

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



GÜNEŞ CİVARINDAKİ ORTA TAYF TÜRÜNDEKİ METALCE FAKİR
YILDIZLARIN GÖZLEMSEL BİR ÇALIŞMASI

Mahmut MARIŞMAK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ CİVARINDAKİ ORTA TAYF TÜRÜNDEKİ METALCE FAKİR
YILDIZLARIN GÖZLEMSEL BİR ÇALIŞMASI

Mahmut MARIŞMAK

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez" Güneş Civarındaki Orta Tayf Türündeki Metalce Fakir Yıldızların
Kökeni" başlıklı 121F265 nolu TÜBİTAK 1001 Projesi tarafından desteklenmiştir.

HAZİRAN 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ CİVARINDAKİ ORTA TAYF TÜRÜNDEKİ METALCE FAKİR
YILDIZLARIN GÖZLEMSEL BİR ÇALIŞMASI

Mahmut MARIŞMAK

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 10/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

Prof. Dr. Timur ŞAHİN (Danışman)

ÖZET

GÜNEŞ CİVARINDAKİ ORTA TAYF TÜRÜNDEKİ METALCE FAKİR YILDIZLARIN GÖZLEMSEL BİR ÇALIŞMASI

Mahmut MARIŞMAK

Yüksek Lisans Tezi / Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Timur ŞAHİN

HAZİRAN 2023; 120 sayfa

121F265 no'lu TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışmasında proje yıldız grubu arasından seçilen HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızları için tayfsal, kinematik, yörünge dinamik ve yaş analizleri gerçekleştirilmiştir. Tayfsal analizler için element bolluklarının tespiti aşamasında kullanılan yüksek çözünürlüklü echelle tayflar ELODIE tayf kütüphanesinden temin edilmiştir. Kinematik hesaplamalar için ihtiyaç duyulan astrometrik veriler ise GAIA DR3'ten alınmıştır. Kinematik temelli olarak yapılan Galaktik popülasyon ayrımları tez yıldızları için belirlenen α -element bolluk oranları ve Fe bollukları ile sınanmıştır. Galaktik yörünge parametreleri için Python kütüphanesinden, yaş hesaplamaları için ise ana hatları Şahin ve Bilir (2020)'de sunulan Bayesian temelli yaş tayin metodundan yararlanılmıştır. Elde edilen kimyasal bolluklar, galaktik kinematik, dinamik ve yaş verileri ile birlikte değerlendirilerek söz konusu program yıldızlarının Galaksimizdeki küresel kümeler ve Galaksimizin çevresinde yer alan uydü cüce galaksi kökenleri değerlendirilmiştir.

Gökadanın yaşıyla kıyaslanabilecek kadar uzun anakol yaşam sürelerine sahip orta tayf türündeki (F ve G tayf türünden yıldızlar) anakol ve kırmızı dev kolu yıldızlar, oluştukları molekül bulutunun kimyasal kompozisyonunu sergilerler. Bu nedenle bu yıldızların atmosferlerinde tespit edilen ağır element bollukları Galaksimizin kimyasal evrim geçmişi hakkında da önemli bilgiler sağlar. Özellikle Güneş komşuluğunda yer alan orta tayf türünden yıldızların tayfsal, kinematik ve yörünge dinamik özelliklerinin incelenmesi Gökadamızdaki farklı popülasyon gruplarının ayrıştırılmasını da olanak sağlar.

Güneş komşuluğundaki metalce fakir yıldızlar için tayfsal, kinematik ve yörünge dinamik özelliklerinin bir arada incelendiği çalışmaların sayısı son derece az olmasına

karşın gelişmekte olan analiz teknikleri ve gökyüzü tarama programları sayesinde sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Tez kapsamında incelenen proje yıldızlarına yönelik gerçekleştirilen analiz metodlarının istatistiki öneme sahip daha büyük ölçekte bir yıldız grubuna uygulandığında elde edilecek bulguların Güneş komşuluğundaki yıldızların kimyasal yapıları ve dinamikleri hakkında literatüre önemli bir katkı sağlayacağı açıktır. Nitekim tez çalışması kapsamında incelenen yıldızlar için uygulanan analiz teknikleri TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında analizi hedeflenen G tayf türünden metalce fakir ($-2.5 < [Fe/H]$ (dex) < -0.5) 90 adet örneklem yıldızı için de tekrarlanacak olması bakımından önemlidir. Bu bakımdan, tez çalışması, bir anlamda proje çalışması için bir ön analiz aşaması olarak değerlendirilebilir. Metalce fakir karakteristiklerine ek olarak bahsi geçen 90 adet proje yıldız grubu içerisinde yer alan yüksek öz hareketli ($\mu > 100$ mas/yıl) yıldızlar bu toplam örneklem sayısının %66'sını oluşturmaktadır. Örneklem grubunu temsilen tez çalışmasında analizler için seçilmiş HD 63791 ve HD 195633 yıldızları yüksek öz hareketli yıldızlardır. HD 63791, aynı zamanda projedeki ELODIE tayflarının analizlerinde kullanılmak üzere bir çizgi listesi oluşturulması amacı ile seçilmiş metalce fakir bir yıldızdır. Tez kapsamında incelenecek kaynakların neredeyse tümü literatürde rapor edilen sıcaklık, çekim ivmesi ve metal bolluğu değerlerinde büyük farklılıklar sergilemekte olan ve ilk kez bu kadar kapsamlı (tayfsal, kinematik ve dinamik yöntemlerle) bir çerçevede incelenecek olan yıldızlardır. Literatürde bilğimiz dahilinde G tayf türü metalce fakir yüksek öz hareketli yıldızlar üzerine söz konusu yıldızların küresel küme veya cüce galaksi kökenlerini inceleyen, yıldızların Bayes yaşları, kinematik ve Galaktik yörünge parametreleri, metal ve α -element bolluklarının birlikte kullanılarak değerlendirildiği kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

İlerleyen dönemlerde tez çalışması kapsamında izlenen tayfsal, kinematik, yörünge dinamik analiz metodolojisi diğer proje yıldızları için de uygulanmasına devam edilecektir. ELODIE tayfları ile nispeten kısıtlı bir tayf aralığında yürütölen tayfsal analizlerin özellikle PolarBase vb. yüksek çözünürlöklö tayf verisi sağlayan kütöphanelerde verileri listelenen proje yıldızları için daha geniş bir dalgaboyu aralığını kapsayacak şekilde genişletilmesi planlanmaktadır. Bu amaç ile PolarBase echelle tayfı analiz edilen HD 218209 yıldıza ait çizgi teşhisine başlanmış ve çizgi ölçömleri kısmen, ELODIE tayf kütöphanesi için geçerli dalgaboyu aralığını kapsayacak şekilde tamamlanmıştır. Nihai çizgi listesi ile

tayfsal analizler için 6800 Å olan dalgaboyu limiti 10 000 Å değerine taşınmış olacaktır.

ANAHTAR KELİMELEER: Galaksi: Güneş Cıvarı, Yıldız: Element Bolluğu, Yıldız: Kinematik ve Dinamik.

JÜRİ: Prof.Dr. Selçuk BİLİR

Prof.Dr. Volkan BAKIŞ

Prof.Dr. Timur ŞAHİN



ABSTRACT

AN OBSERVATION STUDY OF METAL POOR STARS OF MIDDLE SPECTRAL TYPE IN THE SOLAR NEIGHBORHOOD

Mahmut MARIŞMAK

MSc Thesis in SPACE SCIENCES and TECHNOLOGIES

Supervisor: Prof. Dr. Timur ŞAHİN

June 2023, 120 pages

In this thesis study, carried out within the scope of TUBITAK 1001 project number 121F265, spectral, kinematic, orbital dynamics and age analyses were performed for the stars HD 8724, HD 63791 and HD 195633 selected from the project stellar group. High resolution echelle spectra used for the determination of elemental abundances were obtained from the ELODIE spectral library. The astrometric data needed for kinematic calculations were obtained from GAIA DR3. Galactic population separations based on kinematics were tested with the α -element abundance ratios and Fe abundances determined for the thesis stars. The Python library is used for Galactic orbital parameters, and the Bayesian-based age determination method outlined in Şahin and Bilir (2020) was used for age calculations. The chemical abundances obtained were evaluated together with galactic kinematics, dynamics and age data to assess the origin of the program stars in globular clusters in our Galaxy and satellite dwarf galaxies in the vicinity of our Galaxy.

Main-sequence and red giant branch stars of intermediate spectral types (F and G spectral stars), which have main-sequence lifetimes comparable to the age of the galaxy, exhibit the chemical composition of the molecular cloud from which they formed. Therefore, the abundances of heavy elements detected in the atmospheres of these stars provide important information about the chemical evolutionary history of our Galaxy. In particular, the study of the spectral, kinematic and orbital dynamical properties of mid-spectral stars in the solar neighbourhood allows us to distinguish between different population groups in our Galaxy.

Although the number of studies on metal-poor stars in the solar neighbourhood, where the spectral, kinematic and orbital dynamical properties of these stars are investigated

together, is minimal, their number is increasing day by day thanks to the developing analysis techniques and survey programs. It is clear that the data, when the analysis methods applied to the project stars studied in this thesis are applied to a larger group of stars of statistical significance, will make a significant contribution to the literature on the chemical structures and dynamics of stars in the solar neighbourhood. As a matter of fact, the analysis techniques applied in this thesis will be repeated for 90 metal-poor ($-2.5 < [\text{Fe}/\text{H}] \text{ (dex)} < -0.5$) sample stars of the G spectral type, which are targeted for analysis within the scope of the aforementioned TÜBİTAK 1001 project. In this sense, this thesis can be considered as a preliminary analysis phase for the project. In addition to their metal-poor characteristics, the high proper motion ($\mu > 100 \text{ mas/year}$) stars in the project star group constitute %66 of the total sample size. The stars HD 63791 and HD 195633, which were selected for the analysis in this thesis to represent the sample group, are high proper motion stars. HD 63791 is also a metal-poor star, which was chosen to create a line list for the analysis of the ELODIE spectra of the whole project stars. Almost all the sources to be analysed in this thesis are stars that exhibit large differences in temperature, gravitational acceleration and metal abundances from those reported in the literature and were analyzed in such a comprehensive framework (spectroscopic, kinematic and dynamical methods) for the first time. To the best of our knowledge, there is no comprehensive study in the literature on metal-poor high-motion stars of spectral type G that examines the globular cluster or dwarf galaxy origins of these stars, using Bayesian ages, kinematic and Galactic orbital parameters, metal and α -element abundances together.

In the future, the spectral, kinematic and orbital dynamics analysis methodology followed in this thesis will continue to be applied to other project stars. The spectral analyses carried out in a relatively limited spectral range with ELODIE spectra are planned to be extended to cover a wider wavelength range, especially for project stars whose data are listed in libraries providing high-resolution spectral data such as PolarBase. For this purpose, the line identification of the star HD 218209, whose PolarBase echelle spectrum was obtained, have been partially completed (covering the wavelength range valid for the ELODIE spectral library). With the final line list, the wavelength limit for spectral analyses will be increased from $6800 \text{ \AA}$ to $10\,000 \text{ \AA}$.

KEYWORDS: Galaxy: Solar Neighbourhood, Star: Elemental Abundance, Star: Kine-

matics and Dynamics.

COMMITTEE: Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

Prof. Dr. Timur ŞAHİN



ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında, seçilen Güneş civarındaki G tayf türünden metalce fakir dev ve anakol yıldızlarının fiziki doğalarının daha iyi anlaşılabilmesi için çok disiplinli (tayfsal, kinematik ve yörünge dinamik) bir analiz stratejisi takip edilmiştir. Bilindiği üzere Güneş civarındaki tüm yıldızların element bollukları bilinmemektedir. Metalce fakir bu tür yıldızlara ilişkin literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde ise ancak az sayıda yıldız için detaylı kimyasal bolluk analizlerinin gerçekleştirilmiş olduğu görülür. Tez çalışması, aynı zamanda devam etmekte olan ve 2024 yılı Eylül ayı itibarı ile sonuçlandırılması planlanan nispeten büyük ölçekli bir çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır ve proje yıldızları için gerçekleştirilecek analiz adımlarının sınanmasına olanak sağlamıştır.

Bu hedef doğrultusunda, farklı disiplinlerde çalışan araştırmacıların bir araya gelerek oluşturdukları ve gerek tez çalışmam gerek ise tayfsal analizlerini yürüterek bir parçası olduğum bu çalışma sonlandığında üç yıllık yoğun bir çalışma süresi sonucunda Güneş civarındaki metalce fakir yıldızların kökenine dair ihtiyaç duyulan kanıtları toplamış olmayı beklemekteyiz.

Bu çalışmanın hazırlanması aşamasında bana verdikleri desteklerden dolayı çalışma arkadaşlarım Gizay YOLALAN, Sena Aleyna ŞENTÜRK, Nur ÇINAR ve Ferhat GÜNEY'e teşekkürü bir borç bilirim. İyi ki varsınız.

Yüksek lisans maceram boyunca hiçbir zaman yardımını esirgemeyen, maddi ve manevi her türlü desteği veren, her hareketinden bir şey öğrendiğim ve sadece bir danışman olarak değil bizi bir aile üyesi olarak gören danışman hocam Prof. Dr. Timur ŞAHİN'e sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Yaş, kinematik ve yörünge parametrelerinin hesaplanması aşamasında verdiği desteklerden dolayı Prof. Dr. Selçuk BİLİR ve Dr. Olcay PLEVNE hocalarıma çok teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans süresi boyunca desteklerini hiçbir zamana esirgemeyen ve beni daima bilime teşvik eden aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	vii
AKADEMİK BEYAN	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Gökada Oluşum Senaryolarına Kısa bir Bakış ve Güneş Komşuluğu	1
1.2. Orta Tayf Türündeki Yıldızlar ve Evrimleri	13
2. KAYNAK TARAMASI	15
2.1. HD 8724	15
2.2. HD 63791	18
2.3. HD 195633	20
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Echelle Tayfin Doğası ve Echelle Tayf Verileri	23
3.2. Süreklilik Düzeltmesi	25
3.3. Dikine Hız Düzeltmesi	26
3.4. Çizgi Teşhisi	29
3.4.1. Multiplet Analizi ve Doğası Üzerine Bazı Notlar	32
3.4.2. Çizgi Kütüphanelerinin Sayılaştırılması ve Görselleştirilmesi Üze- rine Bazı Notlar	35
3.4.3. PyEchelle – Python Temelli Multiplet Analizine Olanacak Sağla- yan Arayüz Üzerine Bazı Notlar	35
3.5. Atomik Verilerin Temini ve Test Edilmesi	35
3.6. Eşdeğer Genişlik Ölçümü	37
3.7. Yıldız Atmosferi ve Model Atmosfer Yapısı	39
3.7.1. ATLAS9 Model Atmosfer Kodu	41
3.8. Model Atmosfer Parametre Tayini	41
3.8.1. Klasik Tayfsal Analiz Yöntemi	41
3.8.2. Model Grid yöntemi	43
3.8.3. Tayfsal Enerji Dağılım (SED) Yöntemi	46

3.9. Element Bolluk Hesabı	48
3.10. Yaş Analizleri	49
3.11. Kinematik Analizler	51
3.12. Yörünge Dinamik Analizler	54
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. HD 8724 (Gaia DR3 2593188145361730432)	57
4.1.1. Klasik Tayfsal Analiz	57
4.1.2. Model Grid Yöntemi Kullanılarak Model Parametre Tayini	65
4.1.3. SED (Tayfsal Enerji Dağılımı) Yöntemi ile Model Parametre Tayini	65
4.1.4. Bayes Yaş Tayini	69
4.1.5. Kinematik Analiz	70
4.1.6. Dinamik Yörünge Analizi ve Galaktik Köken	71
4.2. HD 63791 (Gaia DR3 1085188633398350336)	76
4.2.1. Klasik Tayfsal Analiz	76
4.2.2. Bayes Yaş Tayini	85
4.2.3. Kinematik Analiz	85
4.2.4. Dinamik Yörünge Analizi ve Galaktik Köken	86
4.3. HD 195633 (Gaia DR3 1748576848010782208)	87
4.3.1. Klasik Tayfsal Analiz	87
4.3.2. Bayes Yaş Tayini	94
4.3.3. Kinematik Analiz	96
4.3.4. Dinamik Yörünge Analizi ve Galaktik Köken	97
5. KAYNAKLAR	100
6. EKLER	117

