0.02	60.01	6.57
17	V Men	5	34.61	36.86382	-76	20	12.15836	12.02	0.02	13.99	0.02	0.27	0.01	20.71	1.09
18	UX Dor	5	53.09	5.578429	-70	30	58.62775	1.58	0.02	1.01	0.03	-0.02	0.02	34.71	1.29
19	ST Pic	6	14.02	1.168906	-62	31	36.47268	14.08	0.02	33.27	0.02	2.08	0.01	59.67	9.64
20	EI Vel	8	7.2	12.05477	-46	56	2.687456	-1.37	0.02	2.13	0.02	0.04	0.01	23.94	0.61
21	LO Car	9	9.02	1.414812	-67	51	15.55202	-9.7	0.02	7.01	0.02	0.27	0.01	-25.67	1.32
22	LV Car	9	15.15	9.27168	-67	51	12.93103	0.95	0.02	6.53	0.02	0.13	0.02	3.82	0.62
23	MP Car	9	28.49	29.25569	-68	33	52.25883	-1.58	0.02	5.25	0.01	0.24	0.01	15.69	0.69
24	MS Car	9	30.46	27.57793	-67	39	29.97167	-1.38	0.04	2.77	0.04	0.1	0.03	2.43	1.63
25	NSV 4530	9	33.31	18.47564	-23	55	36.73553	-3.87	0.16	1.99	0.12	0.16	0.15	29.75	1.36
26	MX Car	9	37.65	39.26557	-67	25	33.68604	2.36	0.03	3.11	0.03	0.04	0.03	-1.12	0.54
27	VY Ant	9	45.11	6.380045	-27	14	23.21268	-1.16	0.04	-2.05	0.04	0.08	0.04	1.65	1.21
28	OX Car	10	4.65	39.1102	-71	49	54.93781	-6.28	0.03	7.48	0.03	0.1	0.02	0.52	4342.6
29	BI Hya	11	11.8	48.20691	-33	37	6.256757	-5.86	0.02	4.56	0.02	0.72	0.02	66.28	7.69

