T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILDIZLARIN DÖNME HIZININ H-R DİYAGRAMI ÜZERİNDEKİ DAVRANIŞI

Fatima MAMMADOVA

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Ernst PAUNZEN

Ocak, 2023

İSTANBUL

Bu çalışma 19.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Hasan H. Esenoğlu
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Ebru AKTEKİN ÇALIŞKAN
Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi

- **İntihal Programı Beyanı**

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

- **Proje Destekleri**

Bu çalışmanın yapılmasında İstanbul Üniversitesi Erasmus+ Öğrenci Değişim Programı sırasında yüksek lisans öğrenci hibesi ve Masaryk Universite'si Teorik Fizik ve Astrofizik Bölümünün tek seferlik öğrenci envanter desteği ile desteklenmiştir.

- **Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri**

[]

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında özellikle önemli rolleri olan birkaç kişiye teşekkür etmek isterim, sayısız dışarda bırakmam gereken kişilerden özür dilerim.

Öncelikle tez çalışmasında seçimimi göz önünde bulundurup, her zaman destekleyen ve yardımcı olan, bir danışmanın yapması gerekenden daha fazla yakından ilgilenen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE'ye derin minnettarlığımı bildiririm.

Tez çalışma konusu seçiminde bana seçenekler sunan, seçimimde destek olan, Yüksek Lisans programı çerçevesinde Erasmus+ Programında Masaryk Universitesinde kendi öğrencisi olarak ağırlayan ve daima bilimsel desteğini esirgemeyen ikinci danışmanım Sayın Prof. Dr. Ernst PAUNZEN'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Bilimsel çalışmalara devam etmek, Yüksek Lisans yapmak, bilimsel kariyere başlamak için motive eden Annem'e, beni herşeyde olduğu gibi eğitim hayatımda destekleyen ailem, akrabalarım ve çalışmamda yardımcı olan İstanbul ve Masaryk üniversitesindeki arkadaşlarıma,

Tez çalışmamda tamamen motivasyonumu kaybettiğim, kendimi kapattığım dönemde bana ivme kazandıran arkadaşıma,

Yüksek Lisans eğitimimde bir çok konuda yönlendirme ve bilgilendirmelerine başvurduğum Bölüm Başkanlığına ve Fen Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Tansel AK'a,

Erasmus+ Programı boyunca maddi ve teknik destek olan İstanbul Üniversitesi Erasmus Program Koordinatörlüğüne,

Erasmus+ Programı boyunca ve sonrasında maddi, bilimsel ve teknik desteğini esirgemeyen Masaryk Üniversitesi Teorik Fizik ve Astrofizik Bölümüne,

Sağladığı bilimsel çalışma ortamı için Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölüm Başkanlığına,

Teşekkürlerimi sunuyorum.

Ocak, 2023 Fatima MAMMADOVA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY **1**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **5**
2.1. YILDIZLARIN ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZLARI 5
2.2. ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZ KATALOGLARI 9
2.3. FOTOMETRİK VERİLER 10
2.4. *GAIA* VERİLERİ 10
2.5. 2MASS VERİLERİ 11
2.6. TAYF VERİSİNİN ÖNEMİ 11
2.7. H-R DİYAGRAMI ÜZERİNDEKİ DÖNME HIZI PARAMETRESİ 12
3. MALZEME VE YÖNTEM **13**
3.1. VERİLERİN TOPLANMASI 13
3.2. ORTALAMA ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZ HESABI 14
3.3. SÖNÜKLEŞTİRMEDEN ARINDIRMA VE MUTLAK PARLAKLIK HESABI . 15
4. BULGULAR **17**
4.1. TOPLANAN VERİLER VE HESAPLANAN ORTALAMA DÖNME HIZILARI 17
4.2. *GAIA* ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZILARI 19
4.3. KATALOGDAKİ YILDIZLARIN H-R DİYAGRAMI 22
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **33**
KAYNAKLAR **36**

ÖZGEÇMİŞ 41

ŞEKİL LİSTESİ

Page No

Şekil 2.1: Öngörülen dönme hızının (yüzey) gösterimi (Trypsteen and Walker, 2003). 8

Şekil 4.1: Literatürden toplanan yıldızların 2000 epoklu ekvatoral koordinatlardaki dağılımları. 18

Şekil 4.2: Literatürden toplanan yıldızların galaktik koordinatlardaki dağılımları. 19

Şekil 4.3: Her bir yıldızın ortalama hız hesaplanırken referans sayılarının histogramı. 20

Şekil 4.4: Literatürden toplanan yıldızların ortalama *vsini* hızlarının histogramı..... 20

Şekil 4.5: Ortalama dönme hızlarının toplam referans sayılarına göre dağılımı. 21

Şekil 4.6: Ortalama dönme hız parametresinin hatalarına göre dağılımı. 21

Şekil 4.7: *Gaia* verisinden alınan *vsini* hız histogramı..... 22

Şekil 4.8: *Gaia* öngörülen dönme hız parametresinin hatalarına göre dağılımı. 23

Şekil 4.9: *Gaia* öngörülen dönme hız parametresine karşılık rölatif *vsini* hatalarına göre dağılımı. 23

Şekil 4.10: Tezde hesaplanan $vsini_{ort}$ hız değerlerinin *Gaia vsini* hızlarına göre dağılımı..... 24

Şekil 4.11: Hız parametresinin hatasından küçük olduğu durum için $vsini_{ort}$ hız değerlerinin *Gaia vsini* hızlarına göre dağılımı. 24

Şekil 4.12: Katalogdaki yıldızların *Gaia* ıraksınım (mili yay saniyesi) histogramı..... 25

Şekil 4.13: Iraksınımı sıfırdan büyük olan yıldızların uzaklık histogramı. 25

Şekil 4.14: Katalogdaki yıldızların rölatif ıraksınım hatalarının (mili yay saniyesi) histogramı.... 26

Şekil 4.15: G parlaklığına karşılık parlaklığın hatası. 27

Şekil 4.16: BP parlaklığına karşılık parlaklığın hatası. 27

Şekil 4.17: RP parlaklığına karşılık parlaklığın hatası. 28

Şekil 4.18: Katalogdaki yıldızların renk-parlaklık dağılımı. 29

Şekil 4.19: Katalogdaki yıldızların yoğunluklarına göre renklendirilmiş HR diyagramı..... 30

Şekil 4.20: Katalogdaki yıldızların tayf türlerine göre renklendirilmiş, $vsini_{ort}$ değerlerine göre boyutlandırılmış H-R diyagramı..... 31

Şekil 4.21: Katalogdaki yıldızların tayf türlerine karşılık $vsini_{ort}$ değerlerine göre dağılımı. 32

TABLO LİSTESİ

Page No

Tablo 3.1: Bir yıldız için farklı referanslardan gelen *vsini* gösterimi..... 14

Tablo 4.1: Hesaplanan ortalama *vsini* kataloğu..... 17

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

V_R : Bakış doğrultusundaki hız
$vsini$: Projected Dönme hızı (Öngörülen Dönme hızı)
$vsini_{ort}$: Projected Dönme hızı (Ortalama Öngörülen Dönme hızı)
$vsini_{hata}$: Projected Dönme hızı hatası (Ortalama Öngörülen Dönme hızı hatası)

Kısaltmalar **Açıklama**

GAIA : Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
2MASS : Two Micron All-Sky Survey
CDS : Centre de données astronomiques de Strasbourg
ESIS : European Space Information System
H : Hidrojen
H-R : Hertzprung-Russell Diyagramı
YGN : Genç Yıldızımsı Nesneler (GYN); Young Stellar Object (YSO)
IMF : Initial Mass Function
kpc : Kiloparsek
NASA : National Aeronautics and Space Administration
NGC : New General Catalogue
SIMBAD : Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILDIZLARIN DÖNME HIZININ H-R DİYAGRAMI ÜZERİNDEKİ DAVRANIŞI

Fatima MAMMADOVA

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE

II. Danışman: Prof. Dr. Ernst PAUNZEN

Yıldızların dönmesi, farklı yıldız türlerinin astrofiziğinin çalışılması açısından önemlidir. Bu amaçla, bu yüksek lisans tezinde, yıldızların öngörülen dönme hızlarının (*vsini*) bir fonksiyonu olarak H-R diyagramı incelenmiştir. Bu çalışmayı yapabilmek için ilk önce yıldızların litaratürdeki tüm ölçüm olarak verilmiş 410,723 tane yıldız için *vsini* hızları toplanmıştır. Veriyi homojen hale getirmek için 2MASS gökyüzü tarama programındaki verilerle eşleştirme yapılmıştır. Bu katalog verileri tüm tayf türü ve farklı ışıma gücü verilerini içermektedir. Ayrıca, *Gaia* ile eşleştirme yapılmış ve böylelikle en güncel, hassas astrometrik ve fotometrik verilerle H-R diyagramı çizilmiştir. Diyagramda $vsini_{ort}$ e göre H-R diyagramı incelendiğinde genel olarak sıcak yıldızlara doğru gidildikçe $vsini_{ort}$ beklendiği gibi artmaktadır. Bu diyagramdan buna uymayan yıldızlarda bulunmaktadır. Bu yıldızların neden bu genel davranışı sergilemediği ayrıntılı olarak araştırılmalıdır. Yüksek lisans tezi hem bu kataloğun büyük miktarda yıldız içermesi ve güncel verilerle yıldızların tüm *vsini* değerlerinin toplanması hem de her tayf türünü içermesinden dolayı özgündür. Bu nedenle, bu tez çalışmasının çıktıları başka çalışmalara ilham olacağı düşünülmektedir.

Ocak, 2023, 39 sayfa.

Anahtar kelimeler: H-R diyagramı, öngörülen dönme hızı, katalog, yıldız, gökyüzü taramaları

SUMMARY

M.Sc. THESIS

ROTATIONAL VELOCITY BEHAVIOUR OF STARS ON H-R DIAGRAM

Fatima MAMMADOVA

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Assoc. Dr. Esma YAZ GÖKÇE

Co-Supervisor: Prof.Dr. Ernst PAUNZEN

The rotation of the stars is a significant parameter for the astrophysical studies of the different type stars. For this purpose, in this master's thesis, the H-R Diagram as a function of the star's projected rotational velocity (*vsini*) has been investigated. In order to be able to do this study, all projected rotational velocity (*vsini*) values of 410,723 stars given as measurements in the literature were collected. In order to make the data homogeneous, the data matching process was completed with the 2MASS sky scanning survey's data. This catalog includes all spectral types stars and the different luminosity data of the stars. In addition, the data was matched with *Gaia* data and thus H-R diagram was drawn with the most up-to-date, precise astrometric and photometric data. While the H-R diagram is examined according to the mean *vsini* values, in general mean *vsini* value increases towards to the hot stars as expected. There are stars that do not fit it in this diagram. The reason, why these stars do not exhibit for this general behavior has been studied. This catalog is based on the fact that this catalog contains a large number of stars, as well as the collection of all stars up-to-dated data. The thesis is unique in that reason this catalog contains a large number of stars, collects stars' projected *vsini* values, includes all types of stars, and contains up-to-date data. For this reason, it is thought that the outputs of this thesis will be a source of inspiration for other studies.

January, 2023, 39 pages.

Keywords: H-R diagram, projected rotational velocity, star, sky surveys

1. GİRİŞ

İnsanoğlu uzaya farklı dalgaboylarında baktığından beri daha önce bilmediğimiz kaynaklar belirlenmiş ve kaynakların sayıları arttığında katalogları yapılmaya başlanmıştır. Astronomik katalog, ortak morfoloji, fiziksel veya yapısal özellikler, keşifedilme yöntemi veya tespit edilme aracına göre gruplandırılmış astronomik cisimlerin listelenmesi ya da kataloglanmasıdır. Astronomik nesnelerin kataloglanması amacı, sonraki çalışmalarda bilim insanları için hızlı şekilde ulaşılacak veri tabanı oluşturmaktır. Bu nedenle, astronomik öğelerin kataloglanması astrofizik bilimi için çok önem arz etmektedir. Dolayısıyla zaman içinde dev yıldızlar, çoklu yıldız sistemleri, yıldız kümeleri, galaksiler üzerine çok fazla kataloglar yapılmıştır (Cantat-Gaudin ve diğ., 2020; Elliott, 1904; Kharchenko ve diğ., 2012). Bunun yanı sıra yıldızların ve diğer gökcisimlerinin temel parametreleri de (sıcaklık, parlaklık, dönme hızı, kütle gibi) kataloglanmaktadır (Cannon, 1915, 1936; Cannon ve Pickering, 1924, 1918; Glebocki ve diğ., 2000, 2005; Lasker ve diğ., 1990). Uzay teknolojileri alanındaki gelişmeler (uydu teknolojileri, daha hassas alıcılar, daha büyük ve farklı gözlem türlerindeki teleskoplar) yeni keşiflerin devam etmesini sağlamıştır ve bu gelişmeler de yeni katalogların yapılmasını ihtiyaç haline getirmiştir. Bilinen astronomik kaynaklara yenilerinin katılması ve yeni, daha hassas verilerin yayınlanmasıyla katalogların güncellenmesi gereksimini doğurur. Tezde yapılan katalog bu nitelikleri barındırdığından bu çalışmanın yapılması önem kazanmıştır.

Bu tez çalışmasının iki amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, tüm öngörülen dönme hız (*vsini*) değerlerini literatürden toplamaktır. İkinci olarak, bu katalogdaki yıldızların ortalama *vsini* değerlerine göre H-R diyagramı üzerindeki davranışını incelemektir. Katalog çalışmaları yapılması araştırmacıların tek tek makaleleri incelemesine gerek kalmadan kapsamlı veriye tek bir çalışma ile ulaşma imkanı verdiği için önemlidir. Ancak katalog yapmak, farklı çalışmalarda aynı bilginin farklı şekilde verilmesi (farklı birim, logaritmik, farklı parametreler,...) yani standart olmaması, koordinat gibi o kaynağı tanımlayan bilgilerin eksik olması, kullanılan veri tabanlarında anahtar kelimelerle doğru makalelere ulaşılamaması veya eksik olması bakımından zor ve aynı zamanda çok fazla zaman alan bir iştir. Bahsedilen durumlar nedeniyle SQL gibi veri sorgulamaları etkin olarak

kullanılamamaktadır. Çoğu zaman tek tek yapılması ya da çoklu veri sorgulamasında zaman alan veri kontrolünün dikkatli bir şekilde yapılması gerekir.

Öngörülen dönme hız değeri için literatürde aynı cisim için bir veya birden fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan farklı gözlem ve teknikleriyle elde edilen parametre değerleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca, parametredeki belirsizlikler de bu durumda önem kazanmaktadır. Bir yıldıza ait parametre aralığı oldukça geniş olabilmektedir. Bu nedenle, parametre uzayındaki saçılmayı da dikkate alacak şekilde çalışmak önemli olmaktadır. Dolayısıyla bu tezde, bir yıldız için verilmiş *vsini* parametrelerinin ağırlıklı ortalama değerleri hesaplanarak listelenmiştir. Zaman içinde gelişen gözlem teknikleri ve analiz yöntemleriyle aynı cisimleri üzerine yapılan araştırma sayısı artmıştır. Örnek olarak tez kataloğunda yer alan bir yıldızın *vsini* verisi 44 referanstan toplanmıştır ve ağırlıklı ortalaması alınmıştır. Son zamanlarda yıldızların öngörülen dönme hızlarının sayısı, tayfsal gökyüzü taramalarının artması, gözlem teknikleri ve veri analizlerinin gelişmesiyle artmaktadır. Eskiden parlak kaynakların tayfsal gözlemleri çok olsa da artık gelişen teknoloji ve gökyüzü taramalarıyla sönük yıldızların tayfsal gözlemlerin artması *vsini* öngörülen dönme hızlarının yeni katalogların yıldız sayılarını artırmaktadır. Bu gökyüzü taramalarına GALAH (Galactic Archaeology with HERMES, Buder ve diğ. (2021)), *Gaia* (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics); Brown (2016, 2018, 2021), APOGEE (Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment; Majewski ve diğ. (2017)) ve başka çok sayıda gökyüzü tarama programları bunlara örnek verilebilir.

Literatürdeki en kapsamlı öngörülen dönme hızı (*vsini*) kataloğu Glebocki ve diğ. (2000) ve Glebocki ve diğ. (2005) çalışmalarında verilmiştir. Dolayısıyla tezde başlangıç listesi olarak Glebocki ve diğ. (2005) 'in çalışması kullanılmıştır. Bu yüksek lisans tezinde üretilen katalog, herkes için kullanılabilir olması için tayf türü, çoklu sistem olup-olmadığı, kümeye ya da oymağa ait olup olmadığı gibi bilgileri gözetmeksizin literatürdeki tüm veriler toplanmıştır. Tezde hazırlanan katalog, Glebocki ve diğ. (2005) çalışmasındakine kıyasla yaklaşık 25 kat daha fazla yıldız içermektedir. Bu yönüyle katalog yayınlandığında literatüre önemli katkı sunacaktır.