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “GÜNEŞ CİVARINDAKİ ORTA TAYF TÜ-
RÜNDEKİ METALCE FAKİR YILDIZLARIN GÖZLEMSEL BİR ÇALIŞMASI” adlı
bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu
tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

23/06/2023

Mahmut MARIŞMAK

İmza



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler:

$\text{\AA}$	: Angstrom
c	: Işıık hızı
$\odot$	: Güneş
$\log_e(X)$	: Logaritmik (mutlak) bolluk
λ	: Dalgaboyu
l	: Galaktik boylam
b	: Galaktik enlem
π	: Paralaks
ξ	: Mikrotürbölans hız değeri
L	: Işııtma
τ	: Yaş

Kısaltmalar:

LSR	: Yerel durağanlık noktası
Gaia	: Global Astrometric Interferometer for Astrophysics.
APOGEE	: Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment
GALAH	: Galactic Archaeology with HERMES
LIME	: Line Measurement for Echelle Spectra
R.W.	: Reduced Equivalent Width
L.E.P.	: Lower-level Excitation Potential
1D	: Bir boyutlu
2D	: İki boyutlu
A_v	: Sönümlenme
R_a	: Galaksi merkezine en uzak mesafe
R_p	: Galaksi merkezine en yakın mesafe
Z_{max}	: Galaktik düzlemden olan yükseklik
e	: Basıklık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Samanyolu Gökadası ve bileşenleri: İnce disk (thin disk), kalın disk (thick disk), şişkin bölge (bulge) ve Galaktik Halo.	2
Şekil 1.2	ELS Gökada oluşum modeli temsili gösterimi.	3
Şekil 1.3	Galaksi oluşum modeli SZ senaryosuna ait temsili görsel.	4
Şekil 1.4	1 $M_{\odot}$ kütleli ve güneş metalisitesine sahip yıldızın anakoldan post-AGB koluna olan evrimi (Credit: Wikimedia Commons). Anakol (main sequence), altdev (subgiant branch) ve kırmızı dev kolu (red giant branch) evrim yolları temsili olarak gösterilmiştir. .	14
Şekil 3.5	Echelle bir kırınım şebekesi için temsili gösterim. Şebeke normali (yeşil kesikli çizgi) ile (blazed) yüzey normali (facet normal) arasındaki ϕ blaze açısı da temsili olarak gösterilmiştir.	24
Şekil 3.6	Kırınım şebekeli bir çapraz yayıcıya sahip 3000-10 000 Å dalgaboyu aralığında faaliyet gösteren HIRES echelle tayfçkeri ile elde edilen Güneş tayfı verilmektedir. Tayfçkerde ışığın izlemiş olduğu optik yol, temsili olarak gösterilmiştir. Görselde y-ekseni uzaysal doğrultuyu, x-ekseni ise yayma (dispersion) doğrultusunu gösterir. Karanlık bölgeler, soğurma çizgileridir.	25
Şekil 3.7	HD 8724 yıldızı için XSHOOTER ($R \sim 10\,760$, kırmızı) ve ELODIE ($R \sim 42\,000$, siyah) tayfları verilmektedir. Çözünürlük kaynaklı çizgi derinlik farkları açıkça görülmektedir.	26
Şekil 3.8	HD 8724 yıldızına ait ELODIE tayfı gösterilmektedir. Üst panel: Süreklilik ve dikine hız düzeltilmesi yapılmamış tayfı göstermektedir. Orta panel: Süreklilik ve dikine hız düzeltilmiş tayfı göstermektedir. Alt panel: orta panelde bulunan yeşil bölgeyi göstermektedir. Ek olarak analizde kullanılan element çizgileri de şekil üzerinde işaretlenmiştir.	27
Şekil 3.9	Tez kapsamında analizi gerçekleştirilen yıldızlara ilişkin tayf ve tayf üzerinde teşhis edilen çizgiler gösterilmektedir. Üst: HD 8724, orta: HD 63791, alt: HD 195633 yıldız tayfını temsil etmektedir. . .	28
Şekil 3.10	Dikine hız, teğetsel hız ve uzay hızını temsili gösterimi.	30

Şekil 3.11	iSpec arayüzü ile dikine hızları revize edilen ELODIE tayflarının CCF görselleri. Üst panel: HD 8724, $V_R = -2.23$ km/s; Orta panel: HD 63791, $V_R = -2.27$ km/s; Alt panel: HD 195633, $V_R = -2.19$ km/s.	31
Şekil 3.12	LIME kodu ile çizgi teşhisine dair bir görsel	33
Şekil 3.13	Moore (yeşil) ve Rowland (kırmızı) katalogları, HD 63791 tayfı üzerinde gösterilmektedir.	36
Şekil 3.14	Eşdeğer genişlik ölçümü. Eşdeğer genişliği ölçülen çizgi için uy- durulan Gauss fit de içerilmiştir.	38
Şekil 3.15	Atlas9 kodunun sonuç dosyası. 1 ile 22 satır arası model atmos- fer parametrelerini ve opasite kaynak anahtarlarını göstermektedir. Geri kalan satırlarda ise 72 katman için fiziksel parametreler gös- terilmektedir.	42
Şekil 3.16	Tayfsal anazli akış şeması	44
Şekil 3.17	SPECTRUM koduyla hesaplanmış ATLAS9 Castelli modelleri (3800 - 9000 Å) gösterilmektedir. T_{eff} : 3000 ile 50 000 K, $\log g$: 0 ile 5 cgs ve $[Fe/H]$: +0.5 ile -5 dex aralığındadır. x eksen sıcaklığı (T_{eff}), sol y eksen (yeşil nokta) $\log g$ değerini, sağ y eksen (mavi çizgi) ise metal bolluğunu $[Fe/H]$ temsil etmektedir.	46
Şekil 3.18	Şekil 3.17’de gösterilen grafiğin belirli sıcaklık aralığını (T_{eff} : 3000 ile 11 000 T_{eff} K) göstermektedir. x eksen sıcaklığı (T_{eff}), sol y eksen (yeşil nokta) $\log g$ değerini, sağ y eksen (mavi çizgi) ise metal bolluğunu $[Fe/H]$ temsil etmektedir.	47
Şekil 3.19	HD 63791 için iSpec ortamında segment aralıklarının manuel ola- rak yapılmasına ilişkin görsel	47
Şekil 3.20	Sol panal: büyüme eğrisi. sağ panel: çizgi profili. Şekil Yolalan (2019)’ın çalışmasından alınmıştır.	48
Şekil 3.21	Sağ el koordinant sistemi. GM: Galaksi merkezi, KGK: Kuzay ga- laktik kutbu, U, V ve W uzay hızı bileşenlerini temsil etmektedir. .	54

Şekil 3.22	MWPotential2014 potansiyeli altında galaktik dönme eğrisi (32 pc'ye kadar). Galaktik bileşenlerin (şişkin bölge, turuncu; disk, yeşil; halo, kırmızı) Galaksimizin toplam potansiyeline (mavi, MW) olan katkısı görülmektedir (Bovy 2015). X eksenı Galaksi merkezı göre Güneş'in indirgenmiş uzaklığını, Y eksenı ise Galaksi merkezinden uzaklığına bağılı olarak Güneş'in dairesel hızını temsil etmektedir.	55
Şekil 4.23	Alt seviye uyartılma potansiyeli ve indirgenmiş eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak HD 8724 yıldızı için atmosferik parametrelerin MOOG yıldız atmosfer kodu yardımı ile tayini. Alt ve üst paneldeki düz kesikli çizgiler, verilere en küçük kareler yöntemi ile yapılan uydurmaları temsil etmektedir.	58
Şekil 4.24	HD 8724 yıldızı için literatürde rapor edilen model parametreleri. Tez kapsamında elde edilen model parametreleri de hataları ile birlikte içerilmiştir.	59
Şekil 4.25	HD 8724 için ELODIE (siyah) yıldız tayfi ve tez kapsamında elde edilmiş model parametrelerle oluşturulan sentetik (kırmızı) tayfi. . .	61
Şekil 4.26	HD 8724 yıldızı için Kiel diyagramı. Kırmızı yuvarlak daireler, literatürde yıldız için rapor edilen T_{eff} $\log g$ değerleri ile göstermektedir.	62
Şekil 4.27	HD 8724 yıldızı için Castelli & Kurucz modeliyle eşleşen SED eğrisi (üst panel) ve model ile gözlemsel veriler arasındaki farklar (alt panel). Mavi daire sembolü gözlemsel parlaklıklardan hesaplanan akıları, mor elmas sembolü ise sentetik verileri göstermektedir. . .	66
Şekil 4.28	HD 8724 yıldızının Castelli&Kurucz (1993) model gridi hesaplanan T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$, d , R ve A_v parametreleri ve bu parametrelerin diğ er parametreler ile olan ilişkilerini gösterir corner plot. . .	68
Şekil 4.29	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızlarının kiel diyagramları üzerindeki konumları ve bu konumları en iyi ifade eden PARSEC eş-yaş eğrileri (üst paneller) ile Bayes istatistiğıyle tayin edilen yaşlarının olasılık fonksiyonlarına ait dağılımları (alt paneller). . .	70

Şekil 4.30	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için bu tez çalışması kapsamında hesaplanan yörünge parametre elemanı R_a , literatür karşılaştırılması ile birlikte sunulmuştur.	73
Şekil 4.31	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için bu tez çalışması kapsamında hesaplanan yörünge parametre elemanı R_p , literatür karşılaştırılması ile birlikte sunulmuştur.	73
Şekil 4.32	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için bu tez çalışması kapsamında hesaplanan yörünge parametre elemanı Z_{max} , literatür karşılaştırılması ile birlikte sunulmuştur.	74
Şekil 4.33	HD 8724 yıldızının Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daireler, yıldızların bugünkü konumu göstermektedir.	75
Şekil 4.34	NGC 5139 küresel kümesi için hesaplanan Galaktik yörünge noktalarının $Y - Z$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daire, küresel kümenin bugünkü konumunu göstermektedir.	76
Şekil 4.35	Alt seviye uyarılma potansiyeli ve indirgenmiş eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak HD 63791 yıldızı için atmosferik parametrelerin MOOG yıldız atmosfer kodu yardımı ile tayini. Alt ve üst paneldeki düz kesikli çizgiler, verilere en küçük kareler yöntemi ile yapılan uydurmaları temsil etmektedir.	77
Şekil 4.36	HD 63791 yıldızı için literatürde rapor edilen model parametreleri. Tez kapsamında elde edilen model parametreleri de hataları ile birlikte içerilmiştir.	78
Şekil 4.37	HD 63791 için ELODIE (siyah) yıldız tayfi ve tez kapsamında elde edilmiş model parametrelerle oluşturulan sentetik (kırmızı) tayfi.	79
Şekil 4.38	HD 63791 yıldızı için Kiel diyagramı. Kırmızı yuvarlak daireler, literatürde yıldız için rapor edilen $T_{eff} \log g$ değerlerini göstermektedir.	80
Şekil 4.39	HD 63791 yıldızı için Castelli&Kurucz eşleşen (bestfit) SED eğrisi (üst panel) ve model ile gözlemsel veriler arasındaki farklar (alt panel). Mavi daire sembolü gözlemsel parlaklıklardan hesaplanan akıları, mor elmas sembolü ise sentetik akı değerleri göstermektedir.	83

Şekil 4.40	HD 63791 yıldızının Castelli&Kurucz (1993) model gridi hesaplanan T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$, d , R ve A_v parametreleri ve bu parametrelerin diğer parametreler ile olan ilişkilerini gösterir corner plot.	84
Şekil 4.41	HD 63791 yıldızının Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daireler, yıldızların bugünkü konumu göstermektedir.	87
Şekil 4.42	Alt seviye uyartılma potansiyeli ve indirgenmiş eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak HD 195633 yıldızı için atmosferik parametrelerin MOOG yıldız atmosfer kodu yardımı ile tayini. Alt ve üst paneldeki düz kesikli çizgiler, verilere en küçük kareler yöntemi ile yapılan uydurmaları temsil etmektedir.	88
Şekil 4.43	HD 195633 yıldızı için literatürde rapor edilen model parametreleri. Tez kapsamında elde edilen model parametreleri de hataları ile birlikte içerilmiştir.	89
Şekil 4.44	HD 8724 için ELODIE (siyah) yıldız tayfi ve tez kapsamında elde edilmiş model parametrelerle oluşturulan sentetik (kırmızı) tayfi.	90
Şekil 4.45	HD 195633 yıldızı için Kiel diyagramı. Kırmızı yuvarlak daireler, literatürde yıldız için rapor edilen T_{eff} $\log g$ değerlerini göstermektedir.	91
Şekil 4.46	HD 195633 yıldızı için Castelli&Kurucz eşleşen (bestfit) SED eğrisi (üst panel) ve model ile gözlemsel veriler arasındaki farklar (alt panel). Mavi daire sembolü gözlemsel parlaklıklardan hesaplanan akıları, mor elmas sembolü ise sentetik akı değerleri göstermektedir.	94
Şekil 4.47	HD 195633 yıldızının Castelli&Kurucz (1993) model gridi hesaplanan T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$, d , R ve A_v parametreleri ve bu parametrelerin diğer parametreler ile olan ilişkilerini gösterir corner plot.	95
Şekil 4.48	HD 195633 yıldızı için Castelli&Kurucz modeliyle yıldız kütlelerinin belirlenmesi.	96
Şekil 4.49	HD 195633 Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daireler, yıldızların bugünkü konumunu göstermektedir.	98

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1	HD 8724, HD 63791 ve HD 196633 yıldızlarının ekvatorial koordinatları, Galaktik enlem ve boylamları, V bandındaki parlaklıkları, tayf türleri, ve ELODIE tayflarına ait veriler. ELODIE tayfları, rapor edilen dikine hız değerleri için düzeltilmişlerdir. Düzeltilmiş tayflar için bu hız değerleri Güneş tayfı kullanılarak çapraz ilişkilendirme (cross-correlation) yolu ile teyit edilmiştir.	32
Tablo 4.2	HD 8724, HD 63791, HD 195633 ve Güneş için hesaplanan model atmosfer parametreleri.	58
Tablo 4.3	HD 8724 yıldızı için hesaplanan element bollukları $[X/Fe]$ gösterilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen Güneş bollukları ve Asplund vd. (2009)'nin çalışmalarında elde ettikleri Güneş bollukları verilmektedir.	63
Tablo 4.4	HD 8724 yıldızı için Python tabanlı arayüz ve sentetik tayf kütüphanesi yardımı ile hesaplanan model parametreleri.	65
Tablo 4.5	HD 8724, HD 63791 ve HD195633 yıldızlarının SED ve tayfsal analiz sonuçları.	66
Tablo 4.6	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızlarının SED analiz sonuçları aşağıda verilmektedir. Parametreler sırasıyla: etkin sıcaklık, çekim ivmesi, metal bolluğu, uzaklık, yarıçap, sönmeme, yaş ve ısıtma.	67
Tablo 4.7	Metalce fakir ve yüksek öz hareketli iki yıldızın ekvatorial koordinatları, dikine hızları, öz hareket bileşenleri, trigonometrik paralaksı ve Güneş'ten uzaklıkları.	71
Tablo 4.8	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızları için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V), toplam uzay hızları (S), hatalarıyla birlikte verilmiştir. Uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı verileri LSR'ye göre hesaplanmıştır.	71
Tablo 4.9	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızları için hesaplanan galaktik yörünge parametreleri hatalarıyla birlikte verilmiştir.	72