30	ST Crt	11	41.94	56.51227	-14	12	50.52314	-2	0.02	0.06	0.01	1	0.02	22.59	1.25
31	NSV 5413	12	0.14	8.664289	-74	29	21.36175	-7.76	0.03	6.04	0.03	0.24	0.03	-6.56	7.66
32	DY Hya	12	0.77	46.04183	-34	8	46.44862	12.31	0.03	-2.9	0.02	0.12	0.02	32.5	1.26
33	IK Hya	12	4.79	47.27261	-28	19	16.72777	63.98	0.02	48.89	0.01	1.27	0.02	422.82	38.53
34	AI Cha	12	5.05	3.072696	-80	27	29.75539	-5.75	0.04	2.58	0.05	0.09	0.03	-32.84	1.07
35	DE Mus	12	14.98	59.07658	-69	14	38.89086	-9.34	0.02	3.47	0.03	0.13	0.03	5.82	0.74
36	RX Crv	12	44.91	54.58594	-18	22	20.06439	0.55	0.04	5.44	0.02	0.14	0.03	39.98	2.62
37	FG Aps	15	6.7	42.18235	-73	46	38.5789	-6	0.02	2.16	0.03	0.15	0.03	40.37	0.94
38	V0372 Ser	15	17.58	34.99619	-2	54	43.25496	54.25	0.02	4.69	0.02	0.81	0.02	147.06	1.44
39	BV Lib	15	31.05	2.886897	-13	36	10.56475	2.38	0.04	3.99	0.03	0.01	0.03	14.54	0.87
40	CE Lib	15	34.34	20.4547	-19	33	12.19295	7.98	0.05	3.85	0.03	0.03	0.03	3.75	4.19
41	NSV 7146	15	35.28	16.56327	-13	55	33.62947	8.05	0.29	3.09	0.24	1.83	0.24	44.24	1.58
42	NSV 7150	15	35.92	55.43888	-19	44	47.40927	3.29	0.8	1.19	0.56	0.61	0.6	12.07	4.63
43	NSV 7183	15	39.99	59.45917	-14	12	41.5954	2	0.64	10.23	0.4	0.02	0.55	22.26	1.69
44	NSV 7198	15	41.7	41.73129	-13	88	55.0014	2.99	0.03	7.34	0.02	0.14	0.03	16.17	0.71
45	EL Lib	15	42.93	55.97308	-17	28	18.25301	2.58	0.02	1.75	0.02	0.38	0.02	10.25	1.66
46	EM Lib	15	42.95	56.87594	-17	50	49.13591	3.97	0.05	9.83	0.04	0.11	0.04	34.69	1.13
47	NSV 7259	15	47.95	56.8278	-14	54	47.95667	11.24	0.03	18.6	0.02	0.15	0.03	42.19	1.44
48	EO Lib	15	55.93	56.04089	-18	25	2.821701	12.38	0.03	12.79	0.02	0.22	0.02	48.47	7.79
49	VZ TrA	15	59.13	7.940511	-63	22	33.43999	20.75	0.01	2.32	0.02	0.52	0.02	72.34	8.27
50	BH TrA	16	19.11	6.841011	-62	37	53.20557	5.01	0.02	6.86	0.02	0.26	0.02	21.44	1.24
51	NSV 7706	16	25.66	39.67146	-6	58	55.1022	3.88	0.02	3.73	0.01	0.55	0.01	71.22	0.83
52	CN TrA	16	28.49	29.58723	-62	44	8.682867	7.87	0.01	4.09	0.02	0.47	0.02	21.12	4.43
53	NSV 7878	16	38.69	41.47649	-2	11	39.46291	0.51	0.02	5.12	0.02	0.19	0.02	3.05	0.81
54	DW TrA	16	41.03	1.727692	-64	27	26.04112	-1.04	0.01	14.47	0.01	0.29	0.02	1.03	1.18
55	LR Oph	16	56.94	56.61936	-30	28	59.45518	5.42	0.03	4.55	0.02	0.13	0.03	88.98	0.5
56	NS Oph	16	59.27	16.41939	-31	56	39.63547	3.04	0.03	7.25	0.02	0.07	0.02	193.33	1.31
57	IN Sco	17	0.24	14.51351	-31	35	50.84204	4.16	0.02	6.28	0.02	0.16	0.02	60.29	0.51