Dönme hareketi, astrofiziksel nesneleri tanımlarken en önemli parametrelerden biridir. Tüm yıldızlar belirli bir hızda dönmektedir. En büyük kütleli yıldızlar 500 km/sn civarında hızlara sahip olabilmektedir. Güneşimizin dönme hızı yaklaşık 2 km/sn'dir. Bu parametre, galaksiler,

yıldız oluşturan molekül bulutları, yıldızlarda ve yıldız sistemlerinde gezegen oluşumu ve iç yapısını, yıldız kümeleri ve gruplarının oluşum ve evrim sürecini etkilemektedir. Dönmenin ve onun neden olduğu durumların dikkate alınması yıldız evrim modelleri (eş-yaş eğrileri) için çok önemlidir. Yıldız ve yıldız nesnelerinin gerçek dönme hızlarını tespit etmeye çalışırken iki tür problemle karşılaşılmaktadır. Birincisi, eğim açısının (yani bakış çizgisi) bilinmemesidir. Bu durum yıldızın ekvatordaki gerçek dönme hızına göre çok farklı olabilmektedir. En göze çarpan örneklerden biri, küçük eğim açısı (i = 5-7°) olan Vega yıldızının *vsini* değeri 20 km s^{-1} fakat ekvatordaki gerçek dönme hızı 200 km s^{-1}, dir (Bohm ve diğ., 2015). Bu yıldızın öngörülen dönme hızı, gerçek ekvatoral dönme hızına göre 10 kat daha az ölçülmektedir. Dolayısıyla yıldızların ve Genç Yıldızımsı Nesnelerin (GYN) eğim açısını bilmek onların gerçek dönme hızları hakkında bilgi sağlamaktadır ve kaynağın fiziksel özelliklerinin tartışılması için önemlidir. Dolayısıyla, her yıldızın i elde edilemediğinden kaynakların özelliklerine dair açıklamalar, *vsini* değerleri üzerinden yapılmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için dönme kaynaklı yıldız değişkenlikleri (yıldız lekeleri) gözlemlenmektedir (Bohm ve diğ., 2015). Zorec ve Royer (2012) çalışmasında, A tayf türü yıldızların dönme hızlarını çalışabilmek için 2014 yılına kadar olan B6−F2 tayf türü aralığındaki yıldızları toplamışlardır. Ekvatoral dönme hızlarının A tayf türündeki yıldızlarda çift modlu olarak bulmuşlardır. Çalışmada yıldızlar, anakoldaki hayatları boyunca diferansiyel dönen cisimler olarak evrimleşiyor gibi göründüklerini ve gözlemlenen dönme hızlarının değişim ölçeğini anakolda kalma süresinin 0.2 si olarak vermişlerdir. Bu çalışmada tek bir tayf türlerindeki yıldızların ekvatoral dönme hızlarına bakıldığında, yıldız evrimin en stabil olduğu cüce yıldızlar için bile anakol evrimi boyunca da yıldızların dönme davranışları değişmekte olduğu görülmektedir. Genel olarak literatür incelendiğinde araştırmalar, tek tayf türünü dikkate almaktadır.

Yıldızın dönemi/peryodu yarıçapından belirlenebilir ve ekvatoral dönme hızı da buna bağlı olarak bulunabilmektedir (Paunzen, 2021; Savanov ve diğ., 2017). Öte yandan ters evrişim yöntemleri de gerçek dönme hızının bulunması için geliştirilmiştir. Bu durumlarda en olası yoğunluk dağılımını açıklayan çeşitli istatiksel yaklaşımlar esas alınmaktadır. Gerçek *vsini* değerini belirlerken karşılaştığımız diğer problem diferansiyel dönmedir (ekvatorda kutuplara göre daha hızlı dönme hareketi). Farklı küttlelere bağlı olarak araştırmacılar incelemektedir. Güneş türü yıldızlar için Hotto ve Yokoyama (2005) ve yüksek kütleli yıldızlar için Zorec ve Royer (2012), Güneş türü ve diğer düşük kütleli yıldızlar için Ireland

ve diğ. (2022) çalışmaları örnek verilebilir. Daha büyük kütleli yıldızlar da çekirdek katı gövdeye göre daha hızlı dönme hareketi gösterebilmektedir. Her iki özelliğin de yıldızların evrimi üzerinde ciddi bir etkisi vardır (Ireland ve diğ., 2022; Kitchatinov ve diğ., 2019).

Bu kataloğu yapmakta amacımız çok sayıda veriyi diğer *vsini* değerlerini gerektiren çalışmalar için homojen bir şekilde sunmaktır. Farklı yazarlar yayınlarında aynı yıldız için farklı isimler, koordinatlar kullanmıştır. Bu nedenle toplanan cisim bilgilerinin homojen hale getirmek için derin gökyüzü verisine sahip 2MASS verilerinden yararlanılmıştır. Yukarıda anlatıldığı gibi homojen veriyle H-R diyagramındaki *vsini* hızlarının incelenmesi için çok önemlidir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. YILDIZLARIN ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZLARI

Yıldızların dönme hareketi, uzun yıllardır bilinen ve halâ yıldız fiziği açısından güncel olan önemli bir konudur. Örneğin, Galilei ve diğ. (1613) kitabında Güneş lekelerinin ve onların hareketini Güneş'in dönme hareketinden kaynaklandığı şekilde yorumlanmıştır. Bu konudaki diğer çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Çünkü yıldızların dönme hızları hem teorik hem de gözlemsel olarak tüm yıldız ve yıldız sistemlerini (tekil ve çoklu yıldız sistemleri, anakol öncesi kaynaklar (GYN), tüm tayf türleri ve farklı evrim aşamalarındaki yıldızlar) anlamak açısından önemlidir. Yıldız dönmesi ayrıca evrim senaryoları ve farklı yıldız türleri, yaşam süresi ve yıldız popülasyonlarının çalışılması galaksilerin evrimi çalışmalarında da önemli rol oynamaktadır.

Tekil yıldızın eksenel dönüşünün ve ortalama hızın tayf çizgilerinin genişlemesinden bulunabileceğini ilk defa William de Wiveleslie Abney tarafından ifade etmiştir (Tassoul, 2003). Frank Schlesinger ilk kez yıldızın dönmesini gözlemlemiştir, yıldızın eksenel dönme hızı tutulum gösteren δ Lib ve γ Tau değişenlerindeki kenar kararması ölçümleri ile belirlemiştir. Bununla birlikte, tekil yıldızlarda öngörülen ekvatoral hızlarının ölçümlenmesiyle yirmi yıl sonra Abney'nin bu fikri gerçekleşmiştir. Bu gözlemler, Otto Struve ve birlikte çalıştığı araştırmacılarla 1929–1934 yılları arasındaki Yerkes Gözlemevinde yapılmıştır. Shajn ve diğ. (1929) grafiksel olarak bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, bir çizginin farklı doppler genişlemesi için hesaplanan çizgi profilleriyle gözlemlenen çizgi profilinin uyumlamasını kullanarak bakış doğrultusundaki *vsini* hesaplanmasına dayanmaktadır.

Basitçe tanımlamak gerekirse yıldızın dönme hareketi, yıldızın kendi ekseni etrafındaki açısal hareketidir. Dönme hızı yıldızın tayfından ya da yıldızın yüzeyindeki aktif yapıların hareketinden hesaplanabilmektedir. Yıldızın dönmesiyle ortaya çıkan merkezcil ivmeden dolayı kutup bölgelerinde basıklık ve ekvator bölgesinde şişkin bölge oluşmaktadır. Bu nedenle, yıldızın ekvatoru yüksek enlemlere göre farklı açısal hızlarda dönmektedir. Dönme oranlarındaki bu fark, yıldızda manyetik akı üretiminde önemli rol oynamaktadır. Yıldızın

manyetik alanı yıldız rüzgarları ile etkileşmektedir. Yıldız rüzgarlarla kütle attıkça açısal hızı yavaşlamaktadır. Yıldızın manyetik alanı, yıldız dönüşüne bir sürükleme uygulayan rüzgarla etkileşime girmektedir. Sonuç olarak, açısal momentum yıldızdan rüzgar yoluyla aktarılırken zamanla yıldızın dönüş hızını kademeli olarak yavaşlatmaktadır. Bu yüzden yıldızın hızının enleme bağlı olarak hesaplanması gerekmektedir.

Yıldızın öngörülen dönme hızı olan *vsini* değeri, ekvatoral dönme hızının dönme ekseni(v) eğim açısının (i) sinüs bileşeni ile çarpımıdır (Şekil 2.1). Bu değer dönmeden kaynaklanan tayf çizgilerindeki Doppler genişlemesinden belirlenebilmektedir. (Slettebak ve diğ., 1975, 1997). Bir yıldız kutup doğrultusunda gözlemlenmedikçe, yüzeyin bazı bölümleri gözlemciye doğru veya gözlemciden uzağa bir miktar hareket etmektedir. Hareketin gözlemci yönündeki bileşenine radyal hız denilmektedir. Yüzeyin gözlemciye doğru radyal hız bileşeni olan kısmı için ışınım, Doppler kayması nedeniyle daha yüksek bir frekansa kaymaktadır. Aynı şekilde gözlemciden uzaklaşan bir bileşene sahip bölge daha düşük bir frekansa kaymaktadır. Bir yıldızın soğurma çizgileri gözlemlendiğinde, tayfın her iki ucundaki bu kayma çizgisinin genişlemesine neden olmaktadır. Ancak bu genişleme, çizgi genişliğini arttırabilecek diğer etkilerden dikkatlice ayrılmalıdır. Çizgi genişlemesi boyunca gözlemlenen radyal hızın bileşeni, yıldızın kutbunun görüş hattına olan eğimine bağlıdır. Ancak i her zaman bilinmeyebilir, bu nedenle de sonuç yıldızın dönme hızı için minimum değeri vermektedir.

Yıldızların dönme hızları çeşitli tekniklerle ölçülebilmektedir. Bu tekniklere tayfölçüm, fotometri, interferometre, sismoloji dahildir. Bu tez çalışmasında çoğunlukla spektoskopik, fotometrik tekniklerle ölçülmüş *vsini* değerleri olan makalelerden alınan *vsini* verileri toplanmıştır. Tayfsal teknik ile elde edilen *vsini* değerleri diğer tekniklerle elde edilmiş verilere göre en güvenilir ve doğrudan elde edilmiş verilerdir. Yıldızın tayfı ile yıldızın dönme hareketi arasındaki bağlantı çok eski zamanlara dayanmaktadır.

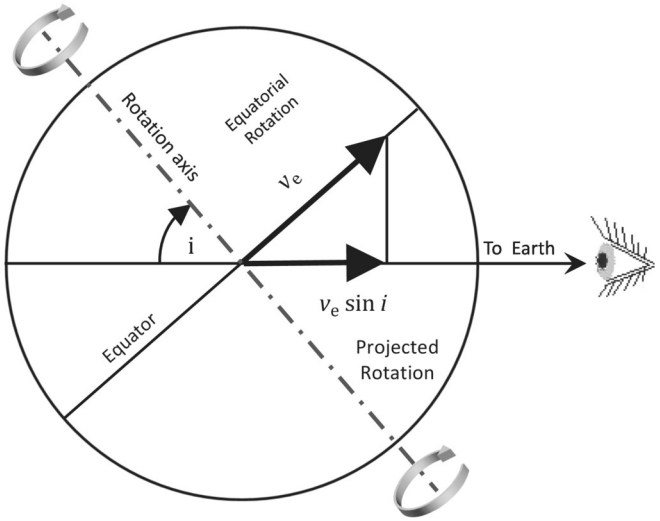
Kaptan Abney 1877 yılında dönme hareketinin yıldız tayfı üzerinde etkisini düşünen ilk kişidir. Dönen yüzeyden gelen ışık tayfçekerin giriş yarığından geçerken, fotosferik çizgi profillerinin Doppler genişlemesinin gerçekleşmesi gerektiğini öne sürmüştür. Çizgisel ekvator hızı Veq olan bir yıldız için, fotosferik çizgilerin tayfsal genişlemesi $\Delta\lambda\, L = (\lambda/c)\ V_{\rm eq}\ sini$'dir. Burada i, görüş hattı ile dönme ekseni arasındaki eğim açısıdır. Kutup üzerinde görülen bir yıldız (i=0) Doppler genişlemesi göstermezken, bakış doğrultusu

ekvator düzleminde olan bir yıldız için doğrudan bir V_{eq} ölçümü elde edilmektedir (i=90°).

Fotometri yıldız dönme hızını ölçmek için kullanılan en eski tekniktir. Bu teknik ile yıldız yüzeyindeki manyetik yapılar gözlemlenmektedir. Galileo Galilei, 17. yüzyılın başlarında, yıldızın dönme haraketi ile yıldız diski boyunca hareket eden güneş lekelerini gözlemleyerek Güneş'in dönme periyodu hakkında bir tahmin sağlayan ilk gözlemciler arasındadır (Casas, 2006). Yıldız lekeleri yıldızın parlaklığını periyodik bir şekilde yer değişmektedir. Sonuç olarak, fotometrik ışık eğrisinin kaydı ve periyodik olarak değişen bir sinyalin tespiti, yıldızın dönme periyodunun doğrudan bir tahminini sağlamaktadır. Bu teknik, tayfölçümü tekniğine göre geometrik etkilerden arınmış ve doğrudan açısal hıza dönüştürülen yıldız dönme hızının bir ölçümünü verme avantajına sahiptir, $\Omega = (2\pi/P_{rot})$. Burada Ω; açısal hız, P_{rot}; dönme periyodudur. Ancak bu teknik, birkaç dönme periyodu boyunca yoğun fotometrik izleme gerektirmesi ve ışık eğrisinin yıldızın dönme periyoduna gerçekten karşılık gelen periyodik bileşenini bulmak için özel sinyal işleme tekniklerinin uygulanmasını gerektirir (Irwin ve diğ., 2009).

Yıldızların dönme hızını belirlemek için başka iki gözlem tekniği daha mevcuttur. Birincisi interferometri tekniğidir. Bu teknik, esasen yakın ve parlak yıldızlar için kullanılmaktadır. Hızla dönmekte olan yıldız kutuplarda basıklaşmaktadır, ekvatoral doğrultuda ise genişlemektedir. Yüzeysel çekim nedeni ile yıldız kutuplarda ekvatora göre daha parlak olmaktadır. Bu çalışmadan yıldızın parlaklık haritasına ulaşılmaktadır. Yıldızın parlaklık haritası ile yıldızın ekvatoral hız ve eğim açısı belirlenmektedir. Bu teknik belirli kriterleri nedeni ile çok az sayıda yıldızlar için uygunabilmektedir. Sözü geçen ikinci teknik ise Sismoloji olmaktadır. Bu teknik ile yıldızın dönme hızı yıldızın periyodik zonklamasından elde edilmektedir. Bu teknik ile yıldızın dönme hızını belirleyebilmek için yıldızın uzun süreli ve sürekli ışık eğrilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek duyulan uzun süreli ve sürekli ışık eğrilerine Kepler verilerinden elde edilmiş binlerce yıldız verisine ulaşılmaktadır. Bu teknik ile yıldızın dönme hızı, diferansiyel dönme hızı ve i eğim açısı ölçülebilmektedir.

Tek yıldızların öngörülen eksenel dönme hızları, doğrudan tayf çizgi genişlemelerinden ölçülebilmektedir. Bu nedenle de dönme hızı yıldız astrofiziğinin istatiksel çalışmalarında önemli gözlemlenebilir özelliktir. *vsini*'yi ölçmek için birkaç metod geliştirilmiştir, fakat farklı yazarlar ve yöntemler arasındaki farklılıklar her zaman sorun olmuştur. *vsini* için ilk



Şekil 2.1: Öngörülen dönme hızının (yüzey) gösterimi (Trypsteen and Walker, 2003).

kullanışlı model Carroll (1928, 1933); Carroll ve Ingram (1933) tarafından oluşturulmuştur. Fakat Shajn ve diğ. (1929) dönen yıldızın klasik model (CMRS) olarak adlandırılan *vsini* belirleme yöntemlerinden biri çapraz korelasyon maksimumunun Fourier dönüşümüdür. Bu metodu kullanarak karışık çizgili tayflarda bile *vsini* öngörülen dönme hızını yüksek hassasiyetle ölçebilmektedir (Diaz ve diğ., 2011).