Tablo 4.10	HD 8724 için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V) ve galaktik yörünge parametrelerinin literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılması.	72
Tablo 4.11	HD 63791 yıldızları için hesaplanan element bollukları $[X/Fe]$ gösterilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen Güneş bollukları ve Asplund vd. (2009)'nin çalışmalarında elde ettikleri Güneş bollukları verilmektedir.	82
Tablo 4.12	HD 63791 yıldızı için Python tabanlı arayüz ve sentetik tayf kütüphanesi yardımı ile hesaplanan model parametreleri.	83
Tablo 4.13	HD 63791 için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V) ve galaktik yörünge parametrelerinin literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılması.	86
Tablo 4.14	HD 195633 yıldızları için hesaplanan element bollukları $[X/Fe]$ gösterilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen Güneş bollukları ve Asplund vd. (2009)'nin çalışmalarında elde ettikleri Güneş bollukları verilmektedir.	92
Tablo 4.15	HD 195633 yıldızı için Python tabanlı arayüz ve sentetik tayf kütüphanesi yardımı ile hesaplanan model parametreleri.	93
Tablo 4.16	HD 195633 için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V) ve galaktik yörünge parametrelerinin literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılması.	97
Tablo 4.17	HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için hesaplanan ısıtma ve Bolometrik parlaklıklar.	99
Tablo 6.18	Bu çalışma kapsamında hazırlanan çizgi listesi için literatürden derlenen $\log gf$ değerlerine ilişkin referanslar.	117
Tablo 6.19	HD 8724 yıldızları için PASTEL kataloğunun (Saburan vd. 2016) 2020 yılı sürümü ve Simbad veritabanından derlenen model atmosfer parametreler.	118
Tablo 6.20	HD 63791 yıldızları için PASTEL kataloğunun (Saburan vd. 2016) 2020 yılı sürümü ve Simbad veritabanından derlenen model atmosfer parametreler.	119

Tablo 6.21 HD 195633 yıldızları için PASTEL kataloğunun (Saburan vd. 2016) 2020 yılı sürümü ve Simbad veritabanından derlenen model atmosfer parametreler.	120
---	-----

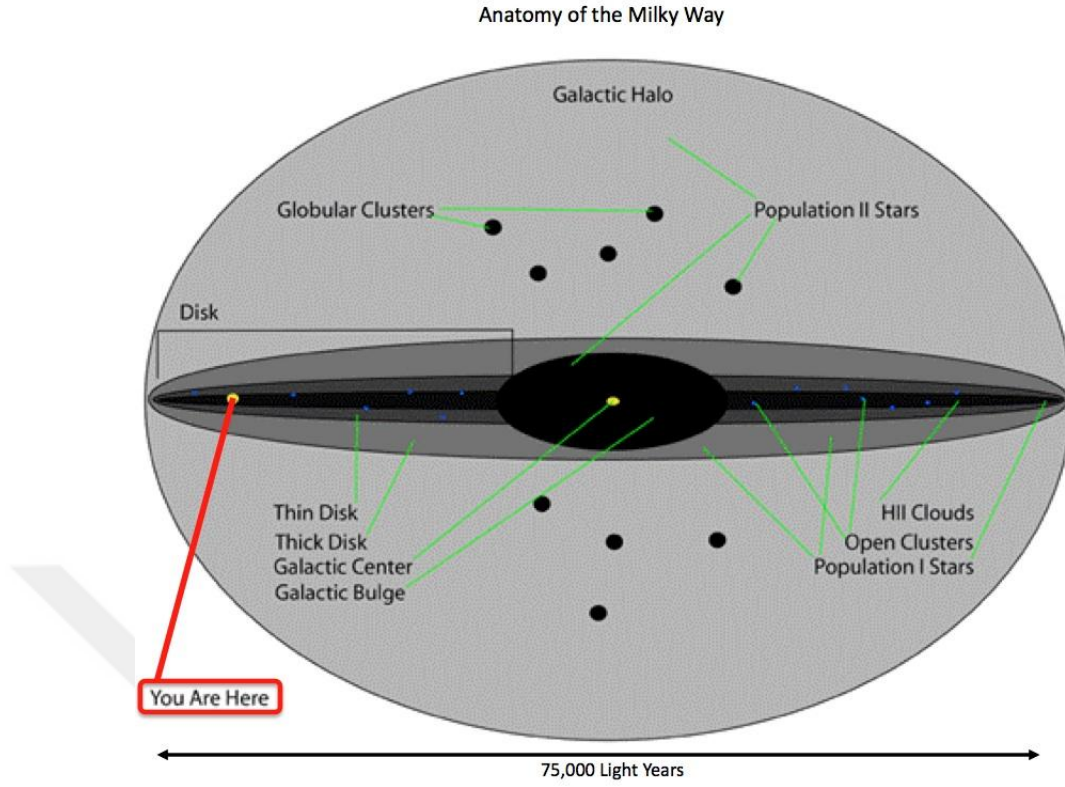


1. GİRİŞ

1.1. Gökada Oluşum Senaryolarına Kısa bir Bakış ve Güneş Komşuluğu

Evrenin oluşumu Büyük Patlama (Big Bang) senaryosu ile açıklanır. Patlama sonrası geriye kalan saf gaz %75 Hidrojen (H), %25 Helyum (He) ve çok az bir miktarda Litium (Li) içermektedir. İlk jenerasyon yıldızlar (Pop III), bu üç elementten (çoğunlukla H) oluşmuştur ve öteklerinde gelişen termo-nükleer reaksiyonlar ile demire (Fe) kadar olan elementleri üretmişlerdir. Pop III yıldızlarının büyük kütleleri nedeni ile yaşam ömürlerinin de kısa olması beklenir (Bromm vd. 2002). Ömürlerinin sonlarına geldiklerinde merkez bölgelerinde üretmiş oldukları metalleri (H ve He'dan daha ağır olanlar elementler) yakın çevrenlerine aktarırlar. Takip eden süreçte doğacak yeni nesil (Pop II) yıldızların (RR Lyrae yıldızları, küresel küme yıldızları, PNe) kimyasal kompozisyonlarında tespit edilen farklılıkların da ata Pop III yıldızları kaynaklı oldukları düşünülmektedir. Böylece Pop II yıldız atmosferleri, doğdukları bulutu temsil eden kimyasal kompozisyona dair önemli izler taşırlar. Bu özellikleri ile bu yıldızların aslında evrenin erken zamanlarını (elementlerin evrimi ve oluşan çekirdek sentez tepkimeleri bakımından) temsil ettikleri söylenebilir. Özellikle büyük kütleli Pop II dikkate alındığında bu yıldızların yaşam sürelerinin kısa olduğu ve erken evrimleştikleri gözlenir. Pop II yıldızları da ömürlerinin sonuna geldiklerinde yaşamları boyunca merkezlerinde ürettikleri elementleri yıldızlararası ortama yayarak bu ortamı metalce zenginleştirirler. Metal bolluğu bakımından nispeten zenginleştirilmiş böylesi bir ortamda oluşan yeni yıldız grupları ise Popülasyon I (Pop I) yıldızları (açık küme yıldızları, parlak süperdev yıldızlar, O ve B tayf türünden yüksek ışıma güçlü anakol yıldızları) olarak bilinir ve Gökada merkezi etrafında dairesel yörüngelerde hareket ederler.

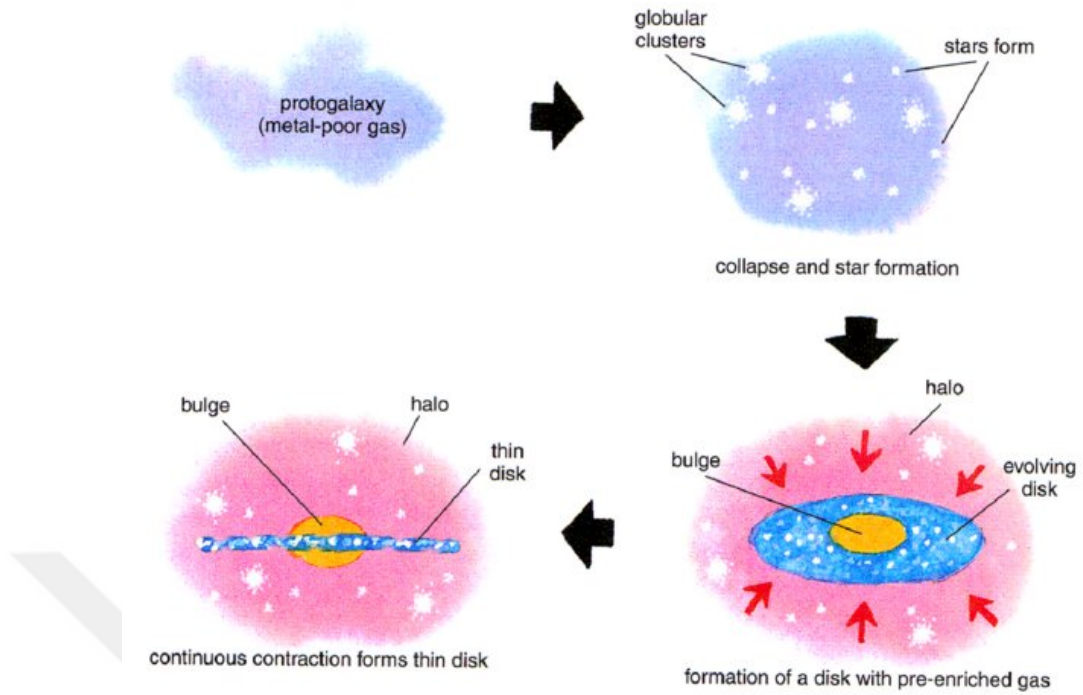
Walter Baade'nin daha ikinci dünya savaşı yıllarında M31 gökadası için disk ve bulge (merkezi şişkin bileşen) bileşen olarak tanımlamış olduğu iki bileşenli Galaktik yapı, günümüzde ince disk (Baade'nin Pop I bileşeni), kalın disk, bulge ve halo (Baade'nin Pop II bileşeni) olmak üzere dört bileşenli bir yapıya evrilmiş bir hal almıştır (bkz. Şekil 1.1; Wyse ve Gilmore 1992). İnce disk, gaz ve tozun çok yoğun olduğu ve yıldız oluşumunun devam ettiği Gökada bileşenidir. Metal bolluğu bakımından zengin yıldızlar barındıran ince diskte, Pop I yıldızları ve açık kümeler yer alır. İnce diskin hemen üye-



Şekil 1.1. Samanyolu Gökadası ve bileşenleri: İnce disk (thin disk), kalın disk (thick disk), şişkin bölge (bulge) ve Galaktik Halo.

rinde yer alan kalın disk, ince diske kıyasla daha yaşlı ve metalce fakir yıldızları içeren Galaktik bileşendir. Merkezi şişkin bölgenin (Galactic Bulge) ise çok yoğun gaz ve toz ile çevrelenmiş olması nedeni ile optik olarak gözlemlenmesi zordur (Schlegel vd, 1998). Bu bileşen, yaşlı ve düşük metal bolluğuna sahip yıldızların yanı sıra genç ve metalce zengin yıldızları da içerir. Halo bileşen ise Samanyolu Gökadasının en büyük boyutlu bileşeni olma özelliğine sahiptir ve metalce fakir küresel kümeler (Globular Clusters) ile birlikte alan yıldızlarına da ev sahipliği yapar. Gökadanın yaşlı ve metalce fakir yıldızları halo bileşende konumlanmıştır. Bu nedenle bu bileşen Galaksimizin oluşumu ve evrimine yönelik çalışmalar için kritik bir öneme sahiptir. Gerek kinematik gerek ise element bolluk analizleri, halo yıldızlarının uzay dağılımlarının anlaşılması açısından önemlidir ve Samanyolu Gökadasının halo bileşeninde bulunan küresel kümelerin, Gökadamızda oluşan ilk nesneler olduğu düşünülmektedir.

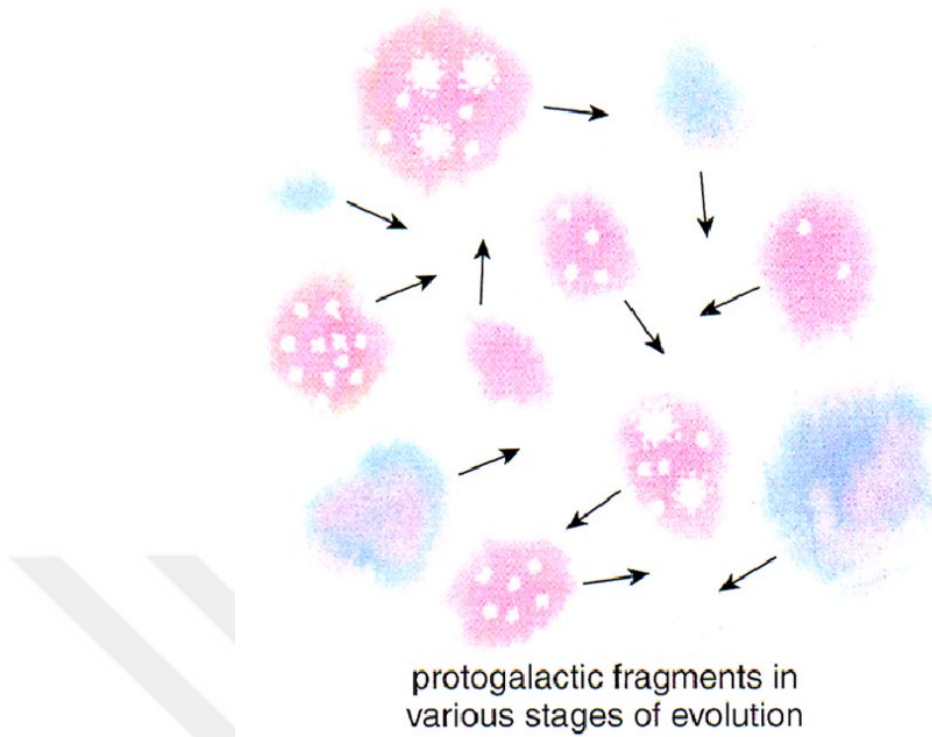
Galaksimizin bileşenlerinin oluşumu büyük bir merak konusudur. Galaktik bileşenlerin fiziki doğalarının ve kimyasal yapılarının anlaşılması ancak yıldız bazında gerçekleş-



Şekil 1.2. ELS Gökada oluşum modeli temsili gösterimi.

tirilecek tayfsal çalışmaların sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi ile mümkündür. Olin Eggen (E), Donald Lynden-Bell (L) ve Allan Sandage (S) tarafından 1962 yılında ortaya atılan **ELS** senaryosu uyarınca Samanyolu Gökadası, yavaşça dönmekte olan bir gaz bulutunun son derece kısa bir zaman zarfında çökmesi sonucu oluşmuştur. ELS modeli, Gökadamızın metalce fakir bir protogalakitik gaz bulutunun kütleçekimi altında çökmesi sonucu oluştuğunu öngörmektedir (Şekil 1.2). Buna göre bu gaz bulutu içerisinde yeni oluşan yıldızlar, çöken buluttaki gazın kinematik özelliklerini koruyarak Gökada merkezi etrafında eksantrik (yüksek e değerli) yörüngeler izlediler ve Halo'nun Pop II yıldızlarını ve küresel kümeleri oluşturdular. Bulut büzüldükçe kütleçekimsel çökme enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşmüş ve çökmekte olan bulutun dönme hızı da açısal momentum korunumu nedeniyle bir artış göstermiştir. Bahsedilen bu değişiklikler, bulutun tercihsel olarak dönme eksenini boyunca çökmesine ve giderek daha düz (yassı) bir morfoloji kazanmasına neden olmuş ve böylelikle disk bileşen oluşmuştur. Fakat Gökadamızda gerçekleştirilen gözlemsel çalışmalar ışığında modelde belirtildiği üzere tüm bu çökme sürecinin sadece 300 milyon gibi kısa bir sürede gerçekleşmiş olması pek olası gözükmemektedir.