58	PY Oph	17	1.48	28.98087	-29	24	29.04846	-4.15	0.02	-4.74	0.01	0.06	0.02	-113	1.2
59	IS Sco	17	1.75	44.91912	-32	58	52.62779	-5.99	0.02	-9.38	0.02	0.11	0.02	-108.35	1.08
60	IW Sco	17	2.24	14.59347	-32	42	33.03129	-4.16	0.05	-6.83	0.03	0.26	0.04	-99.67	0.36
61	V0335 Oph	17	3.03	1.674014	-30	43	54.98952	-6.04	0.03	-8.14	0.02	0.21	0.03	1.07	1.05
62	V0336 Oph	17	3.07	3.976603	-30	7	38.84683	-4.07	0.03	-5.57	0.02	0.24	0.03	163.96	0.76
63	V0346 Oph	17	5.25	14.93213	-29	7	41.92095	4.54	0.03	2.11	0.02	0.15	0.02	-14.47	0.67
64	V0461 Her	17	10.82	49.31746	12	52	50.85917	1.91	0.02	3.68	0.01	0.39	0.02	-50.47	14.67
65	V0865 Oph	17	19	0.151581	9	30	26.70466	1.71	0.02	-32.29	0.01	0.4	0.01	-25.79	5.54
66	V0742 Ara	17	19.81	48.42869	-61	10	28.75546	-7.19	0.02	-6.35	0.02	0.16	0.03	-30.45	0.66
67	NSV 8562	17	23.58	34.94772	-58	7	59.45352	1.43	0.23	-16.57	0.21	0.05	0.29	-104.4	0.76
68	NP Ara	17	25.27	16.47009	-58	56	35.19148	-7.13	0.02	1.7	0.02	0.19	0.02	-47.11	0.95
69	V0335 Ara	17	27.6	35.99003	-57	43	11.33074	-0.06	0.02	-8.96	0.01	0.25	0.02	-1.74	0.92
70	NR Ara	17	27.64	38.24968	-59	58	7.276196	-0.34	0.02	-5.06	0.02	0.59	0.02	10.96	0.87
71	V0771 Oph	17	31.98	58.66009	10	8	32.66806	-6.98	0.01	-1.37	0.01	0.13	0.01	-237.11	0.7
72	NSV 8968	17	32.05	2.781614	-60	28	56.24796	-4.13	0.07	-2.8	0.07	0.36	0.09	8.17	2.5
73	V0752 Ara	17	32.24	14.26943	-60	21	54.62975	-5.75	0.02	-8.78	0.03	0.12	0.04	10.7	2.23
74	NSV 9173	17	35.97	58.28794	-57	14	40.54497	2.23	0.14	-4.22	0.12	0.63	0.15	-41.76	1.99
75	NSV 9223	17	37.83	50.04962	-57	3	36.37428	-8.15	0.04	-11.11	0.03	0.11	0.04	-34.97	2.13
76	NSV 9232	17	37.93	56.05813	-57	7	51.02844	-1.64	0.03	-0.59	0.03	0.53	0.03	19.51	0.95
77	V0756 Ara	17	39.08	5.006411	-59	13	34.9506	-4.23	0.04	-4.8	0.04	0.13	0.05	30.05	0.77
78	NSV 9444	17	41.78	47.00599	-61	59	2.359322	-2.98	0.04	-0.37	0.04	0.02	0.05	-33.14	0.76
79	OR Ara	17	43.41	24.4791	-57	17	26.56992	-2.84	0.03	-5.7	0.03	0.12	0.03	-22.34	0.76
80	NSV 9649	17	47.28	16.51728	-52	18	31.44116	-2.2	0.04	-6.04	0.03	0.14	0.03	5.05	0.98
81	V0556 Ara	17	47.47	28.10863	-51	40	6.324074	0.38	0.05	-4.37	0.04	0.02	0.05	-33.32	0.58
82	OS Pav	17	50.74	44.26096	-60	11	14.89664	4.58	0.04	-3.53	0.04	-0.02	0.05	-18.64	0.74
83	NSV 9747	17	51.8	47.95357	-58	11	40.71071	-3.81	0.66	-10.17	0.67	1.38	0.62	-54.52	3.06
84	OV Pav	17	52.09	5.605145	-60	43	15.91214	-2.22	0.03	-13.64	0.03	0.07	0.03	62.75	0.89
85	PP Ara	17	56.01	0.470958	-54	0	52.03178	-0.93	0.03	-1.49	0.02	0.15	0.03	28.42	0.87