Yıldızın anlık dönme hızı ve rotasyon geçmişi çeşitli süreçlerde merkezi rol oynamaktadır. Örneğin dinamo kaynaklı manyetik aktivite, kütle akışları, galaktik zenginlik, yüzeyin kimyasal bollukları, iç akışlar ve genel yapıyı, gezegen oluşumu ve genel göç sürecini aynı zamanda etkileyebilmektedir. Bu nedenle yıldızın açısal momentumunun kökenini ve evrimini anlamak birinci derecede önemlidir. Tersine, yıldız dönme hızının evrimi, yıldızlarda yıldız içi ve yıldız ile yakın çevresi arasındaki ortamda işleyen temel süreçler tarafından yönetilmektedir. Yıldızın dönme hızı yıldızın metal bolluğunu etkilemektedir ve yıldızın metal bolluğu da tersine yıldızın dönme hareketini etkilemektedir. Çeşitli evrim aşamalarında ve geniş bir kütle aralığındaki yıldızların dönme hızlarının ölçümü bu süreçleri araştırmak için güçlü bir araç sağlamaktadır. Yıldızların dönme özelliklerine genel bir bakıldığında açısal momentum evrim modelleri hakkında bilgi sahibi olunur. Yıldız dönüşünü ölçmek için kullanılan çeşitli teknikler açıklanmaktadır. Dönme hareketi hem güneş benzeri ve düşük kütleli yıldızlarda hem de büyük kütleli yıldızlarda araştırılmıştır. Açısal momentum evrim modelleri geliştirilmiştir. Aynı zamanda orta kütleli ve büyük kütleli yıldızların dönme özellikleri de araştırılmıştır. Eğer *vsini* çizgi genişleme profilinden, P_{rot} rotasyon geçişlerinden bilinirse, tahmini R_* ile dönme eksenin eğimi bağıntısı bu

şekildedir: $P_{rot}/sini = 2\pi\ R_*/vsini$

2.2. ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZ KATALOGLARI

1922 yılında J. Hellerich çok sayıda Algol türü değişen yıldızın tutulma dönemindeki dönme hızları ölçümlerine ait önemli yayın yapmıştır. Astronomi'de mevcut ilk vsini kataloğu 1982 yılında yayınlanmış (Uesugi ve diğ., 1982) kataloğudur. Bu, yıldızların öngörülen dönme hızı kataloğudur. 6,472 yıldız kaynağı için öngörülen *vsini* dönme hızı verisi sunmaktadır. Yıldızların öngörülen dönme hızına ait daha eski katalog (Bernacca, 1970-1973) kataoluğu 1973 yılında yayınlanmış ve 3099 yıldız kaynağına ait veri içermektedir. Daha sonrasında (Glebocki ve diğ., 2000) ve (Glebocki ve diğ., 2005) 2000 ve 2005 yılında vsini değerlerini içeren yeni kataloglar yayınlamıştır. (Glebocki ve diğ., 2000) katalogda 17,490 yıldız kaynağına ait veri tablolanmıştır.(Glebocki ve diğ., 2005) kataloğunda ise 39,000 yıldız kaynağına ait veri yayınlanmıştır.

Yıldızların dönme hızının *vsini* varlığını çok eskiden beri bilmekteyiz. Yıldızların dönme hızı çalışmaları 17. yüzyılda mercekli teleskoplarla Güneş lekelerinin gözlemiyle başlamaktadır. Dönme, yıldızları tanımlamada kullanılan en önemli özelliklerdendir. Yıldızlarda dönme, manyetizma, aktivite ve kimyasal elementlerin karışımı için itici bir parametredir. Farklı evrim aşamasındaki yıldızların dönme hızlarının öğrenilmesi yıldızların farklı aşamalarındaki evrimleri hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Örneğin, (Weise ve diğ., 2010) 'Rotational velocity of nearby young stars' makalesinde genç yıldızların dönme hızlarının ölçümleri yıldız oluşum sürecinin başlangıç koşullarına ek bakış sağlayabilmektedir. Dahası yıldızın dönme hızının evrimi yıldızın toplanma diskinin evrimleşmesi ile ilişkilidir. Yıldızın dönmesini bilmemiz yıldızın iç yapısını, evrimini, gelişimini, etrafı ve çoklu yıldız sistemlerinde eş yıldızını modellerken esas alınmaktadır. Teori ve gözlemler yıldızın dönmesinin yıldızın oluşumu ve evriminde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bu çalışmadaki *vsini* değerleri ilerde bir çok araştırmacı için erişilebilir çok önemli kaynak olacaktır. Kataloglanmış vsini değerleri yıldızların sınıflandırılması, tayf türlerine göre vsini hızlarının istatistiğinin bulunması, bu değerlerin yıldızların fiziksel değişimlerine etkisi ve oranının araştırılmasında önemli olacaktır.

2.3. FOTOMETRİK VERİLER

Fotometrik teknikler ile yıldızlar hakkında parlaklık, uzaklık ve diğer temel parametrelere ulaşılabilmektedir. Fotometrik ölçümlerle bir yıldızın uzaklığı bulunabilirse parlaklığı, parlaklığı bulunabilirse uzaklığı bulunabilmektedir. Aynı zamanda fotometri ışık değişimi gösteren değişen yıldız, çift yıldızlar ve diğer nesnelerin incelenmesinde kullanılan bir tekniktir. Bilim insanları bu teknik ile yıldızın ışık değişimi analiziyle örneğin bir tutulma sırasında çoklu yıldız sistemlerinde bileşenin yörünge periyodunu ve yarıçapını belirleyebilmektedir. Yıldızın periyodu ve yarıçap belirlendikten sonra yıldızın dönme hızına kolaylıkla ulaşılabilmektedir. Bu tekniğin dezavantajı her türden yıldız için uygun olmamasıdır. Fakat tayfölçümü elde edilemeyen uygun yıldızlar için fotometrik tekniğe başvurulmaktadır.

2.4. *GAIA* VERİLERİ

Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) bilim projesidir, bu proje için yapılan özel uzay aracı 2013 yılında fırlatılmıştır. Proje aracılığı ile Galaksimiz ve ötesindeki milyonlarca yıldızlar için astrometri, fotometri, tayfsal verileri sağlayarak yıldızların hareketlerini, parlaklıklarını, sıcaklıklarını haritalandırarak üç boyutlu görüntülenmesini oluşturmaktadır. Milyonlarca yıldız için yapılan bu çalışma Galaksimizin kökeni, kinematik, dinamik ve kimyasal yapısı ve evrimsel tarihi için gereken verileri sağlamaktadır. Belirli aralıklarla *Gaia* verileri yayınlanmıştır. En son 13 Haziran 2022'de Gaia DR3 veri sürümü yayınlanmıştır. Bu veri sürümleri ile literatüre çok sayıda makale kazandırılmaktadır (Gaia İşbirliği, 2016, 2022). Aynı zamanda *Gaia* verileri, yıldız evrimi ve iç yapısı, yıldız oluşumu ve evrimi, çok bileşenli yıldızlar, değişen yıldızlar, astroitler, galaksiler ve kuazarlar ile çeşitli astrofizik konularının araştırılmasında büyük rol oynamaktadır. *Gaia* projesi ile 100'den fazla CCD dedektörü, 5 yıllık bir araştırma sürecinde *G* filtresi ile yaklaşık 21 kadir'e kadar nesneleri gözlemlemektedir. *Gaia* DR3 veri sürümü astrometrik (koordinatlar, öz hareket bileşenleri, ıraksınım ve bu parametrelerin hataları), fotometrik (*BP*, *RP*, *G* filtrelerinde), düşük çözürnürlükteki tayfsal verileri (radyal hız, sıcaklık, çekim ivmesi, [M/H] metal bollukları, tayf türleri,...) sağlamaktadır. *Gaia* DR3 veri sürümü toplamda 1,811,709,771 kaynak içermektedir. .

2.5. 2MASS VERİLERİ

1997 ve 2001 Şubat ayına kadar yapılan gözlemlerle Two Micron All Sky Survey (2MASS) (Skrutskie ve diğ., 2006) yakın kızılötesindeki J,H ve K_s bantlarında gök küresinin yüzde 99'unu içeren 25.4 Tbayt veri toplanmıştır. Çalışma sırasında Mount Hopkins, Arizona ve Cerro Tololo, Şili'de bulunmak üzere 2 adet 1.3 m yarıçaplı iki teleskop kullanılmıştır. 2MASS gökyüzü taraması tüm gökyüzünü kaplayacak şekilde sıkıştırılmış 4.1 FITS görüntüsü, Point Source Catalog (Nokta Kaynak Kataloğu)'da 471 milyon nokta kaynak ve genişletilmiş kaynak kataloğunda (Extended Source Catalog) ise 1.6 milyon nesne tespit edilmiştir. Katalogdaki cisimler 2MASS veya 2MASSX başlığı altında tanımlanmıştır. Yıldızların ortalama dönme hızları kataloğunu hazırlarken topladığımız veriyi homojen bir kimlikle ifade edebilmek ve derin bir gökyüzü taraması olduğu için katalogdaki tüm kaynakları 2MASS verisi ile eşleştirme yapılmıştır.

2.6. TAYF VERİSİNİN ÖNEMİ

Yıldızın öngörülen dönme hızı gözlemsel verilerden yani yıldızın tayfından ölçülebilmektedir. Bu nedenle tayf verisi yapılan çalışmalarda güvenilir başvurulacak veridir. Yıldızların dönme hızı, kabaca yıldızın tayfındaki çizgi genişlemesinden hesaplanmaktadır. Dönme hızlarının dağılımı, tayf türü ve parlaklığın fonksiyonu olarak yıldızın açısal momentum modelinin geçmişi hakkında bilgi vermektedir. Çok sayıda yıldız için dönme hızları tayf çizgilerinin Doppler genişlemesinden elde edilmiştir. Dönme kaynaklı çizgi genişlemesi analizlerinde en sık kullanılan metodlar aşağıdakilerdir: Çapraz korelasyon tekniği (C-C), Yarı Maksimumda Tam Genişlik (FWHM), Evrim ve Çizgi profilinin Fourier dönüşümü (FTS). Sonuçlar, *vsini* fonksiyonunun çizgi genişlemesinin kabul edilen şablon ve standartlara kritik olarak bağlıdır.

Yıldızın dönme hızını hesaplamak için bir tayf çizgisini seçerken bir kaç faktörü göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Çizgi genişlemesinin dönme kaynaklı olmasına dikkat edilmesi gerekir. Basınçtan dolayı geniş Balmer çizgisi ve güçlü çizgi genişlemelerini dikkate almaktan kaçınılmalıdır. Zayıf tayfsal çizgi verilerinden de kaçınılmalıdır. Çizgiler karışmamış olmalıdır. Çizgi tayfsal bölgenin öyle bir alanında yer almalıdır ki, süreklilik seviyesinin kesin/keskin belirlenebilmesine izin verebilmelidir. Bu şekilde çizgi genişlemesi ölçümlerinde sistematik hatalardan kaçınılabilmektedir. Yıldızın dönme hızını hesaplarken

yüksek çözünürlüklü tayfsal verilere başvurmak daha sağlıklı olmaktadır. Yıldız yüzeyinin kimyasal içeriği, etken sıcaklığı, yer çekimi gibi özelliklerinin yanı sıra yıldızın dönme hızı da yıldız evrim modellerini değerlendirmek için önemli gözlemsel bir parametredir. Özellikle büyük kütleli yıldızlar için çok önemli gözlemsel tanıdır. Yıldız evrim modelleri ile uyumluluğu test etmek için temeldir. Yüksek çözünürlüklü tayfölçümünün gelişimi otuz yıldan fazla bir süre önce başladığından beri, dönmenin dev yıldızlarda işleyen tek çizgi genişletme mekanizması olmadığı bilinmektedir. O tipi yıldızlarda ve BA tipi superdev yıldızlarda Makrotürbülans kaynaklı çizgi genişleme ve titreşimli çizgi genişlemesi bunlara örnektir. Ayrıca, yıldızların dönme etkileri gözlemsel imzaları veya işaretleri, önce tayf ve şimdi de interferometrik gözlemlerden, kimyasal bolluk belirlemelerinden, heliosismoloji ve asterosismolojiden, vb. çok sayıda kaynaktan tayin edilmektedir.

2.7. H-R DİYAGRAMI ÜZERİNDEKİ DÖNME HIZI PARAMETRESİ

Hertzsprung-Russell diagramı (H-R diyagramı) yıldız evrimi ve iç yapısını anlamak için önemli bir vasıtadır (Nielsen, 1964). Öngörülen dönme hızı özellikle yıldızın açısal momentumun evrimi hakkında bilgi içermektedir (Nofi ve diğ., 2021). Yıldızın dönme hızı sadece H-R diyagramı üzerinde farklı evrim aşamasındaki yıldızları değil aynı zamanda yıldız oluşum bölgelerindeki anakol öncesi yıldızların da evrimleşmesinin araştırılması için de önemli bir parametredir. Tayfsal gözlemlerle yıldızın dönme hızı ve diğer parametrelerine ulaşarak yıldızların H-R diyagramında kesin yeri belirlenebilmektedir. Dönme hızı, yıldızın iç yapısını değiştirerek dış katmanlarını da etkilemektedir. Yıldızın diğer temel parametreleri gibi dönme hızı parametresi de yıldızın evrimini etkileyerek yıldızın üst katmanındaki metal bolluğunu da değiştirmektedir (Cortes ve diğ., 2015). CoRoT ve Kepler uzay görevleri ile binlerce yıldızın dönme periyotlarına ulaşılmıştır. Bu görevlerden elde edilen tayfsal veri ve dönme dönemlerinden yıldızların dönme hızına ulaşılabilmektedir. Bu veriler sayesinde büyük kütleli, Güneş benzeri ve küçük kütleli yıldızların farklı evrim aşamalarındaki açısal momentum evrimi araştırılmaktadır. Dönme hızı ile alakalı fiziksel ve kimyasal parametreler de elde edilmektedir. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin elde edilmesiyle yıldızların evrim modelleri hakkında bilgi edinilmektedir. Literatürde araştırmacılar genelde belli bir tayf ve ışıma gücündeki yıldızların H-R diyagramı üzerindeki davranışlarını incelemektedir. Bu çalışmalara örnek olarak Nofi ve diğ. (2021), Zorec ve Royer (2012), Ivanyuk ve diğ. (2017) verilebilir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, yıldızların ortalama öngörülen dönme hızlarının ($vsini_{ort}$) H-R diyagramı üzerindeki davranışını incelemeyi amaçladık. Bu nedenle, ilk önce güncel katalog oluşturulmuş ve cisimlerin literatürde verilen her bir referansından gelen *vsini* değerlerinden ortalaması alınmıştır.

3.1. VERİLERİN TOPLANMASI

Tezde yıldızların veri sorgulamaları için Vizier[1] veri tabanından *vsini* anahtar kelimesi ile kataloglar ve daha önceden yayınlanmış çalışmalar araştırılmıştır. Sorgulamada bazı çalışmalar eksik çıkmasından dolayı SAO/NASA Astrofizik Veri Sistemi (Astrophysics Data System, ADS) kullanılarak eksik referanslar kontrol edilmiştir. Vizier'de yapılan taramada Glebocki ve diğ. (2000) ve bu çalışmanın güncellenmiş hali Glebocki ve diğ. (2005) olan çalışmadaki yıldızlar başlangıç kataloğu olarak dikkate alınmıştır. Glebocki ve diğ. (2000) ve Glebocki ve diğ. (2005) kataloglarında eksik olan makalelerden de *vsini* değerleri toplanmıştır.

Tezdeki katalog verilerinde Glebocki ve diğ. (2005) kataloğu başlangıç olarak kabul edilmiştir. Buna ilaveten 2005 yılından 2021 yılı dahil literatürdeki yıldızların katalogları toplanılmıştır. Katalog oluşturulurken yıldızın tayf türü, alan yıldızı, yıldız kümesinin üyesi olması gibi özelliklere bakmaksızın yıldızların öngörülen dönme hızları listeye eklenmiştir. Ayrıca tarama sırasında başlangıç kataloğunda yer almayan *vsini* değerleri katalog çalışmasına eklenmiştir. Bu katalog çok sayıda kaynak içerdiğinden kataloğun bir kısmı Tablo 3.1'de verilmiştir.

Katalogtaki yıldızları ortak bir temelde tanımlamak için 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006) verisiyle eşleştirilme yapılmıştır. Nedeni, katalog oluşturulurken koordinatları verilmeyen (örneğin bir kümeye ait olan yıldızlar küme ismi ve numaralandırma ile verilmiştir) cisimlere rastlanmıştır. Bazen listelenmiş koordinat verileri tam olarak o cismi gözyüzünde

[1] http://vizier.cds.unistra.fr/

Tablo 3.1: Bir yıldız için farklı referanslardan gelen *vsini* gösterimi.

Yıldız ismi	*vsini* değeri	*vsini* Hatası	Referans Numarası
HD 224083	152	10	31
HD 224083	161	32	27
HD 152147	110	-99	0
BD+10 3573	165	-99	0
BD+10 3573	155	8	0
BD+10 3573	170	4	27
HIP 18705	25	-99	11
HIP 18705	15.6	11	36
HD 35165	240	5.0	108
HD 35165	350	42	141
HD 23872	235	-99	0
HD 23872	240	-99	41
AA TAU	11.40	-99	0
AA TAU	15.70	2.00	0
AA TAU	11	-99	0
AA TAU	12.8	1.1	35

vsini sütununda -99 olanlar literatürdeki hatası verilmemiş olduğunu, son sütunda 0 olanlar ise Glebocki ve diğ. (2005) kataloğundan alınmış veriler olduğunu göstermektedir.

tanımlamamaktadır ve herhangi bir cisimle ilişkilendirilememiştir. Nedenleri aynı yıldız için farklı çalışmaların olması, yıldızların koordinatlarının birbirinden çok farklı olması ve adlarını farklı şekilde verilmiş olmasıdır. Veri tabanlarından bunlar kontrol edilse de bazıları için sorun tam olarak çözülememiştir. Diğer karşılaşılan bir sorun ise görünürdeki çift ve çoklu sistemlerle ilgilidir. Literatürde hangi bileşen için ölçümün yapıldığı açıkça belirtilmemiştir.