1978'de Leonard Searle (S) ve Robert Zinn (Z), Halodaki küresel kümeleri incelemiş



Şekil 1.3. Galaksi oluşum modeli SZ senaryosuna ait temsili görsel.

ve bu nesnelerin metalisitelerinde ($[Fe/H]$) büyük bir tutarsızlık olduğunu fark etmişlerdir. Searle ve Zinn'e göre metalisiteleri tabanında bazı küresel kümeler diğerlerinden daha yaşlı görünüyordu. Nitekim öncesinde Harris (1976) tarafından rapor edildiği üzere $[Fe/H] < -1$ dex değerinde metalisite değerlerine sahip küresel kümelerin neredeyse küresel bir formda sergilemiş oldukları uzay dağılımları, aynı zamanda Gökadanın şekli ve boyutları hakkındaki ilk gözlemsel ipuçlarını da sağlar nitelikteydi. Buna karşılık yakın geçmişte özellikle -1 dex'ten düşük metalisiteli küresel kümelerin Gökada merkezine doğru kümelenmiş olduklarının tespit edilmiş olması bu kümelerin bulge veya Gökadanın kalın disk bileşenine ait olup olmadıkları konusunda bir şüphe oluşturmuştur. Ufuksal kol morfolojileri incelendiğinde metalce fakir küresel kümeleri genç ve yaşlı gruplar olarak sınıflandırmak da mümkündür. Yaşlı gruptaki küresel kümelerin daha düzlemsel (flatter) bir dağılım (metalite gradyeni) ve zayıf bir –prograde– dönme sergiledikleri buna karşın bir metalite gradyeni göstermeyen nispeten genç küresel kümelerin ise tıpkı Galaktik düzlemden çok uzaktaki halo yıldızları gibi küresel bir dağılım gösterdikleri ve 60 km/s lik net bir –retrograde– dönme hızına sahip oldukları rapor edilmiştir. Küresel kümelerin

yaşlarında Searle ve Zinn tarafından rapor edilmiş olan bu farklılık, bu nesnelerin ELS modelinin öngördüğü gibi nispeten kısa zaman ölçeğinde oluşamayacakları anlamına gelmekteydi. Searle ve Zinn, ELS ile ortaya konan tek bulutlu bir çöküş senaryosuna ilave olarak halonun, içerisinde yıldız ve küresel kümelerin oluşmakta olduğu birçok bulut parçasının (proto-galactic fragments) bir araya gelmesiyle oluştuğunu öne sürmüşlerdir (Şekil 1.3). Öyle ki bu bulut yumaklarının bağımsız evrimsel geçmişlere sahip olmaları nedeni ile farklı yaşlarda nesneler barındırmaları olasılık dahilinde görülmekteydi. Searle ve Zinn (SZ) modeli, cüce gökadalara (dwarf galaxies) Samanyolu ile günümüze kadar etkileşmeye (çarpışmaya) devam ettiğine işaret eden gözlemsel bulgularla doğrulanmıştır. Bu cüce gökadalara, Samanyolu'nun evriminin erken dönemlerinde onun bir parçası olmayı başaramamış bulut parçalarında da evrimleşmiş olabilirlerdi. Bu aşamada şu husus not edilmelidir ki güncel gözlemler ışığında halo bileşeninin iç halo ($[Fe/H] \approx -1.6$ dex, De Jong vd. 2010, Youakim vd. 2020; uzaklıkları < 10 kpc) ve dış halo ($[Fe/H] \approx -2.2$ dex, De Jong vd. 2010; uzaklıkları > 15 kpc) olmak üzere iki bileşenli yapıdadır. Bu iki bileşenli yapı dikkate alındığında dış halo bileşeninin düşük kütleli cüce Gökadalar ile Samanyolu Gökadası arasında gerçekleşen bir yığılma süreci sonucunda oluştuğunu öngören senaryoların da olağan karşılanması gerekir (Koppelman vd. 2019). Gerçekte özellikle halodaki hareketli gruplar (moving groups), halo bileşen ile ilgili olarak bu olası yığılma senaryosu hakkında önemli bilgiler sağlamıştır (Eggen 1987; Majewski, Munn, ve Hawley 1994). Gerçekleştirilen simülasyonlar neticesinde Samanyolu Gökadasını dolanan cüce gökadalara, Gökada kaynaklı çekimsel bozunumlar (tidal break up) yolu ile yapısal olarak parçalanabileceğini ve hareketli grupların bu parçalanma sonucu oluşabileceklerine dair ipuçları vermektedir. Yakın geçmişte Yay takımı yıldızı doğrultusunda Gökada merkezinden 16 kpc uzaklıkta ve -14 kadirlik bir görsel parlaklığa sahip yay cüce gökadasının (Sgr dSph) tam da böylesi bir süreç ile evrimleştiği düşünülmektedir. Bu cüce gökadanın çok renkli ışıkölçüm ve dikine hız gözlemleri sayesinde çekimsel bozunma nedeniyle parçalanmakta olduğu gözlemsel olarak net bir şekilde ortaya konmuştur. Sgr dSph, milyarlarca yıldır galaktik düzlem etrafında süregelen yörünge hareketi nedeni ile her geçişinde kütesinin bir kısmını dış uzaya kaybetmektedir (Ibata, Gilmore ve Irwin 1994; Irwin vd. 1996). Bu cüce gökadanın, $10^8 M_{\odot}$ lık orta yaşlı ve yaşlı yıldız katkısına ek olarak Messier 54 (M54)'ü de içerecek şekilde dört küresel küme ile Gökadamız

halosuna katkı sağlayacağı öngörülmüştür ki günümüzde M54'ün, Sgr cüce gökadasının bir parçası olduğu ve samanyoluna ait olmadığı açık bir şekilde ortaya konmuştur. ELS modeli ile ilgili izahata devam edecek olursak; özetle ELS modeli, özellikle halo ve bulge bileşen için hızlı ve dağınık bir çökme süreci öngörmektedir. Bu model çerçevesinde cüce gökadarlar ile birleşme sürecinin haloya maddesel katkıda bulunulmuş olması ancak bu birleşme sürecinin ince diskin oluşumu öncesinde gerçekleşmiş olması koşulu ile kabul edilebilirdi fakat ELS'nin aksine ince disk, halodan bağımsız bir şekilde ve yüksek açısal momentuma sahip bir gaz bulutunda oluşmalıydı. Buna göre ilk nesil ince disk, yaklaşık 10 milyar yıl önce gelişen Galaktik birleşme süreçleri ile daha da kalınlaşmış olmalıydı. Diske eklenen bu yeni gaz ile içerisinde Güneş'in oluşumuna öncülük edecek yeni bir gaz ve toz disk formasyonu mümkün gözükmekteydi. Akabinde Cristina Chiappini tarafından geliştirilen ikili çökme modelinde ise önce halo ve kısmi olarak da kalın disk oluşmuş ve Halo'da ki gaz yoğunluğu belirli bir eşik değerin altına düşünceye kadar halodaki yıldız oluşum süreci devam etmiştir. Cristina Chiappini'nin son derece etkin bir yıldız oluşum oranı (star formation rate) öngörüyor olması nedeni ile bu çökme senaryosu, halodaki gazın tamamen tükenmiş olması gerekliliğini vurgulamaktaydı. Halo tarafından kaybedilen bu gaz, merkezde kümelenerek bulge bileşeni oluşturmuş, halo oluştuktan ve yıldız oluşum süreci sona erdikten sonra gelişen ikinci çökme süreci ise ince diski oluşturmuştu. Tabii ki bu çökmenin küçük bir gökada ile birleşmenin bir sonucu olarak da gerçekleşmiş olması muhtemeldi. Bu aşamada güncel durumu yansıtmak açısından gerçekleştirilen yakın tarihli yıldız sayımlarının kalın disk bileşenin Galaktik diskten 1 ila 1.5 kpc lik bir ölçek yüksekliği (scale height) içerisinde bir uzay dağılımı vurguladığını belirtmek faydalı olacaktır. Öte yandan, yürütülen kinematik çalışmalar çerçevesinde değerlendirildiğinde kalın disk bileşenin Galaktik halo bileşenden daha yavaş (40 km/s kadar) dönmekte olduğu tespit edilmiştir (Gilmore vd. 1989). Bu durum kalın disk bileşenin halo bileşen ile değil ince disk bileşen ile ilişkilendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Halo yıldızları metalce daha fakir yıldızlardan oluşmaktadır ve kalın disk yıldızları için literatürde rapor edilen karakteristik metalisite değeri ($[Fe/H] = -0.6$ dex) gözönüne alındığında kalın disk bileşenin neden halo bileşenden belirgin olarak ayrıştığı daha da iyi anlaşılacaktır. Galaktik halo bileşen, sadece küresel kümeleri değil Güneş komşuluğundaki metalce fakir ve yüksek uzay hızlı yıldızları ve yüksek Galaktik enlemli metalce

fakir yıldızları da bünyesinde barındırmaktadır. Gökadanın en yaşlı bileşeni olması itibarı ile de Samanyolunun oluşumuna dair önemli izler taşıyan bu bileşende örneğin Güneş komşuluğunda gözlenen metalce fakir alt cüce yıldızlar incelendiklerinde Güneş ve diğer disk yıldızlarına göre nispeten büyük uzay hızları sergiledikleri görülür. Galaktik merkez etrafında yüksek derecede eksantrik yörüngelerde dolanan bu yıldızlar için metalisitenin $-3 < [\text{Fe}/\text{H}] \text{ (dex)} < -1$ aralığında değiştiği gözlenir. Bu aşamada zamanlarının çoğunu Galaktik diskten uzakta (üstünde veya altında) geçiren halo yıldızlarının eliptik Galaktik yörüngeleri nedeni ile bazı durumlarda disk bileşen boyunca yörünge hareketlerine devam etmeleri ve bu nedenle de Güneş komşuluğunda tespit edilmiş olmaları mümkündür. Bu nispeten güncel bilgi notları sonrasında Chiappini tarafından önerilen model ile ilgili ayrıntılar incelenmeye devam edildiğinde Chiappini'nin, ikili çökme modeli çerçevesinde ince disk yıldızları için bir yaş ta öngörmekte olduğu görülecektir. Chiappini, ince disk yıldızları için yaşı değerlendirmek amacı ile Güneş komşuluğundaki G-tayf türünden cüce yıldızların metalisite dağılımlarını kullanmıştır. Çünkü her yeni yıldız nesli içerisinde belirli sayıda G-cüce yıldızı doğuyor ve bu durum herbir neslin metalisitesinin birbirinden farklı (metalite artışı) olmasını gerektiriyordu. Çünkü yıldızlararası ortam bir önceki nesil yıldızların ölümleri ile zenginleştiriliyordu. G-cüce yıldızların ömürleri bu yıldızların günümüzde de gözlenebilir olmalarına olanak sağlayacak kadar uzundur. Böylelikle yıldız oluşum oranı ve metallerin yıldızlararası ortama kazandırılması gibi faktörleri içeren kimyasal evrim modellerinin yardımı ile G-cüceleri için belirlenecek metalite dağılımı, Gökadanın zenginleşme oranını ve bu zenginleşmenin Güneş'in konumundaki ince disk formasyonunun tamamlanması için ne kadarlık bir zamana gereksinim duyulduğunun belirlenmesi aşamasında güvenilir bir araç halini alacaktır. Tüm bu aktarılanlara ek olarak diskin ince ve kalın disk olarak iki bileşenli yapısı bilindiği üzere ilk olarak Gilmore ve Reid (1983) tarafından önerilmiştir. Gilmore ve Reid (1983), yıldız sayımları temelinde Güneş komşuluğundaki 300 pc lik bir ölçek yüksekliği içerisindeki yıldızları ince disk yıldızları ve 1450 pc ölçek yüksekliğindeki yıldızları ise kalın disk yıldızları olarak tanımlamıştır. İnce disk yıldızları kalın disk yıldızlarına göre sayıca fazladır. Literatürde bu galaktik bileşenlere ait ölçek yükseklikleri ve hatta içermiş oldukları yıldız yoğunluklarına ilişkin alternatif değerler veren çalışmalara rastlamak mümkündür (Buser vd. 1999; Ojha 2001; Cabrera vd. 2005; Juric vd. 2005).

Gökadanın disk ve halo bileşeni ile aktarılanlara ek olarak önceleri Pop II yıldızları ile ilişkilendirilen bulge bileşen ise metalce zengin bir yapıda halo bileşenden ayrışır. En yüksek yıldız yoğunluklarının tespit edildiği Gökadanın merkezi şişkinliğinde az sayıda sıcak, genç yıldız vardır. Merkezi şişkinlik yıldızlarının çoğu 10 milyar yıldan daha yaşlı yıldızlardır ve yakın yaştaki halo yıldızlarının aksine tayflarında Güneş kompozisyonuna benzer ağır element bollukları sergilerler. Samanyolu Gökadasının oluşumunu takip eden süreçte çok sayıda yıldız içeren bu kalabalık merkezi şişkinlik bölgesindeki yıldız oluşumunun çok hızlı gerçekleştiği düşünülmektedir. Oluşumdan sadece birkaç milyon yıl sonra, ilk nesil büyük ve kısa ömürlü yıldızlar, maruz kalmış oldukları süpernova patlamaları nedeni ile içerdikleri ağır elementleri dış uzaya aktarmışlar ve böylece sonraki nesil yıldızları ağır elementlerce zenginleştirmişlerdir. Buna karşılık, sadece Güney Yarımküreden görülebilen ve Samanyolu'na uydu bir gökada olan Küçük Macellan Bulutsusu'nda (Small Magellanic Clouds, SMC) ise tam tersi bir durum ile karşılaşmıştır: SMC'de en geç yıldızların bile ağır elementçe fakir oldukları tespit edilmiştir. Bunun nedeninin SMC'de nispeten yavaş seyreden yıldız oluşum süreci olduğu düşünülmektedir. Bu aşamada nispeten küçük kütleli gökadalardan, bünyelerinde gelişen süpernova patlamaları ile salınan metalce zengin bu gaz içeriği yıldız bünyelerinde geri dönüştürülmesine fırsat vermeyecek derecede düşük bir çekim kuvvetine sahip olmaları nedeni ile kaybetmiş olmaları muhtemeldir.