86	PX Ara	18	2.0 1	0.828 307	-51	2 2	25.47 403	- 4.34	0.02	-4.3	0.02	0.31	0.02	68.2 1	0.83
87	V0595 Ara	18	2.3 6	21.56 107	-48	4 7	2.827 668	- 4.01	0.04	- 4.56	0.03	0.11	0.03	- 43.1 5	1.07
88	CI Pav	18	2.6 5	38.94 081	-61	3 9	41.91 891	- 0.95	0.02	- 8.14	0.02	0.14	0.03	53.5 1	1.3
89	NSV 10021	18	3.2 6	15.70 446	-48	3 2	56.52 968	- 0.64	0.03	- 4.46	0.03	0.09	0.03	- 62.4 9	0.76
90	NSV 10023	18	3.3	17.93 315	-48	3 3	29.61 831	- 1.55	0.04	- 6.01	0.03	0.09	0.04	- 62.4 9	0.76
91	FG CrA	18	3.9 2	55.25 975	-38	1 1	53.22 759	- 1.35	0.02	- 3.25	0.01	0.34	0.02	32.8 2	1.46
92	V0602 Ara	18	5.6 8	40.89 261	-49	3 8	9.577 267	- 6.74	0.03	- 0.57	0.02	0.07	0.03	- 25.1 9	0.66
93	V0488 CrA	18	6.7	41.72 284	-43	7	13.72 736	- 6.32	0.04	- 15.7 8	0.03	0.87	0.04	- 58.4 7	0.58
94	V0613 Ara	18	7.7 4	44.35 851	-55	3 3	29.21 797	- 0.88	0.29	- 5.96	0.25	-0.15	0.26	18.1 4	0.65
95	V0606 Ara	18	8.0 5	2.842 932	-49	4 0	43.88 372	- 2.16	0.04	- 7.25	0.03	0.1	0.03	- 56.8 9	0.9
96	KM Tel	18	9.7 2	43.06 951	-50	1 8	59.01 758	- 1.68	0.04	- 2.21	0.03	0	0.04	- 15.4 9	3.34
97	V0340 CrA	18	11. 2	11.97 522	-41	2 1	7.679 096	- 1.97	0.02	- 1.06	0.01	0.27	0.02	16.7 5	4.02
98	BU Tel	18	11. 38	22.67 47	-51	2 0	30.67 748	- 4.47	0.03	- 3.95	0.03	0.11	0.03	- 162. 46	1.23
99	KU Tel	18	13. 35	21.29 453	-49	2 0	50.17 499	- 2.83	0.04	- 12.9 9	0.03	0.11	0.04	- 41.6 6	0.87
10 0	NSV 10358	18	13. 75	45.11 431	-56	5 0	2.128 243	- 3.84	0.1	- 2.68	0.09	0.29	0.11	- 22.2 2	0.82
10 1	KX Tel	18	14. 58	34.77 595	-47	4 1	42.74 714	- 0.04	0.04	- 9.73	0.03	0.06	0.04	- 26.3 8	1.54
10 2	NSV 10502	18	18. 88	52.86 282	-52	4 6	16.18 889	- 1.94	0.16	- -6.2	0.13	0.32	0.14	14.0 5	0.73
10 3	V3800 Sgr	18	20. 05	2.989 263	-27	1 9	9.603 164	- 1.81	0.03	- 5.49	0.02	0.1	0.02	22.6 3	5.34
10 4	NSV 10584	18	20. 06	3.650 591	-52	4 3	29.57 117	- 8.29	0.11	- 3.63	0.1	0.49	0.1	- 6.61	2.06
10 5	PP Pav	18	21. 59	35.57 901	-60	3 4	9.592 447	- 3.03	0.04	- 0.33	0.03	0.08	0.05	- 47.1	4.62
10 6	V0565 CrA	18	22. 77	46.14 525	-45	1 3	38.74 719	- 3.45	0.03	- 2.06	0.03	0.07	0.03	- 106. 84	1.4
10 7	NSV 10655	18	21. 85	50.78 449	-51	4 6	36.81 843	- 1.35	0.16	- 8.44	0.14	0.5	0.18	13.5 9	1.73
10 8	LW Tel	18	22. 96	57.76 381	-47	3 6	50.05 947	- 3.54	0.03	- 0.8	0.03	0.09	0.03	31.0 1	1.11
10 9	V0575 CrA	18	24. 19	11.17 954	-43	1 2	10.06 233	- 0.8	0.02	- 5.53	0.02	0.13	0.02	29.1 4	2.66
11 0	DV Tel	18	27. 23	13.88 882	-56	5 1	14.19 644	- 1.38	0.04	- 10.4 8	0.03	0.04	0.04	- 50.4	0.71
11 1	NSV 10831	18	29. 08	5.028 268	-57	3 0	13.57 658	- 2.28	0.21	- -2.2	0.19	-0.01	0.19	- 32.3 8	0.62
11 2	NSV 10850	18	29. 46	27.51 014	-53	7	53.70 38	- 2.94	1.29	- 2.57	1.32	0.27	1.27	20.0 6	1.75
11 3	ER Tel	18	31. 52	31.30 715	-51	3 0	1.914 847	- 3.17	0.03	- 3.01	0.02	0.14	0.03	2.41	1.37
11 4	ET Tel	18	33. 36	21.83 13	-53	1 8	56.93 822	- 2.76	0.03	- 3.61	0.03	0.12	0.03	45.3 1	2.62
11 5	IR Sgr	18	33. 66	39.87 503	-26	3 9	9.024 312	- 0.67	0.02	- 0.71	0.02	0.37	0.02	27.6	0.42