Ayrıca tezde 2MASS ile yıldızların eşleşmesi yapıldıktan sonra *Gaia* DR3 verileriyle de karşılaştırılma yapılmıştır. Bu yıldızların H-R diyagramındaki konumlarını incelemek amacıyla *Gaia* kimlik numaraları, ekvatoral ve galaktik koordinatları, *Gaia* parlaklık (G), rengi $(BP - RP)$, ıraksınım, toplam sönükleştirme parametresi, tayf türü, *vsini*, bu parametrelerinin hataları ve diğer astrofiziksel parametreler alınmıştır. Ayrıca *Gaia* DR2'den üretilen Bailer-Jones ve diğ. (2021) tarafından verilen uzaklıklar da karşılaştırmak için listemizdeki yıldızlarla eşleştirme yapılmıştır.

3.2. ORTALAMA ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZ HESABI

Kataloğa alınan *vsini* değerleri yıldız için bir tane referanstan alınmışsa bu değer ortalama öngörülen dönme hızı olarak alınmıştır. Bir yıldızın birden fazla *vsini* değeri olduğunda ortalama *vsini* değerlerinin hesaplamak için "varyans ağırlıklı aritmetik ortalama" yöntemi

kullanılmıştır. Ortalama öngörülen dönme hızı ($vsini_{ort}$) hesabı ağırlıklı aritmetik ortalama için ağırlıklar (w_i) aşağıdaki gibi varyans değerleri olarak verilmektedir:

$$w_j = \frac{1}{(vsini_h)_j^2} \tag{3.1}$$

Burada $vsini_h$ öngörülen dönme hızının hatasıdır. Ağırlıklar için yukarıdaki eşitlik kabul edilirse "varyans ağırlıklı aritmetik ortalama" şu şekilde ifade edilir:

$$vsini_{ort} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \frac{vsini_j}{(vsini_h)^2}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{1}{(vsini_h)^2}} = \frac{\sum_{j=1}^{n} vsini_j w_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j} \tag{3.2}$$

Bir yıldızın *vsini* leri için ağırlıklı ortalama hatası,

$$(vsini_{ort})_h = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^{n} \frac{1}{(vsini_h)^2}}} \tag{3.3}$$

olarak hesaplanmaktadır. Hatanın hiç belirlenemediği durumlarda, hata olarak *vsini* değerinin yüzde onu kabul edilmiştir.

Yukarıdaki 3.2 ve 3.3 eşitlikleri kullanılarak yıldızların ağırlıklı ortalama *vsini* değerleri ve hataları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, her yıldız için literatürde verilen *vsini* değerlerinin standart hatalarından ortalama standart sapma hesabı yapılmıştır.

3.3. SÖNÜKLEŞTİRMEDEN ARINDIRMA VE MUTLAK PARLAKLIK HESABI

Katalogdaki kaynakların H-R diyagramını çizebilmek için hem astrometrik hem de fotometrik veriye ihtiyaç vardır. Fotometrik ve astrometrik veriyi *Gaia* DR3 sürümünden sağlanmıştır. Katalogdaki kaynakların mutlak parlaklıkları aşağıdaki uzaklık modülünden hesaplanmıştır. Burada d, kaynağın Güneş'ten itibaren uzaklığını; M_G, kaynağın mutlak parlaklığını; A_G, toplam sönükleştirmeyi; G, görünen parlaklığı göstermektedir. d uzaklığını

bulmak için $d = 1000/$ Iraksınım kullanılmıştır (Iraksınım mili yay saniyesi verildiği için). Gerçek $(BP-RP)_0$ rengini, *Gaia* veri tabanında verilen $E(BP-RP)$ renk artığı ile $(BP-RP)_0 = (BP-RP) - E(BP-RP)$ den heaplanmıştır.

$$G - M_G = 5logd - 5 + A_G \tag{3.4}$$

4. BULGULAR

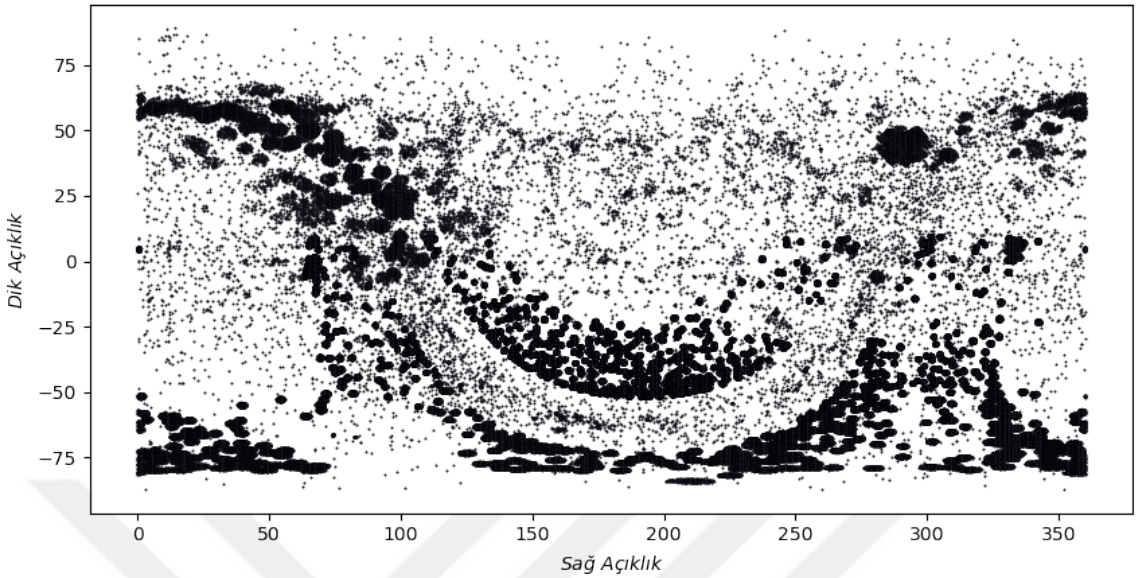
4.1. TOPLANAN VERİLER VE HESAPLANAN ORTALAMA DÖNME HIZILARI

Tezde Bölüm 3'de bahsedildiği gibi veri tabanları kullanılarak literatürden toplamda 410,723 tane yıldızın öngörülen dönme hız (*vsini*) değerleri, hataları yıldızların çalışmalarda verilen isimleri ve referans bilgileri toplanmıştır. Tezde, Bölüm 3'te açıklandığı gibi kaynakların bazıları elenmiştir. Sonuç olarak, bu veri sorgulamasında toplamda 147 yayından ortalama *vsini* değerleri ve hataları hesaplanmıştır. 299,941 tane yıldız verisi listelenmiştir. Bu listenin örneği listenin uzun olması nedeniyle Tablo 4.1'de bir kısmı örnek olarak verilmiştir. Bu tabloda yıldızların 2MASS isimleri, tezde hesaplanan ortalama öngörülen dönme hız değerleri ve bu hızların ortalama standart sapmaları ve bir yıldızın ortalama hız hesabında kullanılan toplam referans sayısı verilmiştir. Kataloğun tamamı, katalog makalesinin kabülünden sonra Vizier'de elektronik olarak yayınlanması planlanmaktadır.

Tablo 4.1: Hesaplanan ortalama *vsini* kataloğu.

2MASS ismi	$vsini_{ort}$ değeri	$vsini_{ort}$ Hatası	Toplam Referans sayısı
J00000011+0522500	5.8	1.1	1
J00000286+5534244	136.9	9.6	2
J00000410+3411189	3.0	-99	1
J00000023-5709445	8.3	1.0	1
J00000024-5742487	5.9	1.0	1
J00000025-7541166	7.3	0.9	1
J00000038-7756270	4.2	1.0	1
J00000040-5114382	4.8	0.9	1
J00000081+6343501	74.3	1.4	1
J00001057+5700429	309.7	3.1	3
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
J11015046+5622566	44.6	2.4	11
J11015191-3442170	8.0	4.0	6
J11015192-4743366	6.6	1.0	1
J11023782-3511079	5.8	0.9	1
J11023783-4428037	9.8	1.1	1
J11023803-4830449	7.6	1.1	1
J11023808-4810444	7.5	1.2	1
J11023810-2930396	10.2	0.8	1
J11023816-4410182	10.2	1.1	1
J11023832+2158017	3.1	1.3	8

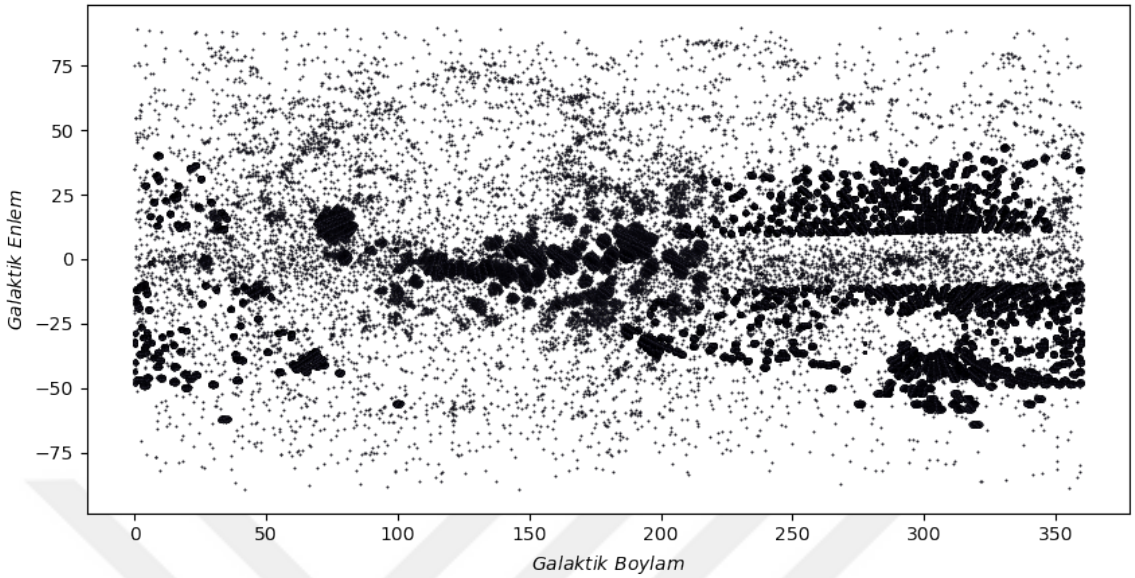
Tezde listelenen yıldızların ekvatoral ve galaktik koordinatlardaki dağılımları sırasıyla Şekil



Şekil 4.1: Literatürden toplanan yıldızların 2000 epoklu ekvatoral koordinatlardaki dağılımları.

4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde Galaktik her doğrultuda yıldızların olduğu anlaşılmaktadır. İki şekil üzerinde koyu görülen bölgelerin olmasının nedeni GALAH gökyüzü tarama programından gelen verilerdir.

Tezde $vsini_{ort}$ değerleri hesabında yıldızların *vsini* değerlerinin kaç referanstan geldiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekildeki frekans değerleri logaritmik olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde *vsini* değerlerinin yaklaşık %95'i tek referanslıdır. 6,424 tane yıldızın verisi iki referanstan, 2,755 tane verinin hız değeri üç referanstan ve bir yıldızın verisi 44 tane referanstan gelmektedir. Katalogdaki yıldızıların tezde "Malzeme ve Yöntem" kısmında anlatıldığı gibi hesaplanan ortalama *vsini* değerlerinin dağılımı Şekil 4.4'te verilmiştir. Küçük $vsini_{ort}$ hız değerlerinin frekans sayıları büyük ortalama öngörülen dönme hızlarına göre daha büyüktür. Küçük hızlardan büyük dönme hızlarına doğru yıldız sayısı azalmaktadır. $vsini_{ort}$ değeri 500 km s^{-1} den büyük kaynaklar incelendiğinde beş tane yıldızdan üçü "Be yıldızı", ikisi ise "Genç Yıldız Nesnesi (Young Stellar Object; YSO)" olduğu görülmüştür. En yüksek ortalama öngörülen dönme hızı 549.4 km s^{-1} olan 2MASS J03443419+3209462 isimli yıldız Genç Yıldız Nesnesidir. En düşük ortalama öngörülen dönme hızı ise 7.5 km s^{-1} dir. Katalogdaki yıldızların $vsini_{ort}$ değerlerinin ortalaması 20.5, standart sapması 43.8 ve medyan değeri 7.2 dir. Tezde $vsini_{ort}$ değerlerinin referans



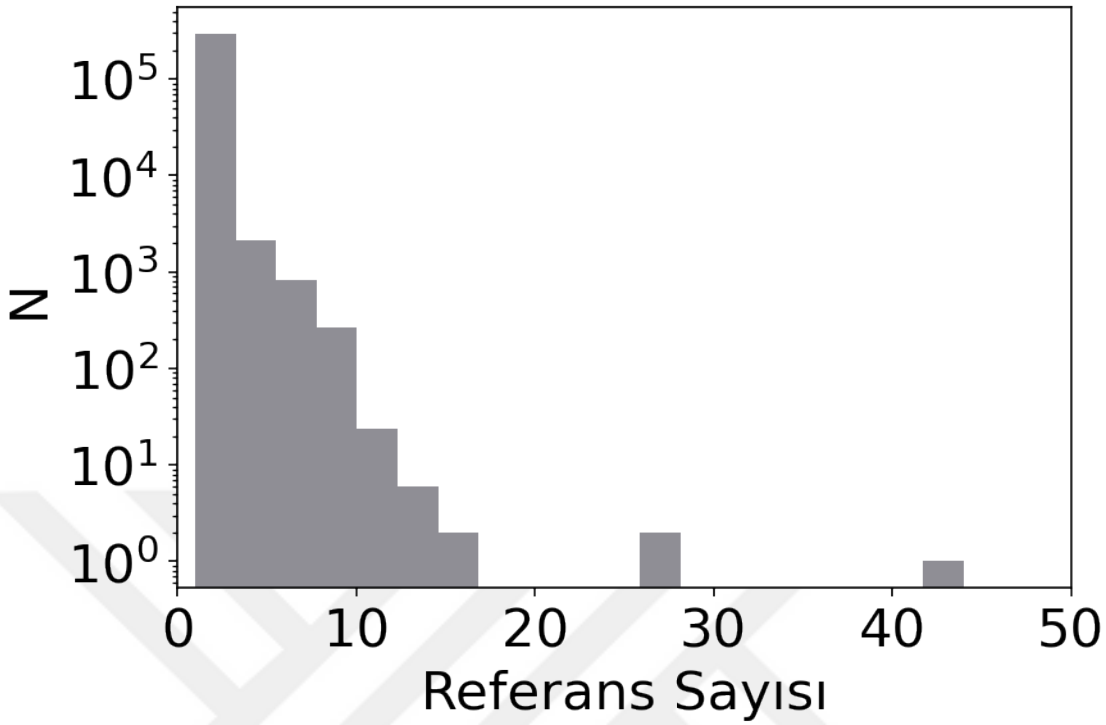
Şekil 4.2: Literatürden toplanan yıldızların galaktik koordinatlardaki dağılımları.

sayılarına göre dağılımı Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 300 km s^{-1} den küçük hızlar için referans dağılımları benzerken 300 km s^{-1} den büyük hızlarda artan hız değerleriyle toplam referans sayısı azalmaktadır. Tezde Şekil 4.6'te hesaplanan ortalama öngörülen dönme hızlarının hatalarına göre dağılımı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm hızlarda hatalar benzer dağılıma sahiptir.

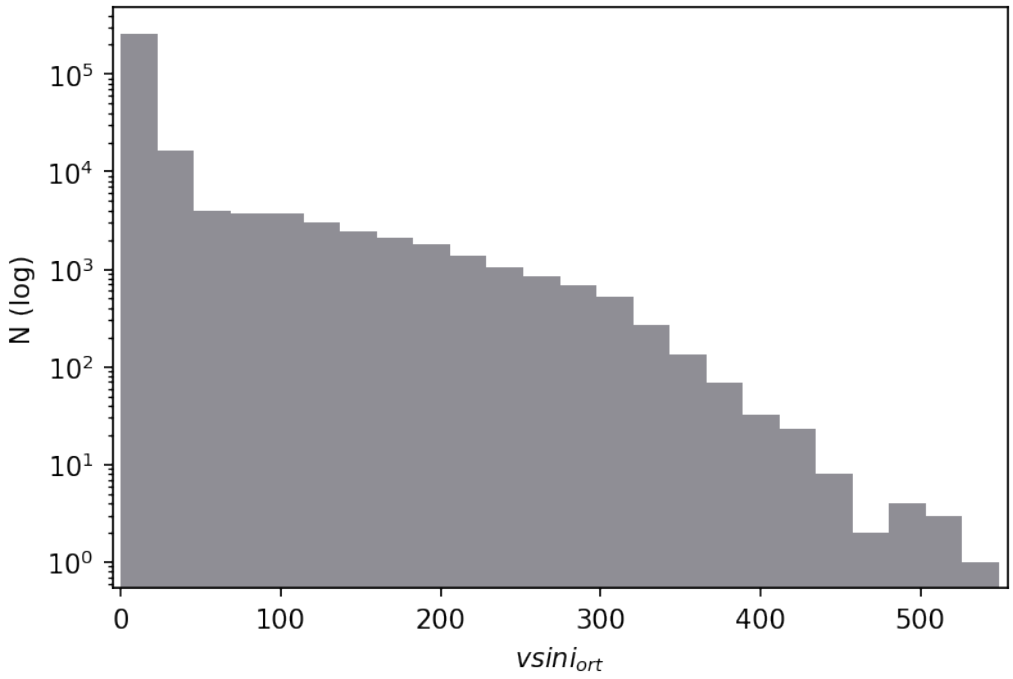
4.2. *GAIA* ÖNGÖRÜLEN DÖNME HIZILARI

Tez çalışmasında listelenen 2MASS kimlik bilgileri bilinen yıldızlar *Gaia* verileriyle eşleştirilmiştir. Bunlardan hepsinin *Gaia* kimlik numarası olmasına rağmen 3 tanesinin G parlaklığı, 116 tanesinin BP ve RP parlaklıkları, 280,700 tanesinin *vsini*, 136 tanesinin ıraksınım değerleri, 89,933 tanesinin T_{eff}, $logg$, $[Fe/H]$ verisi mevcut değildir. *Gaia* kataloğundan 19,241 yıldızın *vsini* değerlerine ulaşılmıştır. Bu verilerden çizilen öngörülen dönme hızlarının histogramı Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde *vsini* hızlarının ortalaması 108.7 km s^{-1}, standart sapması 73.8, hızlar 7.5 ile 590.9 km s^{-1} aralığındadır.