Son zamanlarda kalın ve ince disk yıldızlarının kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması üzerine temellendirilmiş tayfsal çalışmalar (örneğin Gratton vd. (1996); Fuhrmann 1998) bu bileşenlere olan bakışımızı farklı bir boyuta taşımıştır. Örneğin Gratton vd. (1996), kalın disk yıldızları için tespit edilen $[O/Fe]$ ¹ oranlarının ince disk yıldızları için rapor edilen değerlerden farklı olduğunu fakat kalın disk ve halo yıldızları için benzerlik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Benzeri bir durum Fuhrmann (1998) tarafından Mg elementi için rapor edilmiştir: $[Mg/Fe]$ bolluk oranının aynı metalisiteye sahip ince ve kalın disk yıldızları olan orta tayf türünden (F ve G tayf türü) cüce yıldızlar için belirgin bir şekilde farklılık gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Takip eden dönemlerde

¹Köşeli parantez notasyonu X ve Y gibi iki elemente ait kimyasal bolluk oranlarının ifade edilmesinde takip eden şekilde kullanılmıştır: $[X/Y] = \log[N(X)/N(Y)] - \log[N(X)/N(Y)]_{\odot}$, burada N sayı yoğunluğunu (number density) temsil etmektedir.

bu çalışmaların ince ve kalın disk yıldızları üzerine çok sayıda farklı tayfsal çalışmayı tetiklemiş olduğu görülmektedir (Prochaska vd. 2000; Feltzing, Bensby ve Lundstrom 2003, Reddy vd. 2003; Bensby, Feltzing ve Lundstrom 2003, 2004; Bensby vd. 2005; Mishenina vd. 2004). Sıralanan bu çalışmalarda incelenen yıldız sayılarının son derece az olması dikkat çekicidir. Prochaska vd. (2000) tarafından 10 adet yıldız, Bensby vd. (2003, 2005) tarafından 36 adet yıldızın ve Mishenina vd. (2004) tarafından ise 30'dan daha az sayıda yıldızın analiz edilmiş olduğu görülmektedir. Prochaska vd. (2000) tarafından gerçekleştirilen tayfsal taramada $[Mg/Fe]$ için rapor edilen bulgunun aksine Ni benzeri elementler (Na, Mn, Cr, Ni ve Cu) için $[X/Fe]$ oranının ince ve kalın disk yıldızları için değişmediği gözlenmiştir. Özellikle Na, Cr ve Ni için benzeri davranış Bensby vd. (2005) tarafından da tespit edilmiştir. Kalın disk yıldızlarının 1 dex'lik bir $[Fe/H]$ aralığı kapsadıkları gözönüne alındığında bahsi geçen tüm bu örneklem yıldızlar bir arada değerlendirilmiş olsalar dahi bu sayı, belirtilen 1 dex'lik metalisite aralığında, ince ve kalın disk yıldızlarının kimyasal kompozisyonları arasındaki farklılıkların anlaşılması aşamasında yeterli olmayacaktır. Çok sayıda yıldızla ilişkin analizleri mümkün kılan gökyüzü tarama programları kapsamında gerçekleştirilen tayfsal çalışmalar incelendiğinde ise karşımıza farklı bir resim çıkmaktadır. Örneğin, Sloan Sayısal Gökyüzü Tarama programı (SDSS) (York vd. 2000; Adelman, McCarthy vd. 2006) kapsamında Galaktik diskten birkaç kpc mesafede onbinlerce kalın disk yıldızı çok düşük tayfsal çözünürlükte gözlenmişler fakat bu tayflar kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmalarda element bolluk oranlarının ya az sayıda element için ya da sadece demir bollukları ($[Fe/H]$) için rapor edilmiş oldukları görülmüştür (Prieto vd. 2006). Bu aşamada, bir yıldızın disk veya halo bileşen yıldızı olarak tanımlanması için yıldızın kimyasal kompozisyonu kadar kinematik özelliklerindeki farklılıkların da gözönüne alınması önemlidir. Galaksimizin ince ve kalın disk bileşen üyeleri için α -element bollukları bu kapsamda değerlendirildiklerinde ayırt edici bir rol üstlenir (Bensby vd. 2003, 2005, 2014; Reddy vd. 2003; 2006, Nissen ve Schuster 2011, Adibekyan vd. 2012a; 2012b; 2012c, Karaali vd. 2016; 2019, Plevne vd. 2020): Kalın disk yıldızlarının α - elementlerince zengin bir kompozisyon sergiledikleri görülür. İlave olarak Güneş civarındaki metalce fakir yıldızların çoğu gökadanın ince disk bileşenine üyedir fakat bu yıldızların bir kısmının aynı zamanda galaksimizin kalın diskiyle ilişkili oldukları anlaşılmıştır. Yani Güneş civarında, ince disk popülasyonu dışında metalce fakir

yıldızlarda bulunmaktadır. Buradan hareketle, Güneş komşuluğundaki yıldızların, çoğunlukla Galaktik disk yıldızı ve az sayıda halo yıldızından oluşan karma bir yıldız gurubu üyesi oldukları anlaşılmaktadır. Genel erişime açık (yer tabanlı gözlemler ile oluşturulmuş) mevcut tayf kütüphaneleri incelendiğinde bu yıldızların ancak sınırlı bir uzay hacmi içinde bulunanları için tayfsal veri erişiminin mümkün olduğu görülür. Alternatif veri kaynağı olarak uydu veri arşivleri incelendiğinde ise karşılaşılan durum daha da ilginç bir hal alır: örneğin Gaia uydusu son derece hassas astrometrik ve fotometrik ölçümler yapmakta fakat orta ve düşük çözünürlükte gerçekleştirdiği tayfsal gözlemler yardımı ile farklı popülasyonlara üye yıldızların aynı hassasiyet ile incelenmesine imkan vermeyecektir. Bir başka deyiş ile Gökadamızda kalın disk ve halo popülasyonlarındaki yıldızlar astrometrik ve fotometrik olarak duyarlı incelenirken tayfsal olarak bu inceleme istenilen (arzu edilen) düzeyde olmayacaktır. Sonuç olarak hem astrometrik hem fotometrik hem de tayfsal olarak incelenecek en iyi yıldız örnekleri ancak Güneş komşuluğu ile sınırlı kalacaktır ve Güneş komşuluğundaki metalce fakir yıldızların analizleri, bu türden yıldızların kökenlerinin anlaşılması aşamasında önemli bir rol oynayacaktır. Metalce fakir cüce ve evrimleşmiş yıldızlar, aynı zamanda tayflarında gözlenen dar ve az sayıdaki atomik ve/veya moleküler geçişler ile de iyi birer örneklem oluştururlar. Güneş komşuluğundaki yıldızlar için vurgulanması gereken bir başka ilginç husus ise güneş civarındaki az sayıda yıldız için tespit edilen yaşların büyük ve metal bolluklarının ($[Fe/H]$) düşük olmaları nedeniyle birer halo yıldızları olduklarının düşünülmesidir (Bilir vd. 2006, 2012). Tez çalışması kapsamında Güneş komşuluğunda seçilen tez yıldızları aynı zamanda yüksek öz hareketlere (High Proper Motion, HPM) sahip metalce fakir yıldızlardır. Yakın geçmişe kadar metalce fakir yıldızlar için hazırlanan yıldız listelerinin, çok küçük bir uzay hacim içerisinde konumlanmış yüksek öz harekete sahip yıldızları içeren kataloglardan temin edildiği göz önünde bulundurulduğunda seçilen örneklem yıldızlarının yüksek öz harekete sahip yıldızlar olmaları elbette beklenen bir özelliktir. Bilindiği üzere yüksek öz hareketli yıldızlara ait katalogların taranması sadece bilinen metalce fakir yıldızların sayısını artırmakla kalmayıp aynı zamanda aşırı metalce fakir (extremely metal-poor, EMP) olarak nitelendirilen yıldız gruplarının da ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır (Ryan, Norris ve Bessell 1991; Beers, Preston ve Schectman 1992; Christlieb vd. 1999; Norris, Ryan ve Beers 2000). Güneş komşuluğundaki yıldız örneklerinin (sayıları az olan Güneş civarındaki

metalce fakir yıldızların) çalışılması ile elde edilecek element bollukları, aynı zamanda Samanyolu'nun mevcut yapısının, oluşumunun ve evriminin incelenmesine de imkan tanıyacaktır (Chiba & Beers 2000, 2001; Freeman & Bland-Hawthorn 2002; Nordström vd. 2004; Bensby vd. 2003, 2005, 2014; Reddy vd. 2003, 2006; Beers & Christlieb 2005; Nissen ve Schuster 2011; Adibekyan vd. 2012a, 2012b, 2012c; Karaali vd. 2016, 2019; Plevne vd. 2020).

Bu tez çalışmasında, 121F265 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında Galaktik kökenlerinin belirlenmesi planlanan 90 adet G-tayf türünden metalce fakir ($-2.5 < [\text{Fe}/\text{H}]$ (dex) < -0.5) ve yüksek öz hareketli ($\mu_{\text{top}} > 100$ mas/yıl) yıldızı içeren örneklem arasından seçilen HD 63791, HD 8724 ve HD 195633 yıldızlarına ilişkin tayfsal (1D; Local Thermodynamic Equilibrium - Yerel Termodinamik Denge), kinematik ve yörünge dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. ELODIE tayf kütüphanesi içerisinde yer alan ve belirtilen metaliyte ve öz hareket kriterini sağlayan G tayf türünden yıldız sayısı 33 adettir. Proje kapsamında ELODIE örneklem anakol ve dev yıldızları arasında bahsi geçen metaliyte ve yüksek öz hareket kriterini sağlayan 33 yıldız arasından temsili olarak seçilen HD 63791, HD 8724 ve HD 195633 yıldızları için literatürde rapor edilen model atmosfer parametrelerinde büyük değişimler tespit edilmiştir. Bu nedenle henüz fiziki doğalarına yönelik karakteristik özellikleri (kinematik, dinamik ve kimyasal kompozisyon temelli) ve kökenleri anlaşılamamıştır. Bununla birlikte, tez yıldızları için uygulanan analiz yöntemleri, TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında incelenen diğer proje yıldızlarına yönelik analizler için de temel teşkil etmektedir. Gerçekleştirilen duyarlı model parametre ve element bolluk tayinleri (örn. $[\text{Element}/\text{Fe}]$ oranları, $[\alpha/\text{Fe}]$) yardımı ile hesaplanan duyarlı yaş ve yörünge parametreleri ile Güneş komşuluğundaki bu yıldızların fiziki doğalarının anlaşılması aşamasında literatüre önemli bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Güneş komşuluğundaki metalce fakir yıldızlar üzerine gerçekleştirilecek bu tür çalışmaların aynı zamanda yıldız astrofiziği ve galaksi astrofiziği arasında bir köprü vazifesi görmesi muhtemeldir. Örneğin, tez yıldızları için Kinematik temelli olarak gerçekleştirilen popülasyon ayrımları tez yıldızları için belirlenen α ve Fe bolluklarıyla test edilmiştir. Tez yıldızlarının tayfsal, kinematik ve yörünge dinamik verileri, Güneş komşuluğundaki metalce fakir ve yüksek öz hareketli (HPM) bu kaynaklar için Galaksimizdeki küresel kümeler ve Galaksimizin çevresinde yer alan uydu cüce galaksiler ile olası köken durumlarının araş-

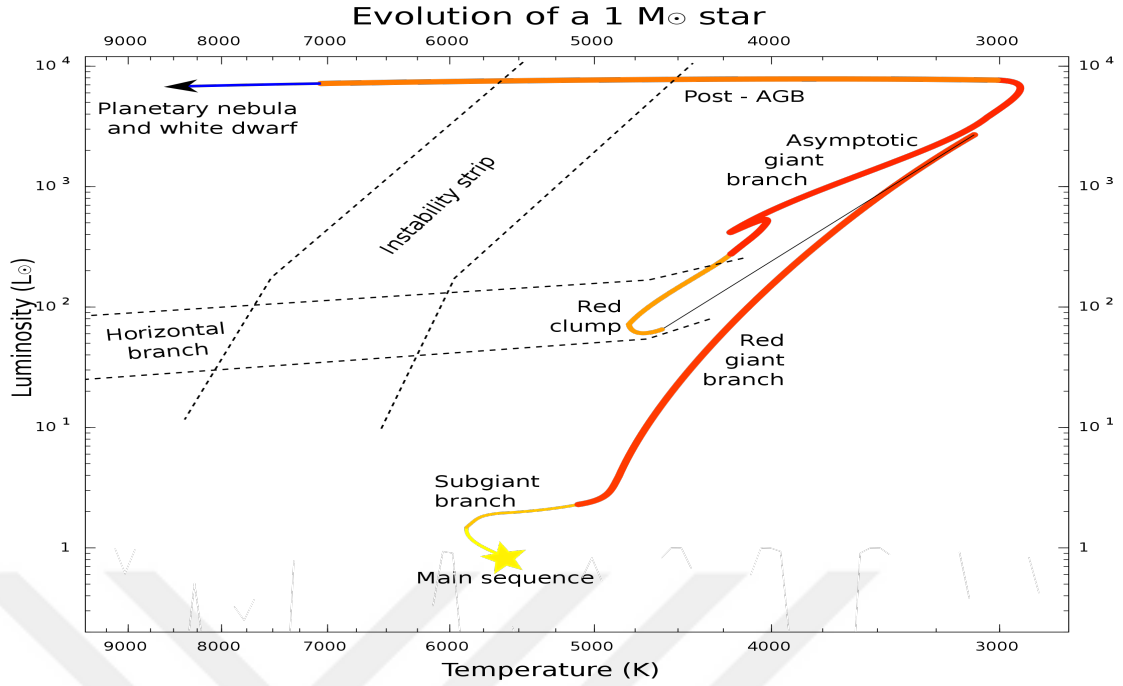
tırılması (kopma senaryolarının değerlendirilmesi) amacıyla birlikte değerlendirilmiştir. Böylelikle tasviri hedeflenen büyük resimde kopma senaryoları kapsamında incelendiklerinde metalce fakir HPM yıldızlarının Güneş komşuluğunun doğal üyeleri olup olmadıkları da değerlendirilebilecektir. Literatürde bu yıldızlar için bahsi geçen karakteristik özelliklerin tespitini amaçlayan ve Şahin ve Bilir (2020) tarafından gerçekleştirilen makale kadar kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürdeki benzer çalışmalarda yıldızlar tek tek analiz edilmişken, Şahin ve Bilir'in (2020) çalışmasında altı yıldızın aynı yöntemler ile analiz edilmesi ve elde edilen sonuçların literatür ile paylaşılması yıldız ve Galaksi astrofiziği konusuna bir yenilik getirmiştir. Bu makalenin literatüre kazandırılması bu tez çalışmasına kaynak proje çalışması için de bir motivasyon kaynağı olmuştur. Pereira vd. (2019) tarafından yavaş nötron yakalama (slow neutron capturing, s-process) element bollukları bakımından zengin (s-process-enriched) metalce fakir bir yıldız olan HD 55496 üzerine gerçekleştirilen çalışmada, yıldızın ikinci jenerasyon bir küresel küme yıldızı olabileceğini göstermektedir fakat çalışmada bolluklar temelinde herhangi bir karşılaştırma yapılmaksızın HD 55496 yıldızının kökeni olarak bir cüce galaksinin öngörülmüş olması düşündürücüdür. Literatürde yine bilğimiz dahilinde G tayf türü metalce fakir yüksek öz hareketli yıldızlar üzerine sözkonusu yıldızların küresel küme veya cüce galaksi kökenlerini inceleyen, yıldızların Bayes yaşları, kinematik ve Galaktik yörünge parametreleri, metal ve α -element bolluklarının birlikte kullanılarak değerlendirildiği kapsamlı bir çalışma da bulunmamaktadır.

1.2. Orta Tayf Türündeki Yıldızlar ve Evrimleri

Samanyolu'nun erken dönemlerinde oluşan veya günümüzde hala oluşmaya devam eden, anakol yaşam süreleri göz önüne alındığında Gökadanın yaşıyla kıyaslanabilecek kadar uzun yaşam sürelerine sahip olan orta tayf türündeki (F ve G tayf türünden yıldızlar; $5559 < T_{\text{eff}} (K) < 7161$, Eker vd. 2018) anakol yıldızları, geniş bir zarf tarafından çevrelenmiş radyatif bir çekirdekten oluşan bir iç yapı sergiler. Bu tür bir içyapı, yıldızın merkezinde üretilen ağır elementlerin yıldız atmosferine karışmasını engeller. Böylece orta tayf türündeki yıldızlar oluştukları molekül bulutunun kimyasal kompozisyonunu temsil ederler. Bu nedenle F ve G tayf türünden yıldız atmosferlerinde tespit edilen ağır element bollukları, Galaksimizin kimyasal evrim geçmişi hakkında önemli bilgiler sağlar (Pagel ve Patchett 1975). Bu aşamada anakol yıldızları kadar Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramında yer alan kırmızı dev kolundaki (red giant branch) evrimleşmiş yıldızlar da önemli bir rol oynar (Şekil 1.4).

Anakol evrimi sırasında, yıldız özek bölgesinde gerçekleşen Hidrojen (H) yanması duraksadığında yıldız özeği (merkez bölge) büzülmeye başlar. Bu süreçte, çekirdek dışında bulunan hidrojen gazı çökme etkisiyle sıkıştırılır ve ısınır. Böylece hidrojen yanması, çekirdekten kabuğa doğru ilerler ve kabuk genişler. Bu aşamadaki bir yıldızın H-R diyagramı üzerindeki evrim yolu incelendiğinde yıldızın neredeyse sabit bir sıcaklıkta daha büyük bir ışıma gücüne sahip olduğu gözlenir. Kabukta gerçekleşen hidrojen yanması evresine ilerleyen bir yıldız, bir sonraki evrede zarfını genişletirken aynı zamanda etkin sıcaklığını düşürür ve HR diyagramında alt dev koluna doğru ilerler.