11 6	EY Tel	18	35. 02	1.387 293	-53	9	19.80 076	1.63	0.04	- 9.78	0.03	0.05	0.03	- 67.3 6	0.93
11 7	V3688 Sgr	18	38. 18	10.55 132	-34	5 2	16.32 557	- 3.81	0.02	- 6.03	0.01	0.11	0.02	97.2	1.07
11 8	V5644 Sgr	18	39. 87	51.93 539	-33	5 9	5.407 421	- 9.51	0.03	- 31.2	0.02	0.39	0.02	- 201. 86	5.4
11 9	V0465 Lyr	18	40. 23	13.98 714	35	4 9	26.15 141	6.04	0.02	-5.9	0.02	0.67	0.02	- 14.2 5	2.38
12 0	DQ Pav	18	40. 69	41.51 52	-58	1 6	55.57 077	- 2.49	0.02	- 7.96	0.01	0.24	0.02	8.44	1.36
12 1	FX Sct	18	41. 94	56.59 994	-11	2	39.05 384	- 1.73	0.01	- 0.74	0.01	0.79	0.01	- 80.1 3	0.13
12 2	GM Tel	18	49. 2	12.04 048	-54	1 4	38.62 336	- 4.24	0.02	- 7.1	0.02	0.13	0.03	101. 19	2.06
12 3	RY Vul	19	4.5 6	33.75 656	24	4 6	24.98 593	- 4.57	0.02	- 6.69	0.02	0.51	0.02	25.9 7	0.39
12 4	NSV 11814	19	12	59.73 438	42	1 8	46.02 057	- 2.23	0.01	- 12.3 6	0.01	1.11	0.01	1.44	2.4
12 5	XX Oct	19	26. 93	56.09 881	-76	5 2	25.05 614	- 2.87	0.04	- 0.53	0.05	0.09	0.04	- 22.2 5	1.35
12 6	V1254 Aql	19	33. 62	37.34 045	3	1 5	9.299 182	- 1.42	0.02	- 2.6	0.02	0.18	0.02	43.9 9	2.62
12 7	V2181 Sgr	19	45. 43	25.57 344	-39	3 4	41.56 445	- 0.23	0.04	- 4.27	0.03	0.01	0.03	- 27.1	0.75
12 8	V2183 Sgr	19	46. 25	14.82 702	-39	1 0	34.67 318	- 3.9	0.03	- 2.08	0.02	0.09	0.03	- 15.8 8	0.74
12 9	V2190 Sgr	19	47. 76	45.71 607	-43	2 9	43.31 419	0.04	0.06	- 2.63	0.05	-0.08	0.06	- 4.64	1.51
13 0	V2192 Sgr	19	48. 28	16.89 137	-41	4 1	8.116 775	16.7 1	0.02	- 10.3 2	0.01	1.15	0.01	37.8 9	1.34
13 1	V2196 Sgr	19	50. 37	22.05 545	-45	2	58.44 711	- 4.03	0.03	- 11.2 3	0.02	0.16	0.03	22.9 2	0.49
13 2	FO Pav	19	51. 7	42.12 339	-63	1 5	52.15 83	17.1 5	0.01	- 50.7	0.01	0.39	0.02	- 30.8 6	9.1
13 3	V2214 Sgr	19	59. 25	14.83 65	-40	7	6.469 284	5.28	0.05	- 4.57	0.03	0.02	0.05	- 14.6 2	4.37
13 4	V2228 Sgr	20	4.7 8	46.83 294	-41	4 4	33.16 382	6.44	0.03	- 8.61	0.02	0.53	0.03	- 26.9 1	1.51
13 5	V2231 Sgr	20	6.7 2	43.44 344	-43	5 7	14.56 412	- 3.77	0.03	- 9.31	0.03	0.11	0.03	- 10.7 1	1.67
13 6	HX Tel	20	7.4 5	26.78 29	-46	4 0	40.71 544	2.1	0.02	3.47	0.02	0.76	0.03	- 30.5	2.26
13 7	V2237 Sgr	20	8.6 7	40.18 29	-36	1	4.421 48	- 0.19	0.03	- 0.1	0.02	0.15	0.03	- 5.26	1.3
13 8	V2240 Sgr	20	10. 87	52.04 435	-44	2 2	41.88 428	5.06	0.02	- 7.9	0.02	0.13	0.02	- 81.1 5	0.52
13 9	V2241 Sgr	20	11. 08	4.530 944	-43	7	56.78 336	- 5.89	0.03	- 0.34	0.03	0.14	0.03	- 23.9 4	0.93
14 0	V2251 Sgr	20	15. 33	19.58 864	-38	2 0	44.87 738	3.65	0.05	- 7.96	0.04	0.1	0.05	- 20.2 6	0.84
14 1	V2254 Sgr	20	17. 5	30.18 695	-42	5 5	29.08 389	-0.6	0.03	- 7.18	0.03	0.13	0.03	11.4 8	0.95
14 2	V1179 Aql	20	19. 39	23.62 572	-2	3 8	57.60 3	- 3.82	0.03	- 2.69	0.03	0.1	0.03	- 25.5 7	0.85
14 3	AG Mic	21	4.0 4	2.627 704	-43	1 2	5.869 176	2.25	0.05	- 3.44	0.05	0.07	0.05	55.1 4	1.84