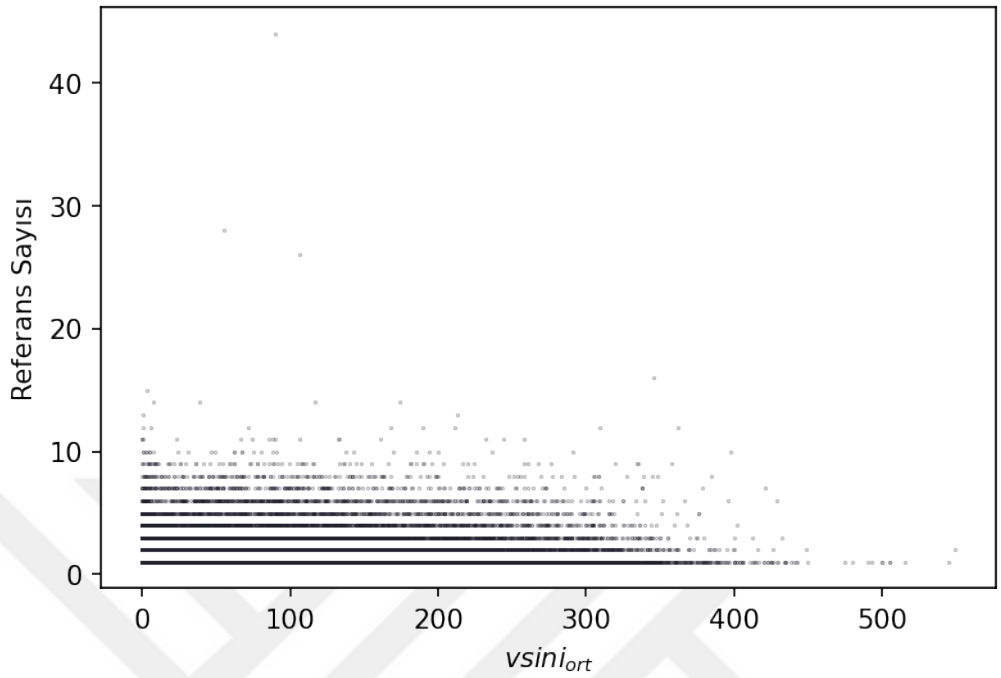
Tezde *Gaia*'dan alınan *vsini* değerlerinin hatalarına göre dağılımı Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekil 4.9'da ise *Gaia vsini* lerine karşılık rölatif *vsini* hataları çizilmiştir. Şekil incelendiğinde rölatif hız hataları düşük hızlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 4.10'da ise



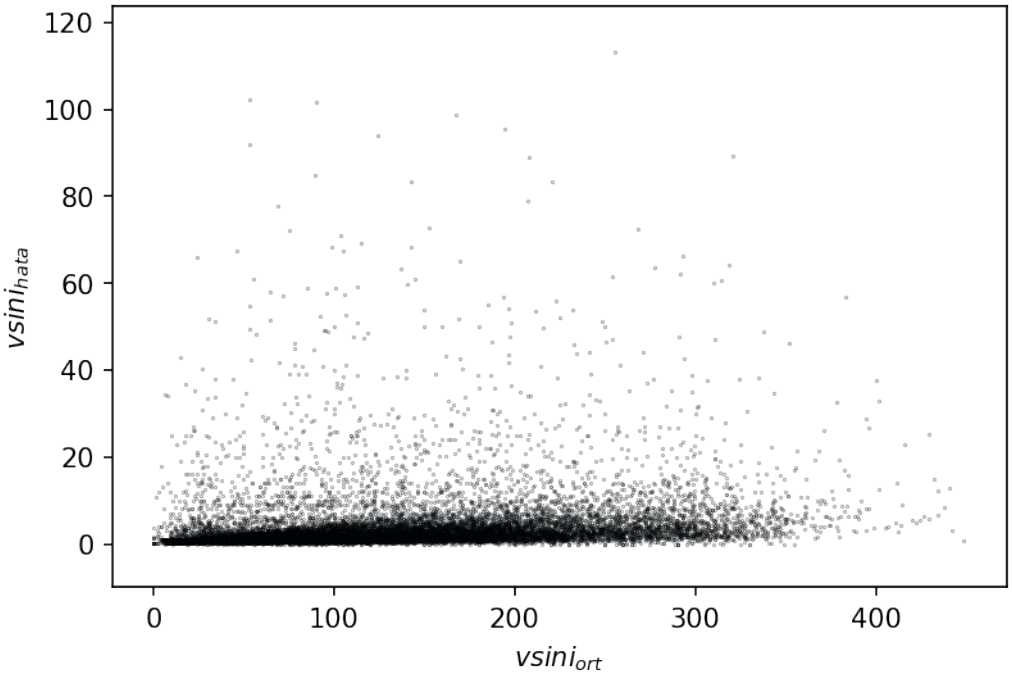
Şekil 4.3: Her bir yıldızın ortalama hız hesaplanırken referans sayılarının histogramı.



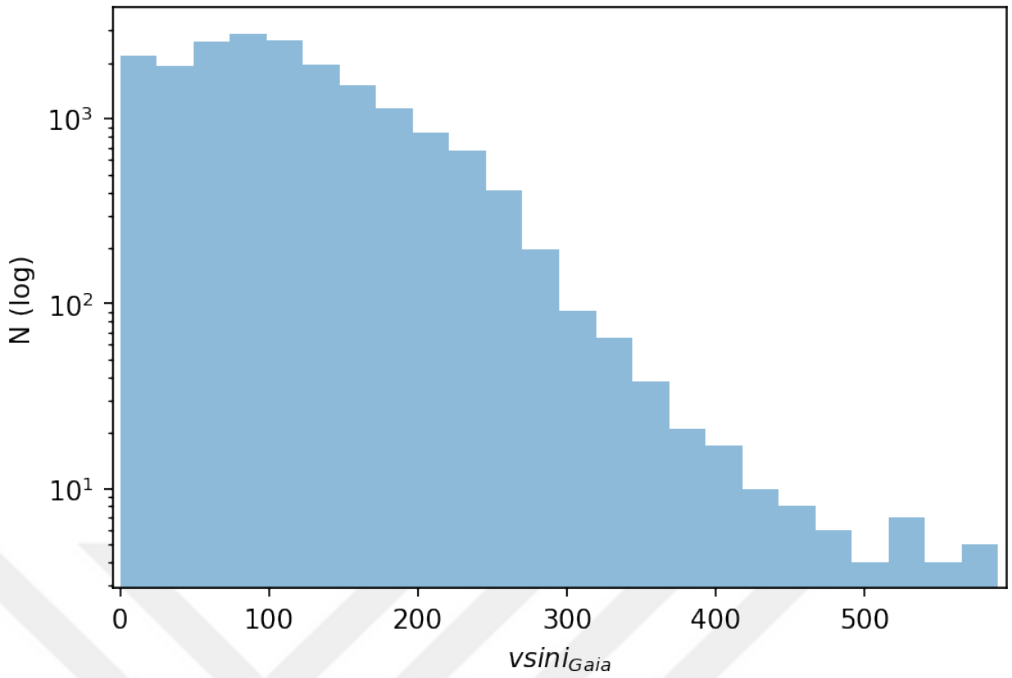
Şekil 4.4: Literatürden toplanan yıldızların ortalama *vsini* hızlarının histogramı.



Şekil 4.5: Ortalama dönme hızlarının toplam referans sayılarına göre dağılımı.



Şekil 4.6: Ortalama dönme hız parametresinin hatalarına göre dağılımı.

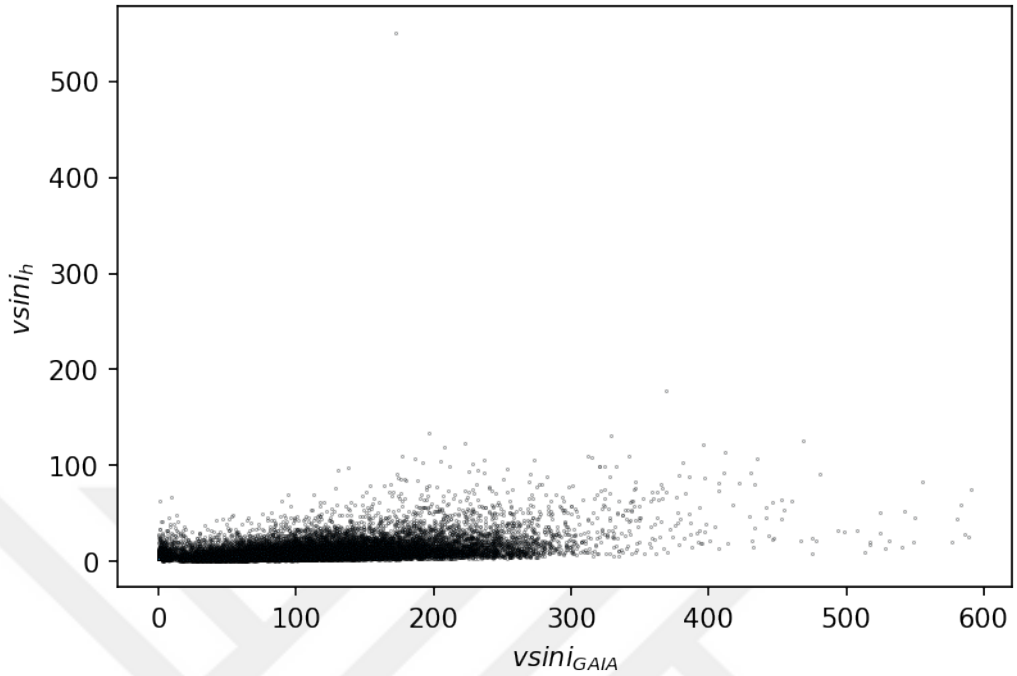


Şekil 4.7: *Gaia* verisinden alınan *vsini* hız histogramı.

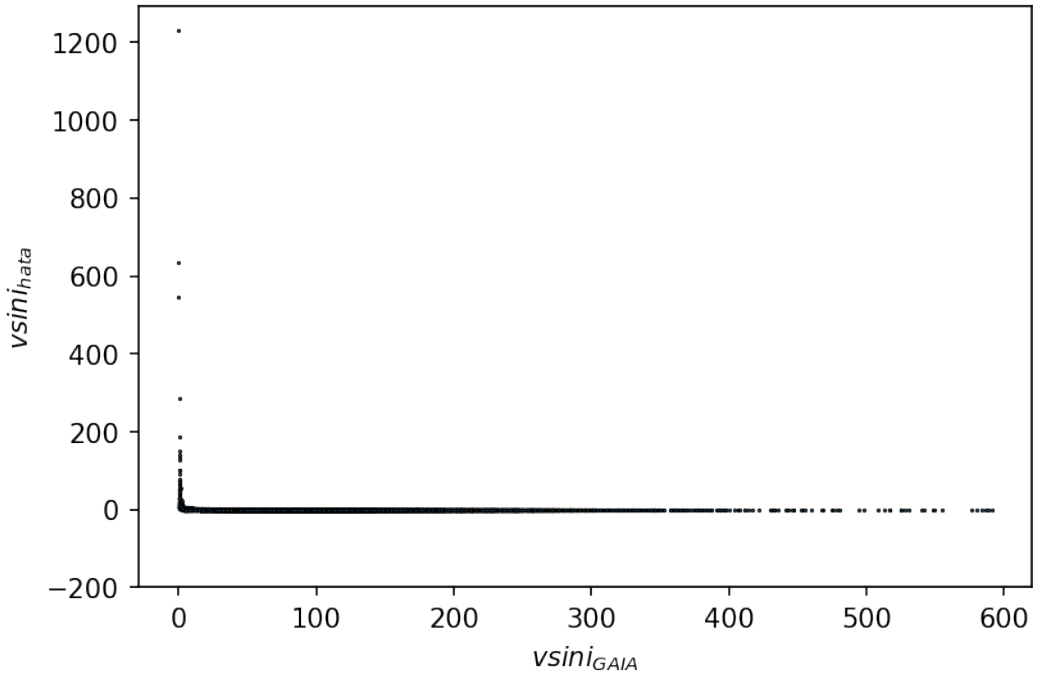
$vsini_{ort}$ ile $vsini_{Gaia}$ arasındaki ilişkiye bakılmıştır. *Gaia* hız verisi içinde rölatif hız hatası ($vsini_{hata}/vsini$) kendisi ve daha büyük olan yıldızların sayısı 1,458 dir. Tezde hesaplanan $vsini_{ort}$ değerlerinin hatalarının kendisinden büyük olan verileri ve $vsini_{Gaia}$ değerlerinin hatalarının kendisinden büyük olan yıldızlar elendiğinde 17,026 tane yıldız örneği için $vsini_{ort}$ karşılık $vsini_{Gaia}$ çizilmiş ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

4.3. KATALOGDAKİ YILDIZLARIN H-R DİYAGRAMI

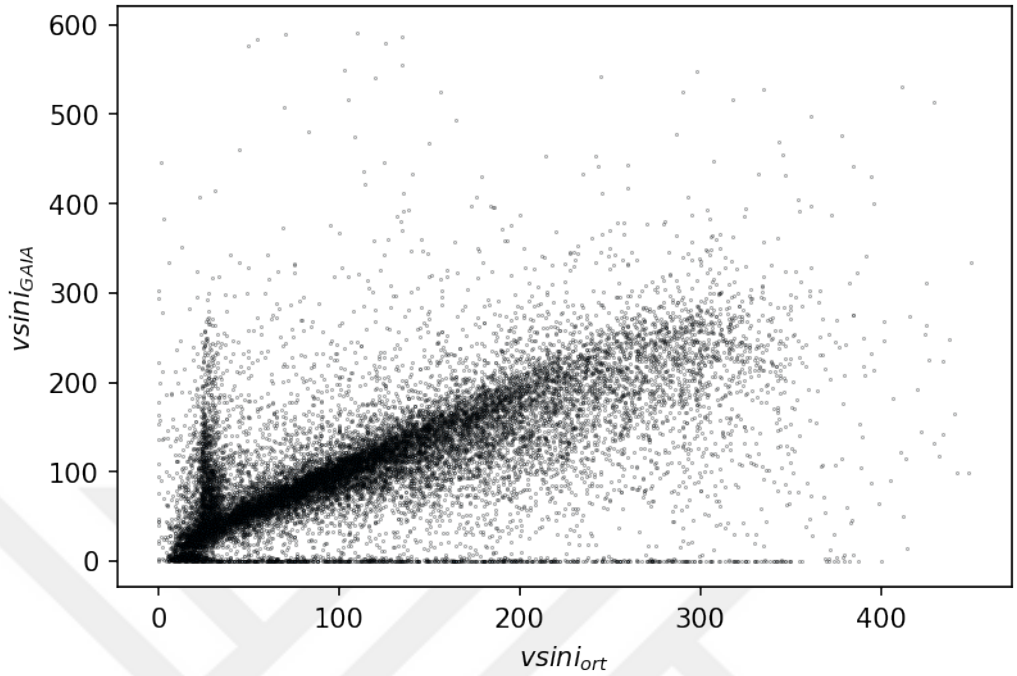
H-R diyagramını çizebilmek için gereken parametrelerden birisi uzaklıktır. Günümüzdeki en hassas astrometrik veriler *Gaia* gökyüzü tarama programına aittir. Tezde elde ettiğimiz ve *Gaia* ile eşleştirdiğimiz *Gaia* verileri incelendiğinde ıraksınımları olmayan yıldız sayısı 136 ve ıraksınımları sıfırdan küçük olan yıldız sayısı 864 tür. Bu yıldızlar elendiğinde 298,940 tane yıldızın astrometrik veri incelendiğinde ıraksınımlarının ortalaması 1.38, standart sapması 1.41, en düşük ve en yüksek parametre aralığı 0.005 ile 56.629 mili yay saniyesi aralığındadır. Katalogdaki yıldızların ıraksınımlarına ait histogram Şekil 4.12'de verilmiştir. Katalogdaki yıldızların ıraksınımdan hesaplanan uzakklık dağılımı Şekil 4.13'de verilmiştir. Iraksınımın hatasının kendisine oranı rölatif ıraksınım hatasıdır ve katalogdaki yıldızların rölatif ıraksınım hata dağılımı Şekil 4.14'de verilmiştir.