Bu yıldız evrim aşamasında H yakan kabuk, merkeze Helyum (He) açısından katkıda bulunur. Bu süreçte, merkez bölge çöker ve ısınırken, eş zamanlı olarak kabuk ısınır, inceler ve ışıma gücü artar. H zengin dış katman genişler ve yıldız dev kolu boyunca HR diyagramında yüksek ısıtma gücü (L) bölgesine doğru hareket eder (kırmızı dev kolu; $3500 < T_{\text{eff}} (K) < 5500$ ve $0.5 < \log g \text{ (cgs)} < 3.5$, Hayden vd. 2015). Düşük kütleli yıldızlarda ($0.5 M_{\odot} - 3 M_{\odot}$) merkezdeki He miktarı kritik bir değere ulaştığında, çekirdekte He yanması başlar ve yıldız bu evrim aşamasında üç- α füzyon reaksiyonları yoluyla Carbon (C) ve Oksijen (O) üretir. Helyum yanmasından üretilen enerji çekirdeği ısıtır ve genişlemesine neden olur. Bu noktada Hidrojen yakan katman zayıflar, yıldızın ısıtma



Şekil 1.4. $1 M_{\odot}$ kütleli ve güneş metalisitesine sahip yıldızın anakoldan post-AGB koluna olan evrimi (Credit: Wikimedia Commons). Anakol (main sequence), altdev (subgiant branch) ve kırmızı dev kolu (red giant branch) evrim yolları temsili olarak gösterilmiştir.

gücü (L) düşer ve yıldız büzülür. Bununla birlikte, $8 M_{\odot}$ 'den daha büyük kütlelere sahip yıldızların öteklerinde, He yanma işlemi yıldız merkez bölgesi büzülmeden ve H yakan katman çok incelmeden başlar. Bu nedenle, helyum yanmasını takiben merkez bölgenin genişlemesi daha yavaş gerçekleşir ve yıldızın toplam ışıma gücü (L) önemli bir azalma göstermez. Kırmızı dev kolu yıldızları, G, K, ve M tayf türünden yıldızlardan oluşur. Tez kapsamında incelenen HD 63791 ve HD 8724 yıldızları G tayf türünden dev kolu yıldızlarıdır. HD 195633 ise anakol evrim aşamasındaki metalce fakir bir yıldızdır.

Bu bölümü takip eden ikinci bölümde tez çalışması kapsamında incelenen yıldızlar için kaynak taraması, üçüncü bölümde tayfsal, yaş, kinematik ve yörünge dinamik analizler için kullanılan materyal ve metot ilişkin detaylara, dördüncü bölümde yapılan analizlerin sonucu ve tartışması değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. HD 8724

Gratton ve Ortolani (1984), HD 8724 yıldızını da içerir 13 adet G tayf türü yıldızın yer aldığı 26 halo yıldızına ait echelle tayfları (5680 - 6450 Å) analiz etmişler ve tez yıldızı için Ca, Ti, Mn, Ni, ve Ba bolluklarını rapor etmişlerdir² Norris (1986), metal bolluğu $[Fe/H] < -0.6$ dex olan 1200 yıldızdan oluşan ve Galaksideki yaşlı popülasyon yıldızlarını içeren örneklem yıldız gurubu için dikine hız ve metal bolluk ölçümleri gerçekleştirmiş ve bu yıldızların kinematik ve kimyasal özellikleri arasında olası bir ilişkinin varlığını araştırmıştır. HD 8724 yıldızını içeren çalışmada kinematikleri galaktik düzlem yıldızlarından farklılık gösteren ve $-0.9 < [Fe/H] < -0.6$ dex metal bolluğu arasındaki yıldızların kalın diske ait olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmada HD 8724 için rapor edilen dikine hız ve uzaklık değerleri sırası ile $V_R = -110$ km/s ve $d = 650$ pc.

Carney ve Latham (1986) tarafından 85 adet metalce fakir kırmızı dev yıldız için gerçekleştirilen çalışmada ise uzay hızı yüksek olan yıldız guruplarının tespiti amaçlanmıştır. Yüksek uzay hızları için çarpışma veya etkileşim temelli bir gerekçelendirme yaptıkları çalışmada Samanyolu gökadasının oluşumu ve yapısı hakkında ipuçları elde etmeyi hedefleyen çalışma gurubu metal bolluğu $[Fe/H] < -1.5$ dex'ten küçük toplamda 174 adet kırmızı dev yıldızdan oluşan bir örneklem yıldız gurubu incelenmiştir. Carney ve Latham (1986) çalışmalarında HD 8724 için uzay hızı değerlerini $U = 2 \pm 46$ km/s, $V = -300 \pm 75$ km/s, $W = -52 \pm 44$ km/s ve yörünge basıklığını $e = 0.81 \pm 0.19$ olarak rapor etmişlerdir.

Sommer-Larsen ve Zhen (1990) Güneş civarında bulunan $-1.5 < [Fe/H] < -2.0$ dex aralığındaki yıldızları içerir halo bölgesinin küresel bir modelinin oluşturulması amacı ile geliştirdikleri model kapsamında inceledikleri yıldızlar için yörünge parametrelerini hesaplamışlardır. HD 8724 için elde ettikleri parametreler : $[Fe/H] = -2.20$ dex, $d = 800$ pc.

Pilachowski vd. (1996) metalce fakir ($[Fe/H] < -1$) yıldızları içerir örneklem yıldız gurubu için için Na element bolluğunu³ elde ettikleri çalışmada alan yıldızları ile benzer metal bolluğuna sahip küresel kümeleri incelediklerinde, alan yıldızlarındaki parlak

² $[Ca/H] = -1.50$ dex, $[Ti/H] = -1.20$ dex, $[Mn/H] = -1.50$ dex, $[Fe/H] = -1.60$ dex, $[Ni/H] = -1.50$ dex ve $[Ba/H] = -1.60$ dex'dir.

³Yıldızların evrimlerinin ilerlemesiyle Na bolluğunun artma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir

devlerin küresel küme karşılıklarına göre Na fazlalığı sergilediklerine işaret etmişlerdir. Yüksek çözünürlüklü ($R = 22\,000$) KPNO tayf verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri bu çalışmada HD 8724 yıldızı Na bolluğunu $[Na/Fe] = -0.10$ dex olarak rapor etmişlerdir. İlave olarak Mg, Si, Ca, Sc, ve Ni element bolluklarının da rapor edildiği görülmektedir.

Hanson vd. (1998) metal bolluğu $-3 < [Fe/H] < -1$ dex arasında değişen 68 adet halo yıldızı için α -element bolluğu olarak $[Na/Fe]$ ve $[Mg/Fe]$ oranlarını belirlemişlerdir. Yıldızlara ilişkin kinematik analizler için Hipparcos uydu verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada HD 63791 için rapor edilen bolluk değerleri: $[Fe/H] = -1.84$ dex, $[Na/Fe] = -0.10$ dex ve $[Mg/Fe] = 0.33$ dex'tir. Yıldız için hesaplanan uzaklık değeri $d = 682$ pc olarak rapor edilmiştir.

Tomkin ve Lambert (1999) tarafından gerçekleştirilen öncü çalışmada 32 adet cüce, 12 adet dev olmak üzere toplam 44 adet G ve K tayf türü metalce fakir ($2.0 < [Fe/H] < 0.0$) disk ve halo yıldızı için Ru ($7800.3 \text{ \AA}$) element bolluklarını rapor etmişlerdir. Buna göre metalce fakir dev yıldız tayflarında azalan Fe bolluğuyla artan Ru bolluğu rapor edilmiştir. Ru elementi oluşumu itibarı ile yüksek nötron yoğunluğuna ihtiyaç duyulan bölgelerde oluşması muhtemel bir elementtir. Çalışmada incelenen Kırmızı dev yıldızların s-proses zengin atmosferlere sahip olmaları muhtemeldir. Ru element bolluğu için atomik veri ($\log gf$) Wiese ve Martin (1980) den elde edilmiştir. HD 8724 için elde edilen element bollukları: $[Fe/H] = -1.92$ dex, $[Ru/H] = -1.69$ dex, $[Zr/H] = -2.26$ dex ve $[Ba/H] = -1.85$ dex'dir.

Beers vd. (2000), HD 8724 yıldızını da içerecek şekilde Galaksideki 2106 yıldız için dikine hız, uzaklık ve metal bolluklarının revize edilmiş olduğu bir katalog yayımlamışlardır. HD 8724 için hesaplanan yörünge parametreleri $R_{ap} = 8.88$ kpc, $R_{per} = 1.77$ kpc, $Z_{max} = 1.48$ kpc ve $e = 0.67$ şeklindedir. Elde edilen metal bolluğu ve dikine hız değerleri de sırası ile $[Fe/H] = -1.64$ dex ve $V_R = -22$ km/s olarak rapor edilmiştir.

Burris vd (2000) 43 adet metalce fakir ($[Fe/H] < -1.5$ dex) dev yıldız örneklemini için yüksek çözünürlüklü ($R \sim 22\,000$) tayflar üzerinde gerçekleştirdikleri analiz için model atmosfer parametrelerini Pilachowski vd. (1996)'den alarak HD 8724 için takip eden element bolluklarını rapor etmişlerdir: $[Sr/Fe] = 0.04$ dex, $[Y/Fe] = -0.25$ (bizim -0.19) dex, $[Zr/Fe] = -0.06$ (bizim 0.30) dex, $[Ba/Fe] = -0.01$ (bizim 0.10) dex, $[La/Fe] = -0.07$ (bizim 0.02) dex, $[Nd/Fe] = 0.07$ (bizim 0.34) dex, $[Eu/Fe] = 0.20$ dex ve $[Dy/Fe] = 0.47$ dex'dir.

Mishenina ve Kovtyukh (2001), tayflarında nötron yakalama süreçlerini aydınlatmayı hedefledikleri 90 adet metalce fakir ($-0.5 > [Fe/H] > -3.0$ dex) yıldız için α ve ağır element bolluklarını belirlemişlerdir. HD 8724 yıldızı için tez kapsamında kullanılan aynı ELODIE tayfını kullandıkları bu çalışmada takip eden α - ve ağır element bolluklarını rapor etmişlerdir: $[Fe/H] = -1.65$ dex, $[Mg/Fe] = 0.22$ dex, $[Si/Fe] = 0.38$ dex, $[Ca/Fe] = 0.37$ dex, $[Sr/Fe] = -0.11$ dex, $[Y/Fe] = -0.16$ dex, $[Ba/Fe] = 0.18$ dex, $[La/Fe] = 0.13$ dex, $[Ce/Fe] = -0.12$ dex, $[Nd/Fe] = 0.15$ dex, ve $[Eu/Fe] = 0.09$ dex'tir. Mishenina vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen ve Mishenina ve Kovtyukh (2001) çalışmasının devamı niteliğinde olan çalışmada ise Cu ve Zn bolluklarının rapor edilmiş görülür. HD 8724 yıldızı için takip eden Cu ve Zn bolluk değerlerini rapor etmişlerdir: $[Cu/Fe] = -0.60 \pm 0.22$ dex, ve $[Zn/Fe] = -0.09 \pm 0.19$ dex olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında yıldız için rapor edilen yörünge parametreleri $R_{min} = +0.81$ kpc, $R_{max} = +8.84$ kpc, $Z_{max} = +0.45$ kpc ve $e = 0.83$ şeklindedir. Mishenina vd. (2002), HD 8724 yıldızını bir halo yıldızı olarak tanımlamışlardır.

Milone vd (2011), MILES tayf kütüphanesi yıldızları (411 cüce ve 341 dev olmak üzere toplam 752 yıldız) için model atmosfer parametrelerinin ve $[Mg/Fe]$ oranlarının belirlendiği çalışmada yüksek çözünürlüklü tayflardan elde edilen $[Mg/Fe]$ oranları, düşük çözünürlüklü tayflardan elde edilen $[Mg/Fe]$ oranlarına kalibre edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında, tüm yıldızlar için hesaplanan bolluklar üzerinden $[Mg/Fe]$ bolluk oranını ≈ 0.11 dex olarak rapor etmişlerdir.

Das Payel vd. (220) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, galaksimizin yakın bölgelerinde konumlanmış halo yıldızlarının kimyasal bollukları, yaşları ve kinematik parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan yıldız örneklem gruplarının bazıları 10 kpc içinde, bazıları ise 20 kpc içinde yer almaktadır. HD 8724 için model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi aşamasında APOGEE tayfını kullanmışlardır. Kinematik analizler ise Gaia DR2 verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HD 8724 için bu çalışmada rapor edilen bolluklar: $[M/H] = -1.63 \pm 0.07$ dex, $[\alpha/Fe] = 0.24 \pm 0.04$ dex, $[C/Fe] = -0.49 \pm 0.09$ dex, $[N/Fe] = 3.79 \pm 0.11$ dex, $[O/Fe] = 3.31 \pm 0.07$ dex, $[Mg/Fe] = 0.22 \pm 0.05$ dex, $[Al/Fe] = -0.43 \pm 0.08$ dex, $[Mn/Fe] = -0.47 \pm 0.05$ dex, $[Ni/Fe] = 1.33 \pm 0.04$ dex'dir. Ayrıca, HD 8724 için elde edilen yaş değeri 10.79 Gyr olarak rapor edilmiştir.

2.2. HD 63791

Jensen ve Olsen (1979) HD 63791 başlığı ile yayınlanan makalede yıldızın G0 tayf türünden yüksek hıza sahip ve metalce fakir bir yıldız olduğu ve böylece halo popülasyonuna ait bir yıldız olduğu olduğu rapor edilmiştir. Strömgren fotometrisi kullanılarak analizi yapılan bu yıldız için elde etmiş oldukları bu sonucun teyit edilmesi amacıyla HD 63791'in detaylı olarak çalışılması gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Gratton ve Ortolani (1984), HD 8724 yıldızı ile birlikte HD 63791 yıldızını da içeren 26 halo yıldızını inceledikleri çalışmada HD 63791 için rapor etmiş oldukları bolluk değerleri: $[Ca/H] = -1.70$ dex, $[Mn/H] = -1.20$ dex, $[Fe/H] = -1.50$ dex, $[Ni/H] = -0.90$ dex ve $[Ba/H] = -2.10$ dex olarak veirlmiştir.

Carney ve Latham (1986), HD 8724 yıldızından farklı olarak HD 63791 için sadece dış merkezlik parametresini rapor etmişlerdir: $e = 0.71 \pm 0.15$ 'dir.

Friel (1987) tarafından HD 63791 yıldızı için rapor edilen metal bolluk değeri $[Fe/H] = -1.80$ dex tir. Yıldız için Mg ve Ca için takip eden element bolluk oranları rapor edilmiştir: $[Mg/Fe] = 0.80$ dex ($[Mg/Fe]_{TEZ} = 0.36$ dex) ve $[Ca/Fe] = 0.81$ dex ($[Ca/Fe]_{TEZ} = 0.34$ dex).

Gilroy ve Sneden (1988) tarafından HD 63791 için takip edilen element bollukları rapor edilmiştir: $[Ca/H] = -1.25$ dex (5), $[Sc/H] = -1.97$ dex (3), $[TiI/H] = -1.67$ dex (5), $[TiII/H] = -1.84$ dex (4), $[CrI/H] = -1.90$ dex (1), $[CrII/H] = -1.75$ dex (1), $[Mn/H] = -2.11$ dex (2), $[FeI/H] = -1.68$ dex (61), $[FeII/H] = -1.76$ dex (8), $[Co/H] = -1.97$ dex (3), $[Ni/H] = -1.88$ dex (4), $[Y/H] = -1.79$ dex (1), $[Zr/H] = -1.72$ dex (2), $[Ba/H] = -1.79$ dex (3), $[La/H] = -1.40$ dex(3), $[Ce/H] = -1.61$ dex (7), $[Pr/H] = -1.45$ dex (2), $[Nd/H] = -1.44$ dex (4), $[Sm/H] = -1.54$ dex (2), $[Eu/H] = -1.31$ dex (2), $[Gd/H] = -1.53$ dex (1) ve $[Dy/H] = -1.27$ dex (1). Parantez içindeki sayılar ilgili element için element bolluk hesabında kullanılan çizgi sayısını ifade etmektedir.