14 4	NSV 25603	21	28. 67	40.49 113	-43	2 8	2.453 424	0.24	0.09	- 1.35	0.08	-0.06	0.11	- 61.5 6	1.61
14 5	TX Scl	23	55. 37	22.26 085	-27	4 1	52.92 903	9.71	0.02	- 10.9 3	0.02	0.44	0.02	81.0 5	9.67
14 6	CZ Phe	23	56. 36	21.77 734	-54	3 0	38.05 984	- 0.46	0.01	- 12.7 3	0.01	0.32	0.01	28.5 8	15.36
14 7	HU Peg	23	59. 37	22.16 767	13	4 7	11.52 26	4.56	0.04	- 1.65	0.02	0.13	0.03	- 177. 35	0.33
14 8	ez cet	1	46	55.94 754	-10	5 7	2.325 811	-144	3.4	-88	3.2	46.4	6.7	-1.5	1.6
14 9	37 gem	6	52	14.20 272	25	2 6	24.25 672	-38	2.2	19	1.8	54.2	10	- 14.5	0.4



KAYNAKLAR

- 1995 JC Evans Fizik ve Astronomi Bölümü, George Mason Üniversitesi, JC Evans; jevans@gmu.edu
- About the Spitzer Space Telescope". Caltech.
- Ak, T., Bilir, S., donmez, A., Soyduğan, F., ve dig., 2015, Ap&SS, "357, 72
- Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, http://astronomy.science.ankara.edu.tr/old/astro/turkce_ast/ders/genel_ders/win_ders14.html
- Bar at Milky Way's heart revealed". New Scientist. 16 Ağustos 2005
- Bar at Milky Way's heart revealed. New Scientist. 16 Ağustos 2005.
- Bessell, Michael S. "Standard Photometric Systems", Annual Review of Astronomy and Astrophysics , cilt. 43. Palo Alto: Yıllık İncelemeler, 2005: 293–336
- Binney, James; Tremaine, Scott (2008). Galaktik Dinamikler. Princeton
- Chadid, M. (2000), "Irregularities in atmospheric pulsations of RR Lyrae stars", Astronomy and Astrophysics, cilt 359, ss. 991-997
- Chadid, M., et al., 2004, "No evidence of a strong magnetic field in the Blazhko star RR Lyrae", Astronomy & Astrophysics 413, 1087
- Chadid, M.; Gillet, D. (1996), "Observation of the metallic line doubling phenomenon in the variable star RR Lyrae", Astronomy and Astrophysics, cilt 308, ss. 481-488
- Chadid, M.; Gillet, D. (1997), "The Blazhko effect on line profiles in the variable star RR Lyrae", Astronomy and Astrophysics, cilt 319, ss. 154-160
- Chen, W (1996). "On the spiral arm interpretation of COMPTEL ^{26}Al map features". Space Science Reviews. Cilt 120. ss. 315-316
- Clavin, Whitney (15 Mayıs 2009). "NASA's Spitzer Begins Warm Mission". NASA/Caltech. ssc2009-12, jpl2009-086
- Ending in 2020, NASA's Infrared Spitzer Mission Leaves a Gap in Astronomy. Jonathan O'Callaghan. Scientific American. 4 Haziran 2019.
- ESA Gaia Satellite, <https://sci.esa.int/web/gaia>
- First detection of period doubling in Kepler Blazhko RR Lyrae stars", MNRAS, 400, 1244
- Genetic Study" of the Galaxy
- Harwood, William (25 Ağustos 2003). "300th Delta rocket launches new window on Universe". CBS News via Spaceflight Now
- <http://www.astro.uu.se/~barklem>
- <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/V/variablestar.html>
- https://www.aavso.org/vsots_rrlyr
- Introduction to Supernova Remnants". Goddard Space Flight Center. 6 Nisan 2006
- J. Bally, J. Morse, B. Reipurth (1996). Piero Benvenuti, F.D. Macchetto, and Ethan J. Schreier (Ed.). The Birth of Stars: Herbig-Haro Jets, Accretion and Proto-