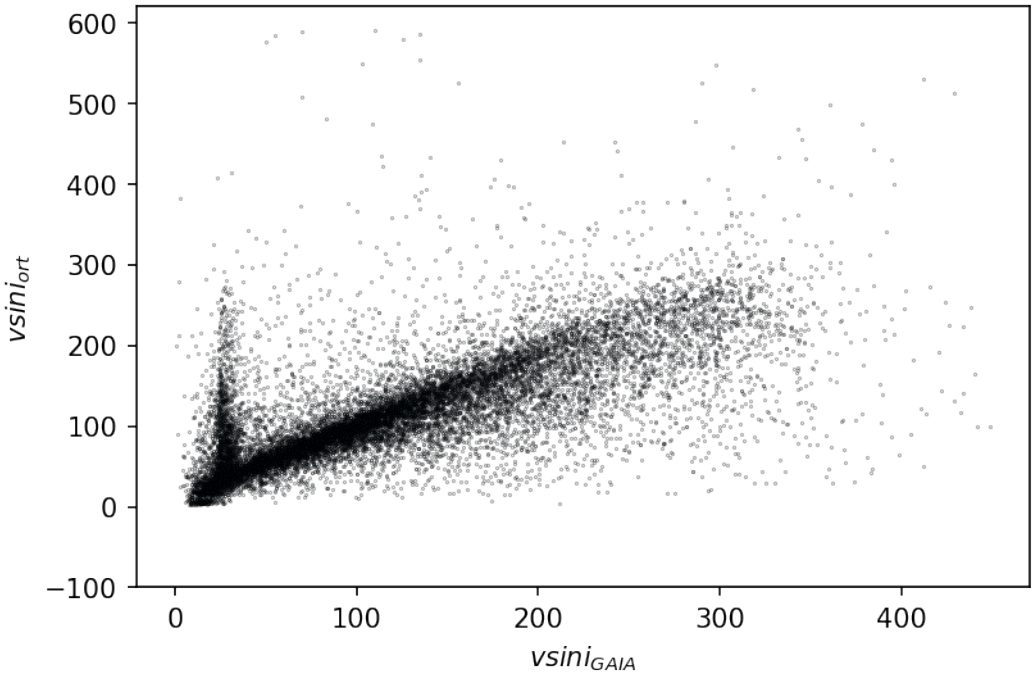
Şekil 4.8: *Gaia* öngörülen dönme hız parametresinin hatalarına göre dağılımı.



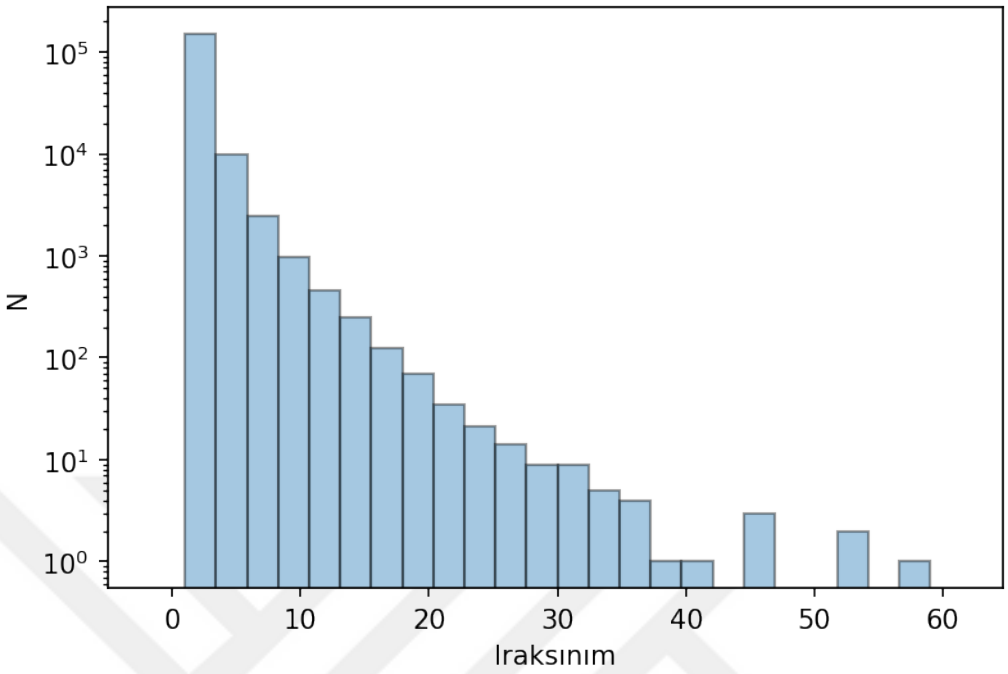
Şekil 4.9: *Gaia* öngörülen dönme hız parametresine karşılık rölatif *vsini* hatalarına göre dağılımı.



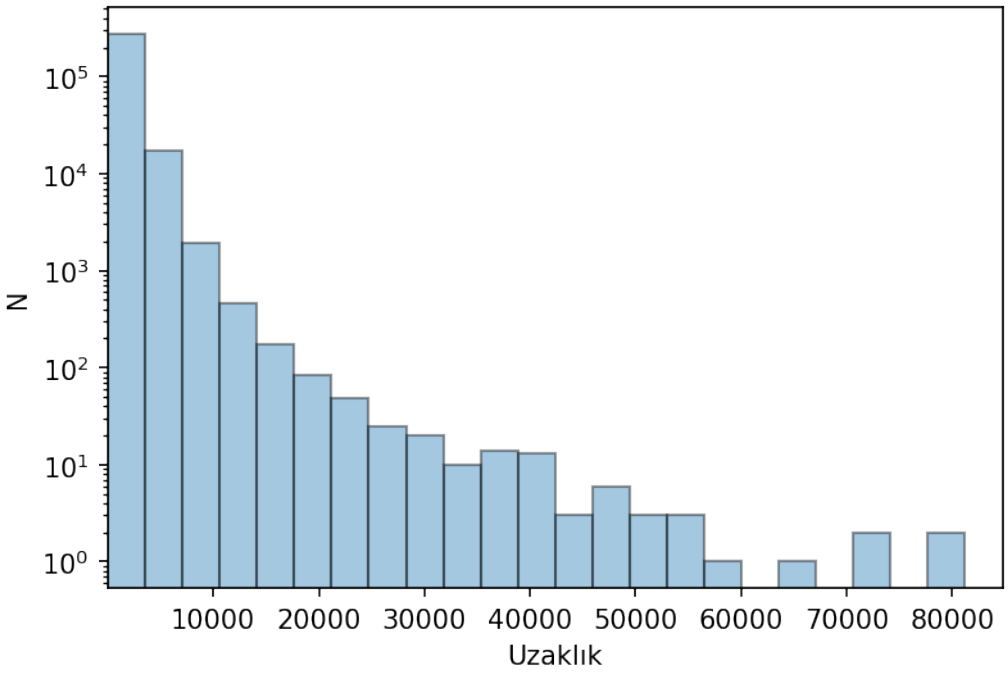
Şekil 4.10: Tezde hesaplanan $vsini_{ort}$ hız değerlerinin *Gaia vsini* hızlarına göre dağılımı.



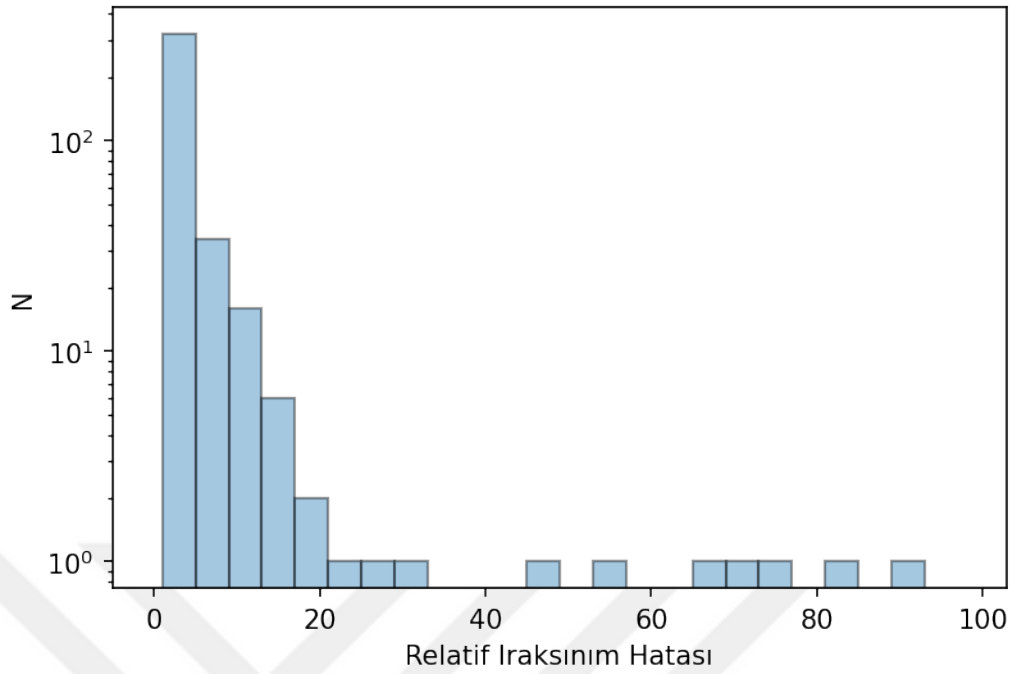
Şekil 4.11: Hız parametresinin hatasından küçük olduğu durum için $vsini_{ort}$ hız değerlerinin *Gaia vsini* hızlarına göre dağılımı.



Şekil 4.12: Katalogdaki yıldızların *Gaia* ıraksınım (mili yay saniyesi) histogramı.



Şekil 4.13: Iraksınımı sıfırdan büyük olan yıldızların uzaklık histogramı.



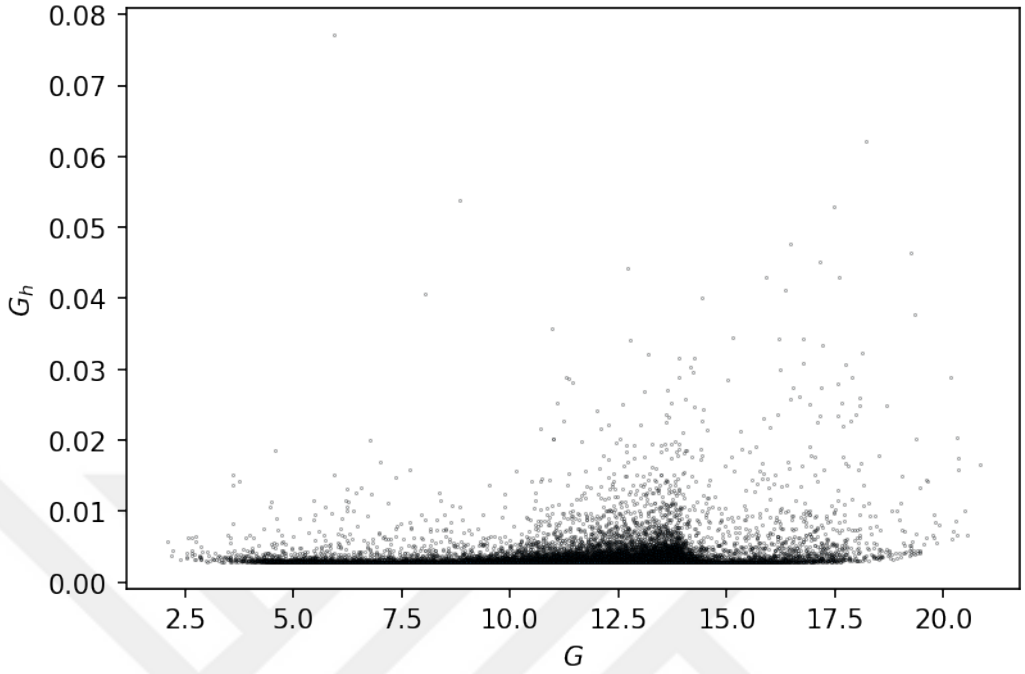
Şekil 4.14: Katalogdaki yıldızların rölatif ıraksınım hatalarının (mili yay saniyesi) histogramı.

Katalogdaki yıldızların *Gaia G*, *BP*, *RP* parlaklıklarının hatalarına göre dağılımı Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17'de gösterilmiştir. *Gaia G*, *BP* ve *RP* renkleri sönükleştirmeden arındırılmıştır. Tezdeki kaynakların *Gaia* verilerinden renk-parlaklık diyagramı çizilmiş ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Ayrıca, uzaklık modülü formülünden katalogtaki tüm yıldızlar için *Gaia* M_G mutlak parlaklıkları hesaplanmıştır.

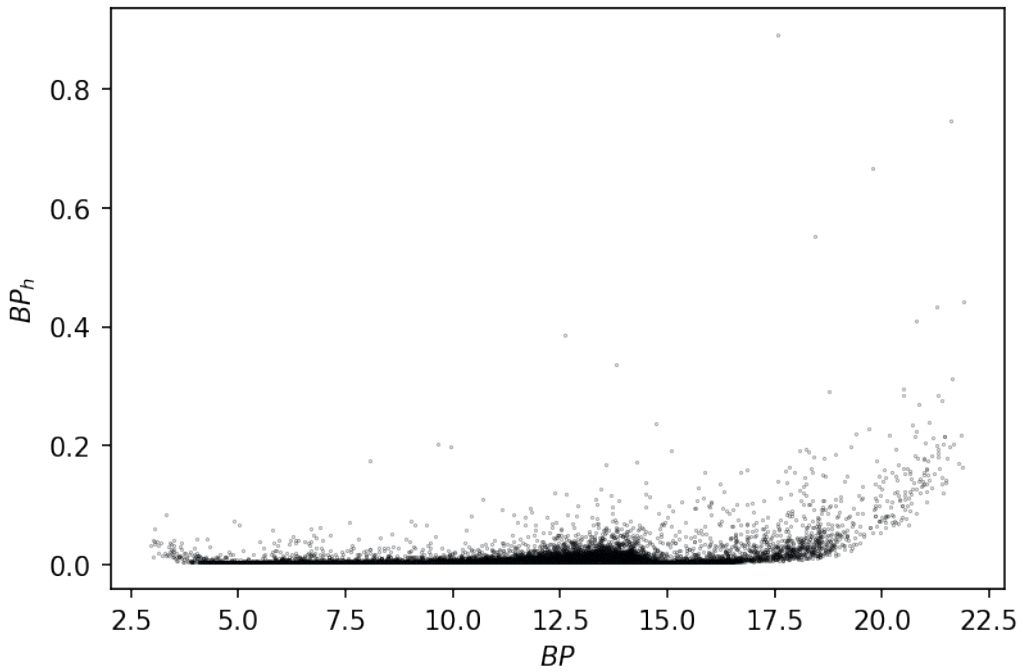
Katalog yıldızlarının *Gaia* verisinde verilen ıraksınım/ıraksınım hatası > 10, RUWE < 1.4 kriteri uygulanmıştır. Bu kritere uyan yıldızların H-R diyagramları yıldız sayı yoğunluklarına göre çizilmiş ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi her tayf türü ve farklı ışıma türlerinden yıldızları kapsamaktadır.

Listelediğimiz yıldızlarının heaaplanılan ortalama öngörülen dönme hızının H-R diyagramı üzerindeki davranışını görebilmek için $vsini_{ort}$ ye göre $M_G \times (BP-RP)_0$ H-R diyagramı çizilmiş ve Şekil 4.20'da gösterilmiştir. Bu H-R diyagramı üzerinde yıldızlarının tayf türleri farklı renkle ve $vsini_{ort}$ parametresi de verileri boyutsal olarak gözterilmiştir. Tayf türünü gösteren renkler ve *vsini* hızlarının büyüklüğü şekilde sağ üst köşede kutu içinde verilmiştir. Bu tayf tür bilgisi *Gaia* kataloğundaki "Spec.type-ELS" dan alınmıştır.