Sommer-Larsen ve Zhen (1990), Güneş civarındaki $-1.5 < [Fe/H] < -2.0$ dex metalisite aralığındaki yıldız grupları üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada HD 63791 için elde ettikleri metal bolluğu değeri $[Fe/H] = -2.00$ dex olarak rapor edilmektedir. Aynı çalışmada yıldız için uzaklık değeri ise $d = 470$ pc olarak rapor edilmiştir.

Hanson vd. (1998), $-3.0 < [Fe/H]$ (dex) < -1.0 metalisite aralığındaki 68 adet halo yıl-

dızı için $[\text{Na}/\text{Fe}]$ ve $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ oranlarını belirlemiş oldukları çalışmada HD 63791 için takip eden bolluk oranlarını rapor etmişlerdir: $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.68$ dex, $[\text{Na}/\text{Fe}] = -0.15$ dex ve $[\text{Mg}/\text{Fe}] = 0.38$ dex. Yıldız için hesaplanan uzaklık değeri, $d = 403$ pc, nispeten Güneş komşuluğunda bir yıldızla işaret etmektedir.

Pilachowski vd. (1996), HD 63791 yıldızı için rapor etmiş oldukları $[\text{Na}/\text{Fe}] = -0.15$ dex bolluğuna ek olarak $[\text{Mg}/\text{Fe}] = 0.38$ dex, $[\text{Si}/\text{Fe}] = 0.33$ dex ve $[\text{Ca}/\text{Fe}] = 0.33$ dex, $[\text{Sc}/\text{Fe}] = 0.07$ dex ve $[\text{Ni}/\text{Fe}] = -0.29$ dex bolluk oranlarını rapor etmişlerdir.

Burris vd (2000) tarafından HD 63791 yıldızı için gerçekleştirilen çalışmada rapor edilen element bollukları $[\text{Sr}/\text{Fe}] = 0.06$ dex, $[\text{Y}/\text{Fe}] = -0.10$ dex ($[\text{Y}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = -0.19$ dex), $[\text{Zr}/\text{Fe}] = 0.06$ dex ($[\text{Zr}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = -0.04$ dex), $[\text{Ba}/\text{Fe}] = 0.05$ dex ($[\text{Ba}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.07$ dex), $[\text{La}/\text{Fe}] = -0.21$ dex ($[\text{La}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.11$ dex), $[\text{Nd}/\text{Fe}] = 0.15$ dex ($[\text{Nd}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.20$ dex), $[\text{Eu}/\text{Fe}] = 0.12$ dex ve $[\text{Dy}/\text{Fe}] = 0.23$ ($[\text{Dy}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.43$) dex'dir.

Beers vd. (2000), HD 63791 yıldızı için metal bolluğunu $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.67$ dex olarak rapor etmiştir. Yıldız için dikine hız değeri $V_R = 4$ km/s ve yörünge parametreleri $R_{ap} = 8.77$ kpc, $R_{per} = 2.74$ kpc, $Z_{max} = 3.84$ kpc ve $e = 0.53$ olarak rapor edilmiştir.

Mishenina ve Kovtyukh (2001), HD 63791 için takip eden element bolluk değerlerini elde etmişlerdir: $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.67$ dex ($[\text{F}/\text{H}]_{\text{TEZ}} = -1.59$ dex), $[\text{Mg}/\text{Fe}] = 0.29$ dex ($[\text{Mg}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.39$ dex), $[\text{Si}/\text{Fe}] = 0.40$ dex ($[\text{Si}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.46$ dex), $[\text{Ca}/\text{Fe}] = 0.35$ dex ($[\text{Ca}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.34$ dex), $[\text{Sr}/\text{Fe}] = -0.17$ dex, $[\text{Y}/\text{Fe}] = 0.12$ dex ($[\text{Y}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = -0.19$ dex) dex, $[\text{Ba}/\text{Fe}] = 0.33$ dex ($[\text{Ba}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.07$), $[\text{La}/\text{Fe}] = 0.18$ ($[\text{La}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.11$ dex), $[\text{Ce}/\text{Fe}] = -0.05$ dex ($[\text{Ce}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.02$ dex), $[\text{Nd}/\text{Fe}] = 0.22$ dex ($[\text{Nd}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.20$ dex), $[\text{Eu}/\text{Fe}] = 0.34$ dex'dir.

Mishenina vd (2002), çalışmalarında HD 63791 için takip eden Cu ve Zn bolluk değerlerini rapor etmişlerdir: $[\text{Cu}/\text{Fe}] = 0.52$ dex ± 0.28 , ve $[\text{Zn}/\text{Fe}] = 0.17$ dex ± 0.20 'dir. Çalışma kapsamında yıldız için elde edilen yörünge parametreleri $R_{min} = +2.85$ kpc, $R_{max} = +8.77$ kpc, $Z_{max} = +3.45$ kpc ve $e = 0.51$ şeklindedir. HD 63791 yıldızının kalın disk ile halo popülasyonu arasında orta gruba ait bir yıldız olduğu vurgulanmıştır.

Roederer (2008), Samanyolu galaksisinin iç (Galaktik merkezden 15 kpc ve Galaktik düzleminden 5 kpc) ve dış (Galaktik merkezden 25 kpc ve Galaktik düzleminden 10 kpc) yıldız halo popülasyonlarını kinematik parametrelere dayanarak tanımlamıştır. Çalışmada bu iki popülasyonun benzer bir metal bolluğu aralığı sergiledikleri rapor edilmiştir

($-2.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.5$ dex). Dış halo için rapor edilmiş olan $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ oranının -0.1 dex daha düşük olduğu vurgulanmıştır. Kinematik olarak farklılık gösteren dış halo popülasyonunun kimyasal olarak da farklı olduğu belirtilmiş ve HD 63791 yıldızı için takip eden yörünge parametreleri rapor edilmiştir: $R_{\text{peri}} = 1.4$ kpc, $R_{\text{apo}} = 9.1$ kpc, $e = 0.73$ ve $Z_{\text{max}} = 2.1$ kpc. Yıldız için uzaklık değeri $d = 559$ pc olarak rapor edilmiştir.

2.3. HD 195633

Bond (1970) tarafından yıldız için gerçekleştirilen ilk çalışma olma özelliğine sahip çalışmada metalce fakir yıldızların sayısını artırmak ve özelliklerini belirlemek amacıyla objektif prizma plakaları kullanılmıştır. Bu plakalar ile Strömgren parlaklıkları elde edilmiştir. Strömgren $ubvy$ indeksleri ile metal bolluk değerlerinin hesaplanmış olduğu bu çalışmada HD 195633 yıldızı için rapor edilen metal bolluk değeri $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.16$ dex tir. Buna ek olarak HD 195633 için sadece yörünge dış merkezlik değeri $e = 0.22$ olarak rapor edilmiştir.

Norris (1986), metal bolluğu $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.6$ dex olan 1200 adet yıldız için gerçekleştirdikleri çalışmada yaşlı galaktik popülasyon üyelerinin kinematik ve kimyasal özellikleri arasında bir ilişkinin varlığına dair kanıt aramışlardır. Disk ve halo yıldızları için kinematik farklılıkların rapor edilmiş olduğu çalışmada HD 195633 için elde edilen uzaklık değeri $d = 390$ pc ve dikine hız değeri $V_R = -69$ km/s dir.

Mishenina ve Kovtyukh (2001) Galaksimizin kimyasal evrim teorilerinin geliştirilmesi aşamasında önem teşkil eden nötron yakalama süreçlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında HD 8724 yıldızının da bulunduğu 90 adet metalce fakir yıldızın α ve ağır element bolluklarını belirlemişlerdir. Yüksek çözünürlüklü ELODIE spektrumu kullanarak WIDTH-9 kodu ile kimyasal bollukları hesaplamışlardır. HD 195633 için hesaplanan alfa ve ağır element bollukları: $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.55$ dex, $[\text{Mg}/\text{Fe}] = -0.03$ dex, $[\text{Si}/\text{Fe}] = 0.13$ dex, $[\text{Ca}/\text{Fe}] = 0.21$ dex, $[\text{Sr}/\text{Fe}] = 0.00$ dex, $[\text{Y}/\text{Fe}] = 0.09$ dex, $[\text{Ba}/\text{Fe}] = 0.12$ dex, $[\text{La}/\text{Fe}] = 0.08$ dex, $[\text{Ce}/\text{Fe}] = 0.11$ dex, $[\text{Nd}/\text{Fe}] = 0.10$ dex, $[\text{Eu}/\text{Fe}] = 0.13$ dex'dir.

Mishenina vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada HD 195633 için rapor edilmiş Cu ve Zn bolluk değerleri: $[\text{Cu}/\text{Fe}] = 0.52 \pm 0.28$ dex ve $[\text{Zn}/\text{Fe}] = 0.17 \pm 0.20$ dex'dir. Mishenina vd. (2002), HD 195633 için takip eden yörünge parametrelerini rapor etmişlerdir: $R_{\text{min}} = +6.61$ kpc, $R_{\text{max}} = +9.48$ lpc, $Z_{\text{max}} = +0.08$ kpc ve $e = 0.18$. HD 195633

yıldızının disk benzeri bir kinematiğe sahip olduğu rapor edilmiştir.

Qiu vd. (2002), HD 195633 için takip eden element bolluklarını rapor etmektedirler: $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.50 \text{ dex}$ ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{TEZ}} = -0.52 \text{ dex}$), $[\text{O}/\text{Fe}] = 0.32 \text{ dex}$, $[\text{Mg}/\text{Fe}] = 0.02 \text{ dex}$ ($[\text{Mg}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.07 \text{ dex}$), $[\text{Si}/\text{Fe}] = 0.11 \text{ dex}$ ($[\text{Si}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.16 \text{ dex}$), $[\text{Ca}/\text{Fe}] = 0.14 \text{ dex}$ ($[\text{Ca}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.13 \text{ dex}$), $[\text{Ti}/\text{Fe}] = 0.03 \text{ dex}$ ($[\text{Ti}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.06 \text{ dex}$). Yıldızın kütlesini $1.01 M_{\odot}$ ve bolometrik düzeltme değerini (B.C) ise 0.143 kadir olarak rapor etmişlerdir.

Nordström vd. (2004), Güneş komşuluğundaki 14 000 adet F ve G tayf türünden cüce yıldızları için gerçekleştirmiş oldukları analizlerde model atmosfer parametrelerini Strömgren fotometrisi ile elde edilen indeksleri ($uvby\beta$) yardımı ile hesaplamışlardır. Yaş için yıldızların spektroskopik özelliklerini (sıcaklık ve metal bolluğu) izokron eğrileriyle karşılaştırarak tahmin etmişlerdir. Kinematik ve yörünge dinamik parametrelerin hesabı için Hipparcos verilerinden faydalanmışlardır. Bu çalışmanın devamı niteliğinde olan Holmberg vd. (2009), 16 682 adet yıldız için bu çalışmayı revize etmiştir. HD 195633 için hesaplanan yörünge parametreleri $R_{\min} = 6.40 \text{ kpc}$, $R_{\max} = 8.57 \text{ kpc}$, $e = 0.14$ ve $Z_{\max} = 0.03 \text{ kpc}$ 'dir. Yıldız için uzaklık değeri $d = 99 \text{ pc}$ olarak rapor edilmiştir. 7.8 Gyr yaşında olduğu belirtilen yıldız için elde edilen kütle değeri $0.91 M_{\odot}$ dir.

Zhang ve Zhao (2006) 32 adet ortaca metal bakımından fakir yıldızın alfa element bolluğu, yaş, kinematik analizler çerçevesinde popülasyon üyeliklerini tahmin etmişlerdir. Etkin sıcaklıklar renk indekslerinden, yüzey yerçekimleri ise Hipparcos paralaksından elde etmişlerdir (Chen vd., 2000). Kütle hesabı için yıldızın $M_V \log \text{Teff}$ diyagramındaki konumu dikkate alınmıştır (VandenBerg vd., 2000). Uzay hızları ve yörünge parametreleri hesabı için Hipparcos kataloğundan temin edilen öz hareket, dikine hız ve paralaks değerleri kullanılmıştır. Yıldız yaşlarını Yonsei-Yale izokronlarını (Yi vd, 2003) kullanarak belirlemişlerdir. Yıldızlar için popülasyon üyelikleri sadece kinematik özellikler göz önüne alınarak Bensby vd. (2003, 2005) tarafından tanımlanan yöntem ile belirlenmiştir ve HD 195633 yıldızının ince disk popülasyonuna ait bir yıldız olduğu rapor edilmiştir. Yıldız için elde edilen kimyasal bollukları; $[\text{O}/\text{Fe}] = 0.39 \text{ dex}$, $[\text{Mg}/\text{Fe}] = 0.20 \text{ dex}$ ($[\text{Mg}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.07 \text{ dex}$), $[\text{Si}/\text{Fe}] = 0.13 \text{ dex}$ ($[\text{Si}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.16 \text{ dex}$), $[\text{Ca}/\text{Fe}] = 0.19 \text{ dex}$ ($[\text{Ca}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.13 \text{ dex}$), $[\text{Ti}/\text{Fe}] = 0.11 \text{ dex}$ ($[\text{Ti}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.07 \text{ dex}$), $[\text{Na}/\text{Fe}] = 0.04 \text{ dex}$, $[\text{Al}/\text{Fe}] = 0.07 \text{ dex}$, $[\text{Sc}/\text{Fe}] = 0.02 \text{ dex}$ ($[\text{Sc}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.06 \text{ dex}$), $[\text{Cr}/\text{Fe}] = -0.01 \text{ dex}$ ($[\text{Cr}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = -0.02 \text{ dex}$), $[\text{Mn}/\text{Fe}] = -0.12 \text{ dex}$ ($[\text{Mn}/\text{Fe}]_{\text{TEZ}} = -0.26 \text{ dex}$), $[\text{Ni}/\text{Fe}] = 0.00$

dex ($[\text{Ni/Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.04$ dex), $[\text{Ba/Fe}] = 0.03$ dex ($[\text{Ba/Fe}]_{\text{TEZ}} = 0.03$ dex) ve $[\alpha/\text{Fe}] = 0.16$ dex. Yıldız için çalışma kapsamında rapor edilen yörünge parametreleri; $R_{\min} = 6.6$ kpc, $R_{\max} = 9.5$ kpc, $Z_{\max} = 0.0$ kpc ve $e = 0.18$ 'dir. Elde edilen yaş ise 6.2 Gyl'dir.

Milone vd (2011) tarafından MILES tayf kütüphanesindeki yıldızlar üzerine gerçekleştirilen çalışmada analiz edilen yıldızlar için hesaplanan $[\text{Mg/Fe}]$ ortalama bolluk değeri 0.105 dex olarak rapor edilmiştir. HD 195633 yıldızı için tez çalışması kapsamında hesaplanan $[\text{Mg/Fe}]$ bolluk oranı 0.24 ± 0.05 dex'dir.