Planetary Disks - Science with the Hubble Space Telescope - II.
Proceedings of a workshop held in Paris, France, December 4-8, 1995

- Johnson, D.R.H., Soderblom, D.R., 1987, AJ, 93, 864
- Jon Talpur de Keele Üniversitesi , 1997
- Kolenberg, K. vd. 2010, "First Kepler Results on RR Lyrae Stars", ApJ, 713, L198
- Kolenberg, K. vd. 2010, "Kepler photometry of the prototypical Blazhko star RR Lyr: an old friend seen in a new light", MNRAS, 411, 878
- Kolenberg, K., et al., 2010, "An in-depth spectroscopic analysis of the Blazhko star RR Lyrae", Astronomy & Astrophysics 519 (in press)
- Kukarkin, B.V. (1975), IAU Symp, ss. 67-511
- Kurtz, D. vd., 2000, "A New Look at the Blazhko Effect in RR Lyrae Stars with High Quality Data from the MACHO Project", ASPC, 203, 291
- Lub, J. (1977), "An atlas of light and colour curves of field RR Lyrae stars", Astronomy and Astrophysics Supplement Series, cilt 29, s. 345
- Mann, Adam (30 Ocak 2020). "NASA's Spitzer Space Telescope Ends 16-Year Mission of Discovery - NASA's Spitzer space telescope spotted 7 Earth-size worlds orbiting another star, a new ring around Saturn and many more wonders in space".
- Preston, G.W (1959), "A Spectroscopic Study of the RR Lyrae Stars", Astrophysical Journal, cilt 130, s. 507
- Sekiguchi, Maki (Ağustos 2000). "A Study of the B-V Color-Temperature Relation" (HTML). The Astronomical Journal. 120 (2). ss. 1072-1084.
- Seligman, Courtney. "Slow Contraction of Protostellar Cloud"
- Smith, Gene (16 Nisan 1999). "Stellar Spectra". University of California, San Diego. 3 Nisan 2011
- Stellingwerf, R.F., 2013, "The Kepler RR Lyrae SC Data Set Period Variation and Blazhko Effect", arXiv preprint.
- Szabó, R.. vd., 2010, "Does Kepler unveil the mystery of the Blazhko effect?"
- Talpur, Jon (1997). "A Guide to Globular Clusters Universe, Kaufmann Third Edition, 25,483-497.
- University Press. Sayfa 16–19. ISBN 9780691130279.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Sevinç Korkmaz

E-postası:

Öğrenim Durumu :

Lise : Kubilay Anadolu İmam Hatip Lisesi (2002-2005)

Lisans: İnönü Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği (2009-2013)

Yüksek lisans: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Ana Bilim Dalı (2019-2022)

Araştırma Alanları: Astronomi, Astrofizik ve Yıldızlar

Katıldığı Çalıştaylar:

Ege Üniversitesi Gözlemevi ,Doğa Bilimlerinde Zaman Ölçümü Çalıştayı.

Ege Üniversitesi Gözlemevi ,Tek ve Çift Yıldızlarda Tayfbilim Çalıştayı.

Ege Üniversitesi Gözlemevi,Yıldız Kümeleri Üzerine Güncel Çalışmalar Çalıştayı.