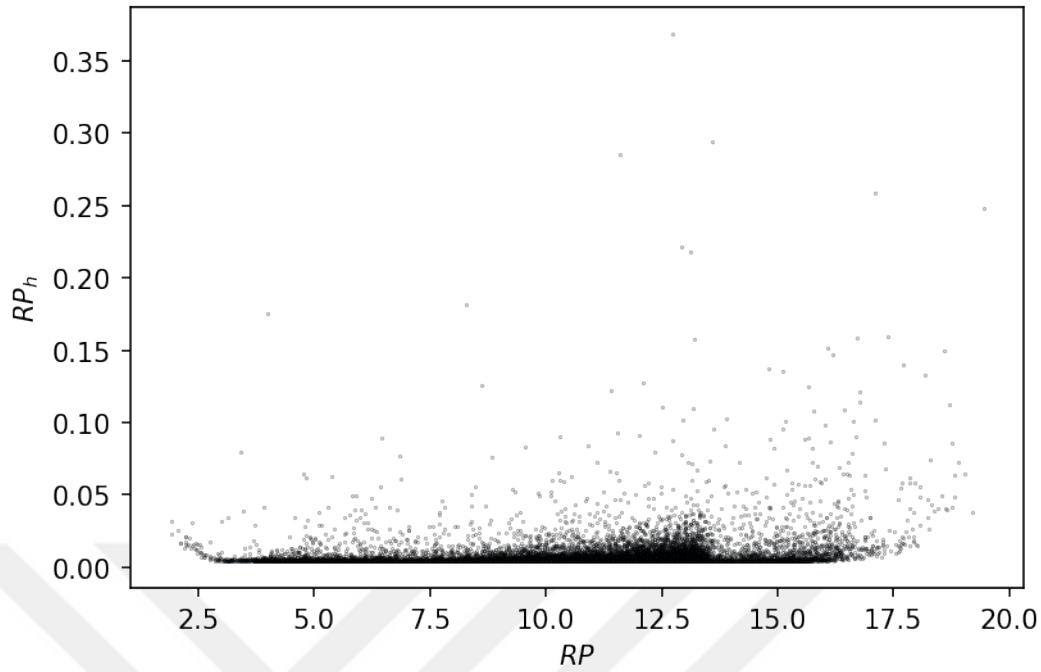
Ayrıca tezde verileri var olan katalogdaki yıldızlar ve tayf türü bilinmeyen kaynaklar için



Şekil 4.15: G parlaklığına karşılık parlaklığın hatası.

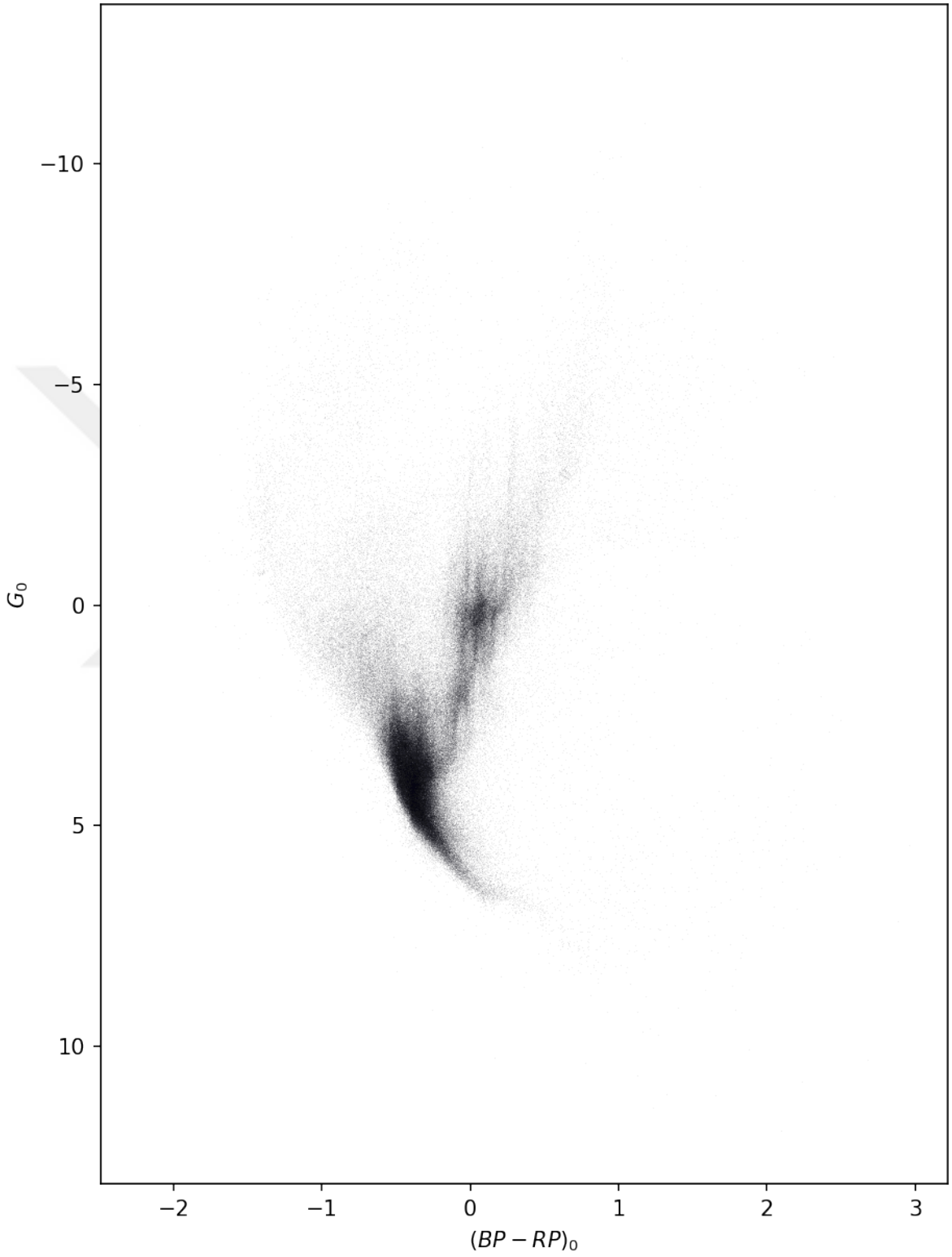


Şekil 4.16: BP parlaklığına karşılık parlaklığın hatası.

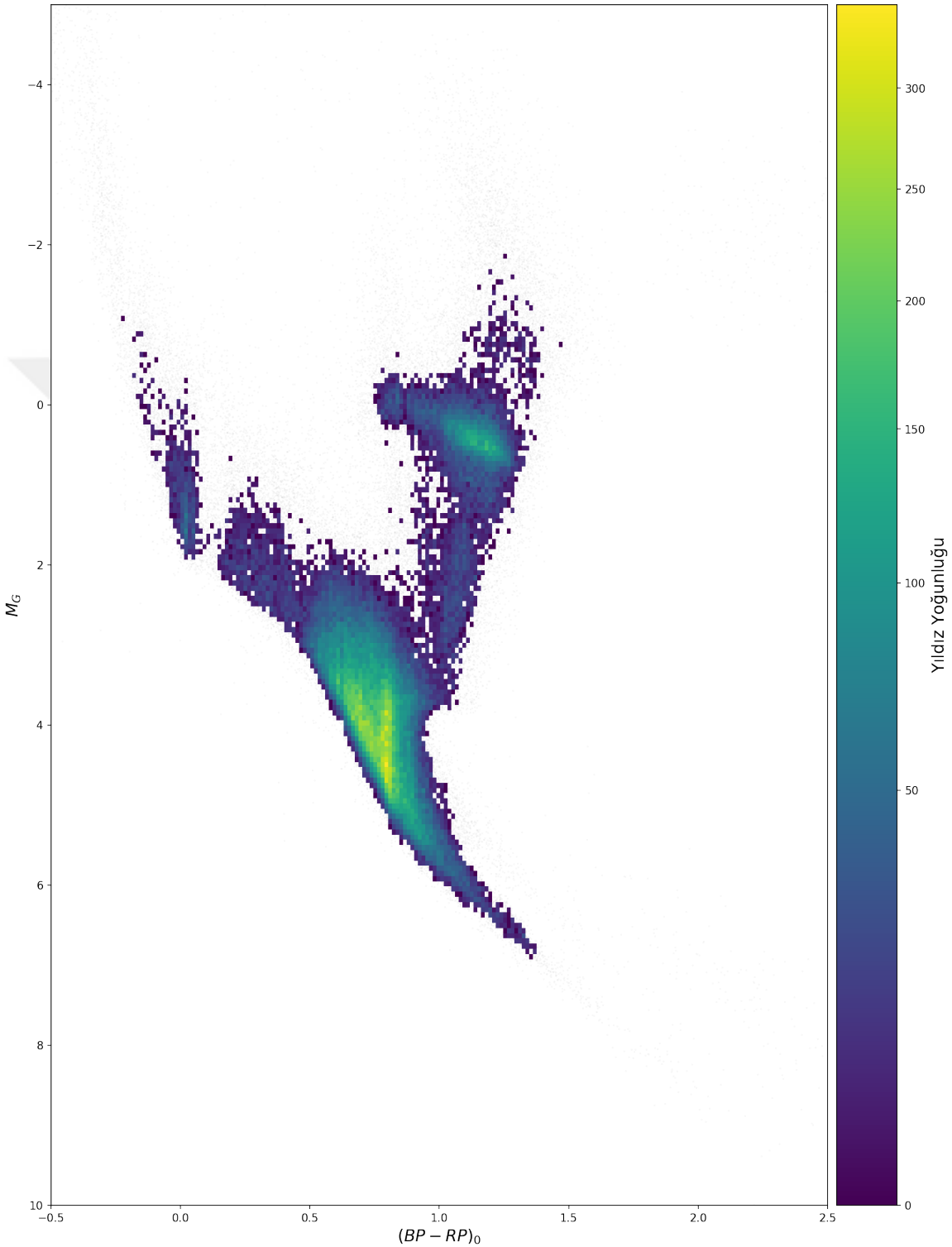


Şekil 4.17: RP parlaklığına karşılık parlaklığın hatası.

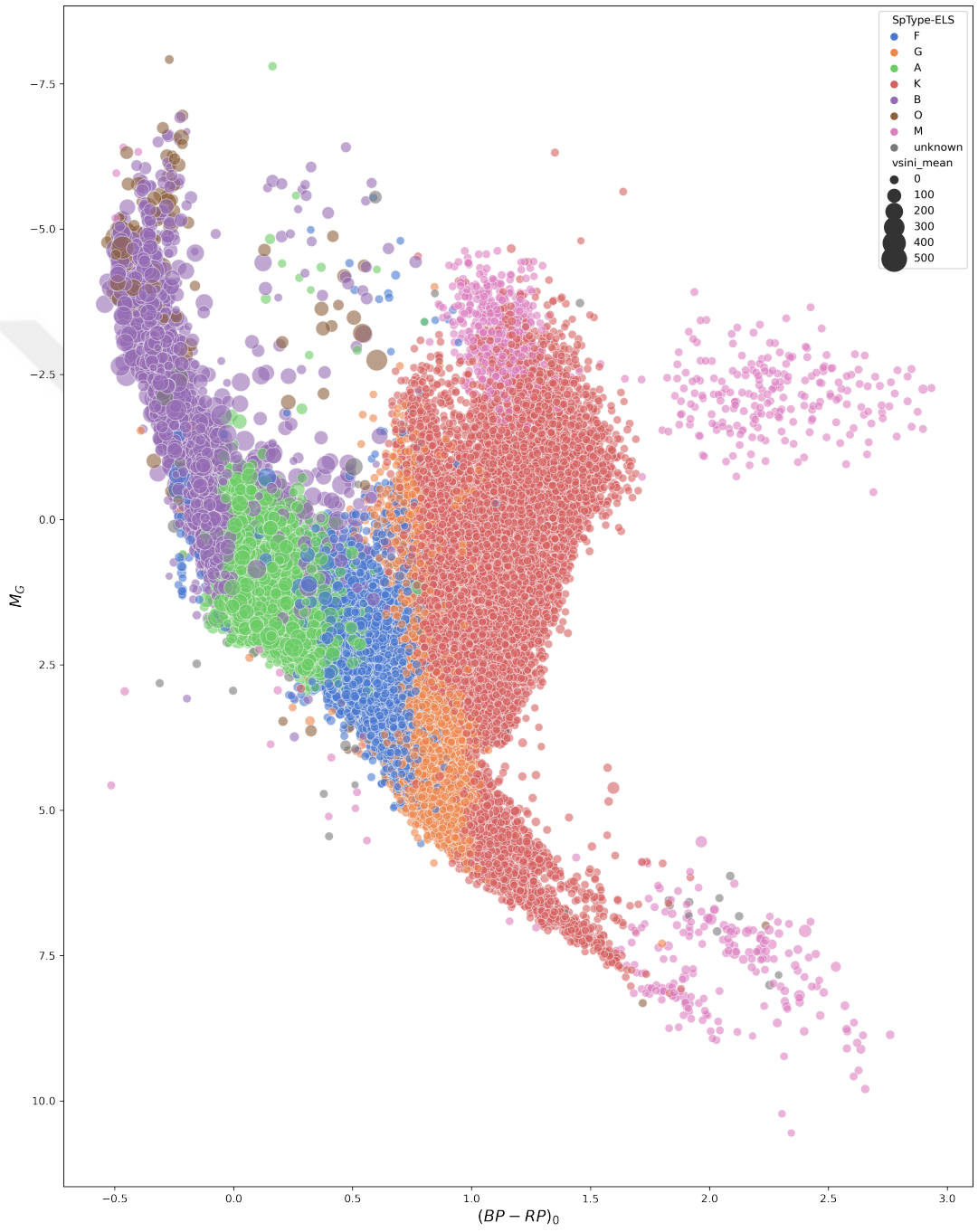
tayf türüne karşılık $vsini_{ort}$ dağılımı çizilmiştir (Şekil 4.21).



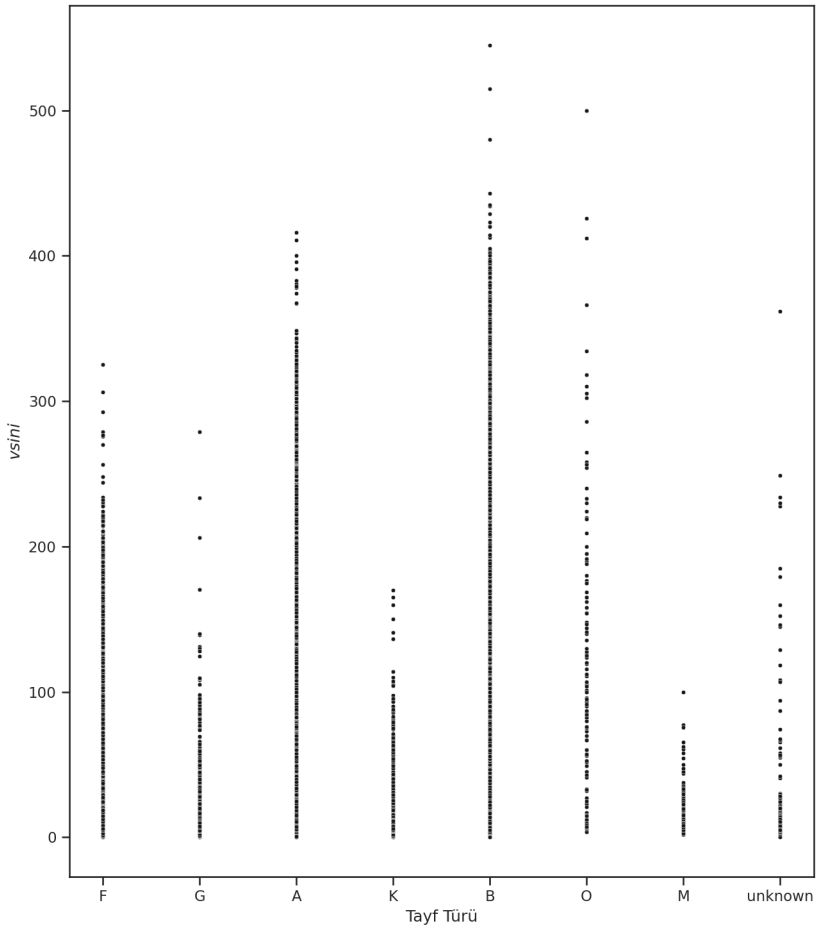
Şekil 4.18: Katalogdaki yıldızların renk-parlaklık dağılımı.



Şekil 4.19: Katalogdaki yıldızların yoğunluklarına göre renklendirilmiş HR diyagramı.



Şekil 4.20: Katalogdaki yıldızların tayf türlerine göre renklendirilmiş, $vsini_{ort}$ değerlerine göre boyutlandırılmış H-R diyagramı.



Şekil 4.21: Katalogdaki yıldızların tayf türlerine karşılık $vsini_{ort}$ değerlerine göre dağılımı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu yüksek lisans tezin amacını gerçekleştirebilmek için literatürde verilen öngörülen dönme hızıları (*vsini*) toplanmıştır. Glebocki ve diğ. (2005)'in kataloğu başlangıç kataloğu olarak kullanılmıştır. 2005 tarihinden itibaren veri tabanları ve makaleler taranmış ve yeni yıldız ve bu yıldızların yeni hızları toplanmıştır. 410,723 yıldızın öngörülen dönme hızı verilerini kataloglanması yapılmıştır. Bu yıldız verileri toplanırken verilerin yıldıza ait öngörülen dönme hızı ölçümü olmasına dikkat edilmiştir. Bunun haricinde başka bir kriter bulunmamaktadır. Yani yıldızın küme, oymak, çift ve çoklu sistem, tayf türü, ışıma gücü gibi kriterler kullanılmamıştır. Bir yıldızın literatürde ne kadar referansı varsa o referanslardan gelen tüm öngörülen dönme hızları (*visni* değerleri) toplanmıştır. Tüm refranslardan gelen *vsini*'lerin toplanmasının nedeni farklı yöntemlerle ölçülen bu hız değerlerinin geniş bir hız aralığında olabilmesidir. Bu durumları en aza getirebilmek için herbir yıldız için toplanan *vsini* değerlerinin ağırlıklı ortalaması ($vsini_{ort}$) hesaplanmıştır. Bu listedeki yıldızların büyük oranı (390,473) yıldızın *vsini* değerleri tek bir referanstan gelmektedir. Bu verilerin çoğu GALAH gökyüzü tarama programından alınmıştır. Literatürde bu kadar büyük yıldız sayısına sahip katalog bulunmamaktadır. Katalogladığımız *vsini* değerleri bu alanda çalışacak birçok araştırmacı için önemli bir kaynak olacaktır. Katalog büyük olduğundan tamamı Vizier veri tabanında elektronik olarak yayınlanacaktır.

Yıldızların öngörülen dönme hızının *vsini* varlığını çok eskiden beri bilinmektedir. Yıldızların dönme hızı çalışmaları 17. yüzyılda refraktör teleskop ile Güneş Lekelerinin gözlemlenmesi ile başlamıştır. Dönme, yıldızları tanımlanmasında en önemli özelliklerdendir. Yıldız dönmesi, yıldıza ait manyetizma, aktivite ve kimyasal elementlerin karışımı için önemli bir parametredir. Farklı evrim aşamasındaki yıldızların dönme hızlarının öğrenilmesi yıldızların farklı aşamalarındaki evrimleri hakkında bilgi barındırmaktadır. (Weise ve diğ., 2010) çalışmasında genç yıldızların dönme hızlarının ölçümleri yıldız oluşum sürecinin başlangıç koşullarını anlamamızı sağlayabilmektedir. Yıldızın dönme hızının evrimi yıldızın oluştuğu bölgenin evrimleşmesi ile ilişkilidir. Yıldızın dönmesini bilmemiz yıldızın iç yapısını, evrimini, gelişimini, çevresini ve çoklu yıldız sistemlerinde yıldız bileşenleri modellendirirken esas alınmaktadır. Teori ve gözlemler yıldızın dönmesinin

yıldızın oluşumu ve evriminde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Katalogdaki yıldızların tüm *vsini* değerlerinden ağırlıklı ortalamaları hesaplanmıştır. Verilerin bazılarının koordinat içermemesi gibi nedenlerle derin göküyüzü taraması olan 2MASS verisi ile listemizdekiler eşleştirilmiştir. Çoklu sistemlerde sadece bir bileşen dikkate alınmıştır. Bunun birinci nedeni referanslarda *vsini* değerleri hangi bileşen için olduğu belli olmamakla birlikte genellikle birinci bileşen için bu hız değerleri verilmektedir. İkinci nedense bu yıldızların *Gaia* verilerinden H-R diyagramı çizeceğimiz için bir yıldızın tüm bileşenleri için farklı *Gaia* parlaklıklarına ulaşılamayacağından tek bileşen dikkate alınmıştır. Tezde, Bulgular kısmında verilen şekiller incelendiğinde $vsini_{ort}$ 7.5 ile 550 km s^{-1} arasındadır. Hız histogramı incelendiğinde $vsini_{ort}$ nin ortalaması 20.5 km s^{-1} dir. Hızların büyük çoğunluğu düşük hızlardadır (Şekil 4.4). 300 km s^{-1} büyük hızlarda yıldızların sayısı azalırken literatürden toplanan hız bilgileri de daha az referanstan gelmektedir (Şekil 4.5). Tezde $vsini_{ort}$ ile hatalarının dağılımına bakıldığında her hız değerinde benzer hata dağılımı olduğu görülmektedir. *Gaia*'da verilen *vsini* değerlerinin histogramı (Şekil 4.7) incelendiğinde tezde hesaplanan $vsini_{ort}$ değerleriyle benzer dağılım gösterse de (Şekil 4.11) incelendiğinde hesaplanan hız değeri ile *Gaia*'da verilen hız değerleri arasında farklı dağılımlar söz konusudur (verilere uygulanan kriterden sonra sistematik hatalar elimine edilmeye çalışılsa da). Grafikte örneğin büyük çoğunluğu verilerin birbiriyle uyumlu dağılım göstermektedir.

Fotometrik verilerin hatalarına bakıldığında büyük hatalar söz konusu değildir (Şekil 4.15-17). Bu yüzden parlaklıklar için herhangi bir kriter kullanılmamıştır. Ama *Gaia* verileri için önerilen $RUWE < 1.4$ ve Iraksınım/Iraksınım hatası > 10 kullanılmıştır. Katalogdaki yıldızların yoğunlukları dikkate alınarak çizilen H-R diyagramı incelendiğinde kataloğun her tayf türünden yıldız verisi içerdiği görülmektedir. Tezde Şekil 4.20 incelendiğinde *Gaia*'da verilen tayf türlerine ve *vsini*'ye göre H-R diyagramı incelendiğinde genel olarak anakol yıldızlarında sıcak, büyük kütleli yıldızlara doğru gidildikçe öngörülen ortalama dönme hızları büyük değerlere doğru gitmektedir. Bu durum beklenen bir durumdur. Şekilde B tayf türünde yıldızlara bakıldığında anakoladan ayrılmış olan dev yıldızlar da büyük hızlara sahip olduğu görülmektedir. Verilerin üst üste gelmesi nedeniyle daha iyi incelemek için tayf türüne karşılık $vsini_{ort}$ lar çizilmiştir (Şekil 4.21). Bu grafik incelendiğinde erken tayf türü yıldızların dönme hızları en yüksek dönme hızlarına sahipken geç tayf türlerinde, örneğin K ve M tayf türü, öngörülen dönme hızları en az olan yıldızlar olduğu görülmektedir. Dikkat

çekici nokta ise her tayf türünde 7.5 km s^{-1} ye kadar hız parametresi mevcuttur. Bunun nedeni, i açısı bilinmediğinden yıldızların dönme hızı ile *vsini* hızları arasında büyük fark olması olabilir. $i = 90$ derece olduğu durumda *vsini* hızı ekvatoral dönme hızına eşit olacaktır. Bu eğim açısı sıfıra yakın olduğunda ise hızı önemli miktarda azaltabilmektedir. Bu yüzden yıldızın dönme hızının elde edilmesinde en önemli problemlerden birisi de bu eğim açısının bilinmemesidir. Her tayf türünde *vsini* değerlerinin geniş aralıkta olmasının diğer bir nedeni de yıldızlar anakolda evrimlerinin en istikrarlı süreçleri (tek enerji kaynağının hidrojen yakılması) yaşadığı genel olarak kabul edilse de anakol ömrü boyunca bir yıldızın gözlenen dönme hızı belli zaman ölçeklerinde değişmektedir (Zorec ve Royer, 2012). Bu çalışmada çalışmasında anakolda kalma zamanının %20'lik ölçekte bir diferansiyel dönmenin evrimi nedeniyle yıldızın dönme hızının değişebileceğini önermiştir. Diğer bir nedeni de *vsini*'nin aynı tayf türündeki yıldızların farklı ışıma gücüne sahip olmasından kaynaklı olabilir.

Tez çalışmasında yıldızlar için önemli olan dönme hızının büyük bir kataloğu yapılmış ve gökyüzü tarama programlarındaki verilerden itibaren H-R diyagramları *vsini* ve tayf türlerine göre incelenmiştir. Genel olarak *vsini*'nin H-R diyagramı üzerindeki davranışı beklendiği gibidir. Bu duruma uymayan yıldızlar ayrıntılı olarak incelenmelidir. Bundan sonraki çalışmalarımızda, literatürde olduğu gibi, hem ayrı ayrı tayf türüne hem de ışıma gücü sınıfına göre ayrıntılı olarak incelenecektir.

KAYNAKLAR

Aerts, C.,Simón-Díaz, S., Groot, J., Degroote, P., 2014, On the use of the Fourier transform to determine the projected rotational velocity of line-profile variable B stars, *Astronomy & Astrophysics*, 569, A118.

Allen, C.W., 1947, Interpretation of Electron Densities From Corona Brightness, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 107, 426.

Arech, A.V., Mesadi, T., Koshel, R.J., 2007, *Field Guide to Illumination*, SPIE field guides, Volume 11, SPIE

Argelander, F. W. A., 1995, VizieR Online Data Catalog: Bonner Durchmusterung (Argelander 1859-1903), *VizieR On-line Data Catalog: I/122* . 1-38.

Bailer-Jones, C. A. L., Rybizki, J., Fouesneau, M., Demleitner, M., Andrae, R., 2021,Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 1.47 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3, *The Astronomical Journal*, 161, 3, 147.

Bernacca, P. L., Perinotto, M.,1933 , Stellar Rotational Velocities , *Contributions dell' Osservatorio Astrofisico dell'Universita di Padova in Asiago*, No. 239 (1970), No. 250 (1971), No. 294 (1973).

Bouvier, G., 2013, Observational Studies of Stellar Rotation, *European Astronomical Society Publications Series*, Volume 62: Role and Mechanisms of Angular Momentum Transport During the Formation and Early Evolution of Stars Evry Schatzman School 2012, Cambridge University Press, 143 - 168.

Bohm, T., Holschneider, M., Lignières, F., Petit, P., Rainer, M., Paletou, F., Wade, G., Alecian, E., Carfantan, H., Blazère, A., and Mirouh, G. M., 2015, Discovery of starspots on Vega- First spectroscopic detection of surface structures on a normal A-type star, *Astronomy & Astrophysics*, 577, A64.

Buder, S., Sharma, S, Kos, J., Amarsi, A. M. ve diğ., 2021. The GALAH+ Survey: Third Data Release, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 1, 150-201.

Brown, A. G. A.,Vallenari, A.,Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., 2016, Gaia Data Release 1 Summary of the astrometric, photometric, and survey properties, *Astronomy & Astrophysics*, 595, A2, 2016.

Brown, A. G. A.,Vallenari, A.,Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., 2018, Gaia Data Release 2 Summary of the contents and survey properties, *Astronomy & Astrophysics* 616, A1.

Brown, A.G.A., Vallenari, A.,Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., et al., 2021, Gaia Early Data Release 3 Summary of the contents and survey properties, *Astronomy & Astrophysics*, 649, A1.

Cannon, A. J., 1915, The Henry Draper Memorial, *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 9, 202-224.

Cannon, A. J., 1936, The Henry Draper extension, *Annals of Harvard College Observatory*, 100, 1-226.

Cannon, A.J. and Pickering, E.C, 1924. Henry Draper Catalog and HD Extension, *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, 99, 1-271.

Cannon, A.J. and Pickering, E.C., 1918. The Henry Draper Catalogue 0h, 1h, 2h, and 3h, *Annals of Harvard College Observatory*, 91, 1-290.

Cantat-Gaudin, T., Anders, F., 2020. Clusters and mirages: cataloguing stellar aggregates in the Milky Way, *Astronomy & Astrophysics*, 633, A99, 22.

Carroll, J.A., 1928, The spectroscopic determination of stellar rotation and its effect on line profiles, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 88, 548.

Carroll, J.A., 1933, The spectroscopic determination of stellar rotation and its effect on line profiles, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 93, 478.

Carroll, J.A., Ingram, L.J., 1933, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 93, 508.

Casas, R., Vazquez M., Vaquero, J.M., 2006, Solar Rotation in the 17th century, *Solar Physics*, 234(2), 379-392.

Cortés, C., Maciel, S. C., Vieira, S., Ferreira Lopes, C. E., Leão, I. C., de Oliveira, G. P., Correia, C., Canto Martins, B. L., Catelan, M., De Medeiros, J. R., 2015, Stellar parameters for stars of the CoRoT exoplanet field, *Astronomy & Astrophysics*, 581A, 68.

Diaz C. G., González, J. F., Levato, H., Grosso, M., 2011,Accurate stellar rotational velocities using the Fourier transform of the cross correlation maximum, *Astronomy & Astrophysics*, 531, A143.

Elliott, S., 1904, Star Catalogues, *Astronomical Society of the Pacific*, 16, 193-201.

Gaia Collaboration et al., 2016, *The Gaia mission (provides a description of the Gaia mission including spacecraft, instruments, survey and measurement principles, and operations*.

Gaia Collaboration et al., 2022, *Gaia DR3: Summary of the contents and survey properties.*

Galilei, G., 1613, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*, Appresso Giacomo Mascardi

Glebocki., et al. 2000, Rotational Velocities of Stars, *Acta Astronomica*, v.50, pp. 509-515.

Glebocki R. , Gnacinski P. et al. 2005, *ESA SP-560, European Space Agency*, 2005., p.571.

Glebocki R. , Gnacinski P. et al. 2005, *ESA SP-560, European Space Agency*, 2005, 571.

Hotta, H., Yokoyama, T. 2011. Modeling of Differential Rotation in Rapidly Rotating Solar-type Stars, *The Astrophysical Journal*, 740, 12

Irwin., J., Aigrain, S., Bouvier, J., et al. 2009, Rotational Velocities of Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 392, 1456

Ireland, L. G., Matt, S.P., Davey, C.R., et al. 2022, Effect of Differential Rotation on the Magnetic Braking of Low-mass and Solar-like Stars: A Proof-of-concept Study, *The Astrophysical Journal*, 925, 1.

Ivanyuk , O. M., Jenkins, J. S., Pavlenko, Ya. V., et al. 2017,The metal-rich abundance pattern – spectroscopic properties and abundances for 107 main-sequence stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 468, 4151–4169.

Kitchatinov, L. L., Nepomnyashchikh, A.A., 2019, DYNAMO MODEL FOR NORT-SOUTH ASYMMETRY OF SOLAR ACTIVITY, *All-Russia Conference on Solar and Solar-Terrestrial Physics*

Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Röser, S., Scholz, R. -D.,2012,Global survey of star clusters in the Milky Way. I. The pipeline and fundamental parameters in the second quadrant, *Astronomy & Astrophysics*, 543, A156, 13.

Lasker, B. M., Sturch, C. R., McLean, B. J., Russell, J. L., Jenkner, H., Shara, M, M., 1990, The Guide Star Catalog. I - Astronomical foundations and image processing, *Astrophysical Journal*, 99, 2019–2065.

Majewski, S. R., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P. M., Allende Prieto, C. ve diğ., 2017. The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE), *The Astronomical Journal*, 154, 3, 94, 46.

Nielsen, Axel V., 2006, Contributions to the History of the Hertzsprung-Russell Diagram, *Centaurus*, 9, 219

Nofi, L. A., Johns–Krull C. M., Lopez–Valdivia, R., Biddle, L., Carvalho, A. S., Huber, D., Jaffe, D., Llama, J., Mace, G., Prato, L., Skiff, B., Sokal, K.R., Sullivan, K., Tayar, J., 2021, Projected Rotational Velocities and Fundamental Properties of Low-Mass Pre-Main Sequence Stars in the Taurus-Auriga Star Forming Region *The Astrophysical Journal* 911(2):138 April 2021.

Paunzen E., 2006, *Astronomy & Astrophysics* , manuscript no. Geneva catalog v4.

Shajn, I. S., Dmitrienko, E. S., 2017, Spots and activity of Pleiades stars from observations with the Kepler Space Telescope (K2), *Astronomy Reports*, 61, 996–1002.

Shajn, G., Struve, O. , 1929, On the rotation of the stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 89, p.222-239

Slettebak, A., Collins, G. W., II, Boyce, P. B., White, N. M., Parkinson, T. D., 1975, A system of standard stars for rotational velocity determinations, *The Astrophysical Journal Supplement*, 281, 29, 137-159.

Slettebak,A., Wagner,R. M., Bertram, R., 1997, Spectroscopic Observations of Some Be/B Stars at High Galactic Latitude *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 109, 1-8.

Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., Weinberg, M. D., Schneider, S., Carpenter, J.M., Beichman, C., Capps, R., Chester, T., Elias, J., Huchra, J., Liebert, J., Lonsdale, C., Monet, D.G., Price, S., Seitzer, P., Jarrett, T., Kirkpatrick, J.D., Gizis, J.E., Howard, E., Evans, T., Fowler, J., Fullmer, L., Hurt, R., Light, R., Kopan, E. L., Marsh, K.A., McCallon, H.L., Tam,R., Van Dyk, S., and Wheelock, S., 2006, *Astronomical Journal*, 131, 1163.

Tassoul, J-L, 2003, *Stellar Rotation*, PUBLISHED BY CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS (VIRTUAL PUBLISHING) FOR AND ON BEHALF OF THE PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge CB2 IRP 40 West 20th Street, New York, NY 10011-4211, USA 477 Williamstown Road, Port Melbourne, VIC 3207, Australia, ISBN: 0 521 77218 4

Marc F. M. Trypsteen, Richard Walker, 2017, *Spectroscopy for Amateur Astronomers*, Cambridge University Press, Online ISBN: 9781316694435

Uesugi, A., Fukuda, I., 1982, Revised Catalogue of Rotational Velocities *Department of Astronomy, Kyito Univ.,*.

Weise, P., Launhardt, R., Setiawan, J., Henning, T., 2010, Rotational velocity of nearby young stars, *Astronomy & Astrophysics*, 517, A88.

Zorec, J.,Royer, F., 2012, Rotational velocities of A-type stars IV. Evolution of rotational velocities, *Astronomy & Astrophysics*, 537, A120.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Fatima MAMMADOVA
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☐ T.C. ☒ Diğer: Diğer
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Istanbul Universitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
S Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı
Mezuniyet Tarihi	...

Makale ve Bildiriler
Makaleler