Roederer (2008) tarafından HD 63791 için elde edilen uzaklık ve yörünge parametreleri: $d = 116$ pc, $R_{\text{peri}} = 6.0$ kpc, $R_{\text{apo}} = 9.5$ kpc, $e = 0.22$ ve $Z_{\max} = 0.0$ kpc'dir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Echelle Tayfin Doğası ve Echelle Tayf Verileri

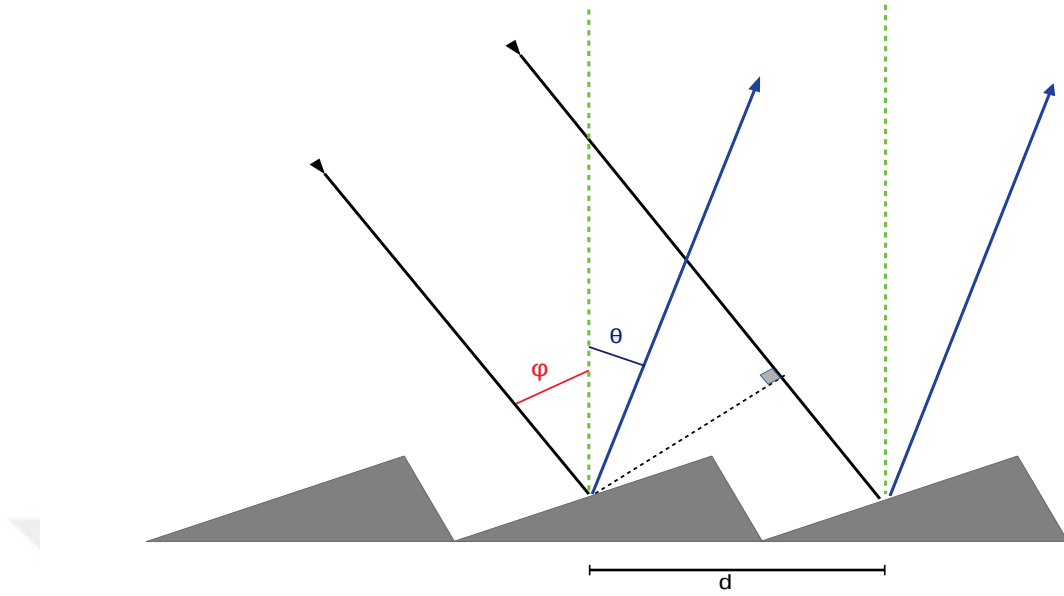
Tayf, bir kaynaktan gelen elektromanyetik radyasyonun dalgaboyuna (veya frekansa) göre dağılımını ifade eder. Tayf sayesinde uzak gök cisimlerine ilişkin kimyasal ve fiziksel özellikler belirlenebilir. Bir tayfçeker gözlenen gök cisiminden gelen ışınımı özel bir teknik ile renklerine ayırıştırır. Ayırıştırma işlemi tayfçekerin yapısında yer alan dağıtıcı (dispersive) bir optik eleman yolu ile gerçekleştirilir. Bu dağıtıcı optik eleman çoğu zaman bir prizma (prism) veya kırınım şebekesidir (diffraction grating). Prizma kullanılan tayfçekerde dağıtma süreci doğrusal olarak gerçekleşmez ve tayfta mavi ışık, kırmızı ışıktan daha fazla kırılır. Dolayısıyla günümüzde en çok tercih edilen tayfçekerler, kırınım şebekesinin dağıtıcı optik eleman olarak benimsenmiş olduğu tayfçekerlerdir. Bu tür tayfçekerler için aşağıda verilen kırınım denklemi geçerlidir. n , order numarası; d , kırınım şebekeleri arasındaki uzaklık; θ , kırınım şebekesi normaline göre gelen ışının açısı ve ϕ , kırınım şebekesi normaline göre yansıyan ışının açısı olarak tanımlanır. Blaze açısı (blaze angle); Şekil 3.5’ de görüldüğü gibi blaze yansıma şebekesinde, kırınım şebekesinin normali (Grating normal) ile yüzeylerin normali (facet normal) arasındaki açıdır.

$$n\lambda = d(\sin \theta + \sin \phi) \quad (3.1)$$

Echelle bir kurguda dizayn edilmiş bir tayfçeker, örneğin, muadili uzun-yarık (long-slit) dizayna sahip bir tayfçekere göre daha yüksek tayfsal çözünürlük sağlar. Şekil 3.6’da 2D HIRE Echelle Güneş tayfı temsili olarak içerilmiştir. Echelle tayfçekerler tayf bölgelerinin daha detaylı çalışılmasına olanak sağlarlar (Zhang vd. 2022). Dolayısıyla Echelle tayfçekerler yardımı ile elde edilen echelle tayflar oldukça yüksek çözünürlüklü ve nispeten geniş bir dalgaboyu aralığında veri elde etme imkanı sağlar. Bir tayfçekerin çözünürlüğü (R); $\Delta\lambda$ ile ayrılmış iki dalgaboyunu ayırt edebilme kabiliyetidir ve tayfsal çözünürlük,

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{c}{V_R} \quad (3.2)$$

ile verilir. R , λ , V_R ve c sırasıyla tayfsal çözünürlük, dalgaboyu, dikine hız ve ışık hızıdır. Şekil 3.7’de HD 8724 yıldızına ait çözünürlüğü farklı iki tayf gösterilmektedir.

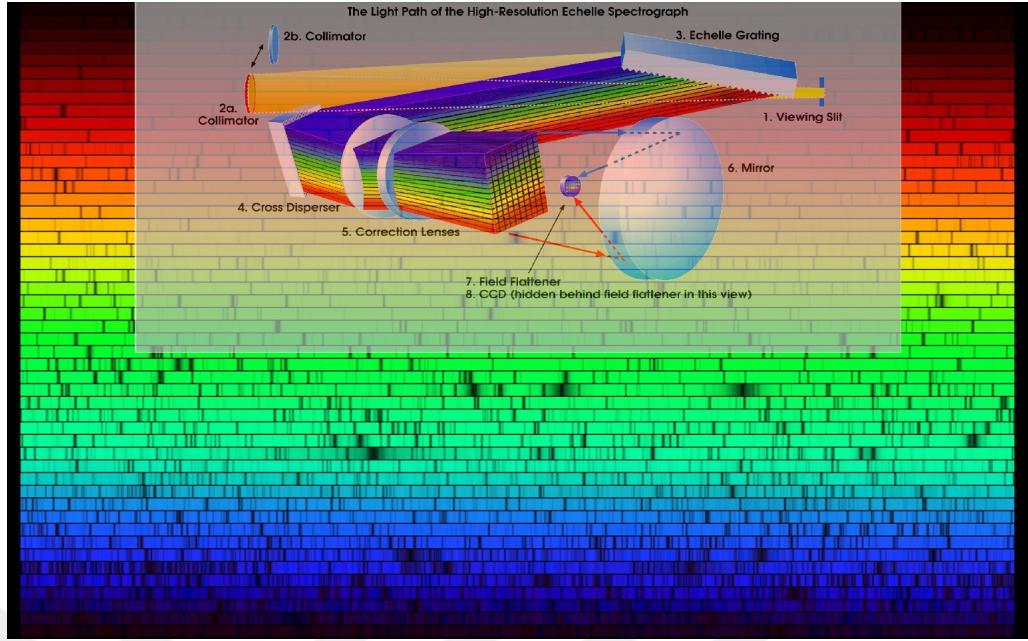


Şekil 3.5. Echelle bir kırınım şebekesi için temsili gösterim. Şebeke normali (yeşil kesikli çizgi) ile (blazed) yüzey normali (facet normal) arasındaki ϕ blaze açısı da temsili olarak gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan tayfsal veriler ELODIE (Prugniel ve Soubiran 2001) tayf kütüphanesinden temin edilmiştir. ELODIE 1388 yıldız için 1953 tayf içeren yüksek çözünürlüklü ($R \approx 42\,000$; $40 < S/N < 140$) bir Echelle tayf kütüphanesidir. Coude modda faaliyet gösteren 1.93 m’lik Fransa Haute-Provence gözlemevi (Haute-Provence Observatory, OHP) teleskobuna monte ELODIE tayfçekeri ile elde edilen tayfsal veriler 67 echelle basamak yapısından (order structure) oluşur.

ELODIE kütüphanesinde ön indirgenmesi, süreklilik ve dikine hız düzeltmeleri yapılmış tayflar bulunmaktadır. Bu kütüphanede bulunan tayflar, 3895-6815 Å dalgaboyu aralığını kapsar. Tayf kütüphanesinde dikine hız düzeltilmemiş tayflara erişim de mümkündür. Süreklilik ve dikine hız düzeltmeleri yapılmış olduğu halde kütüphanede çoğu yıldız tayfı için ilave bir süreklilik düzeltmesine ve dikine hız düzeltilmesine ihtiyaç duyulabilmektedir.

ELODIE tayf kütüphanesine [The ELODIE Archive](#) ve [Vizier ELODIE Archive](#) olmak üzere iki farklı adresten erişilebilir. [The ELODIE Archive](#) kütüphanesindeki tayfların sadece ön indirgenme aşamaları gerçekleştirilmiştir. Süreklilik ve dikine hız düzeltmeleri



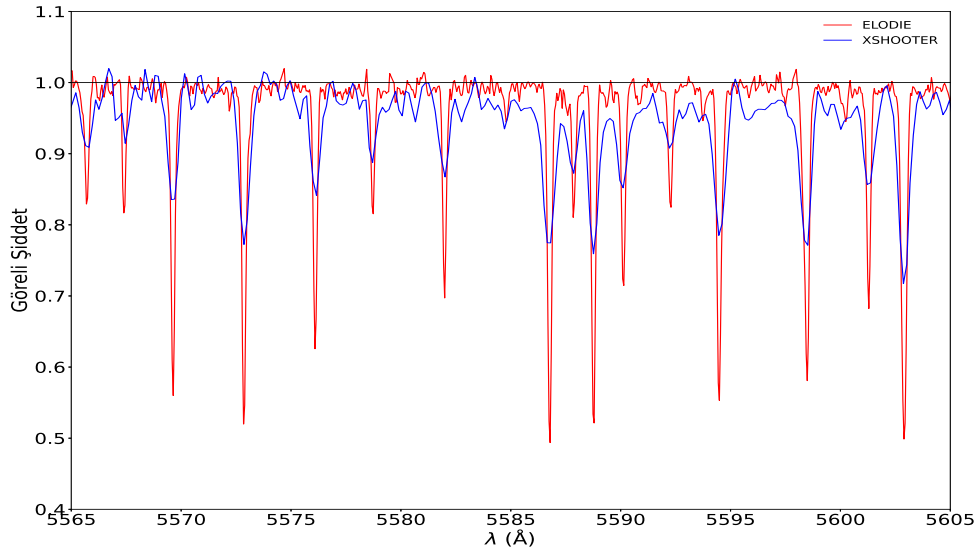
Şekil 3.6. Kırınım şebekeli bir çapraz yayıcıya sahip 3000-10 000 Å dalgaboyu aralığında faaliyet gösteren HIRES echelle tayfçekeri ile elde edilen Güneş tayfı verilmektedir. Tayfçekerde ışığın izlemiş olduğu optik yol, temsili olarak gösterilmiştir. Görselde y-ekseni uzaysal doğrultuyu, x-ekseni ise yayma (dispersion) doğrultusunu gösterir. Karanlık bölgeler, soğurma çizgileridir.

yapılmamıştır. [Vizier ELODIE Archive](#) kütüphanesi ise süreklilik ve dikine hız düzeltmesi uygulanmış tayfları içermektedir.

3.2. Süreklilik Düzeltmesi

Tayfsal analiz yolu ile incelenen yıldızın fiziki doğasının güvenilir bir şekilde ortaya konması aşamasında süreklilik düzeltmesinin hassas bir şekilde icra edilmesi gereklidir.

Hassas bir şekilde yapılan süreklilik düzeltmesi sayesinde tayftaki çizgilerin eşdeğer genişlikleri büyük bir doğrulukla ölçülebilir. Tez çalışmasında incelenen yıldızların süreklilik düzeltmesi ve dikine hız ölçümleri iSpec (Blanco-Cuaresma vd. 2014) kodu yardımı ile gerçekleştirilmiştir. iSpec kodu: Blanco-Cuaresma vd. 2014 tarafından Python programlama dilinde yazılan bir arayüzdür. Bu kod süreklilik düzeltmesi, radyal hız düzeltmesi, model atmosfer parametrelerinin hesaplanması (grid ve eşdeğer genişlik yöntemiyle) ve sentetik tayf oluşturma gibi tayf manipülasyon işlemlerini kısmen başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Echelle tayfin doğası gereği iSpec kodu süreklilik



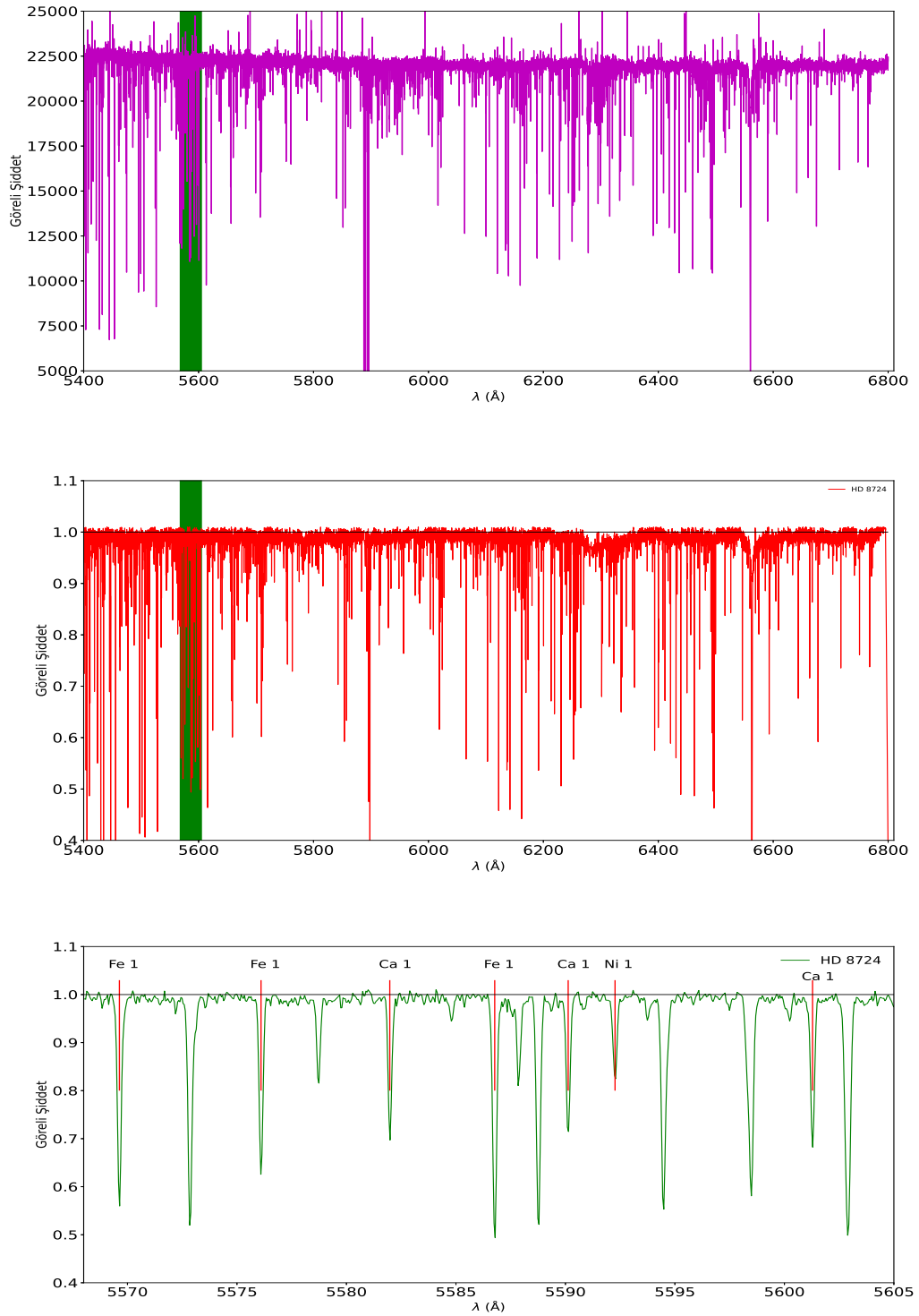
Şekil 3.7. HD 8724 yıldızı için XSHOOTER ($R \sim 10\,760$, kırmızı) ve ELODIE ($R \sim 42\,000$, siyah) tayfları verilmektedir. Çözünürlük kaynaklı çizgi derinlik farkları açıkça görülmektedir.

normalizasyonu için spline ve polinomal bazlı uydurmalar için çoğu durumda yetersiz kalmaktadır. Tez kapsamında iSpec ortamında süreklilik düzeltilmesi yapılan tayflar için ikinci dereceden Spline fit başarılı bir sonuç vermiştir. iSpec ile gerçekleştirilen süreklilik normalizasyon işlemi Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Tez kapsamında analizi gerçekleştirilen yıldızlar için sürekliliğe normalize edilmiş tayflar Şekil 3.9’da verilmiştir. Teşhisi gerçekleştirilen tayf çizgileri de aynı görsel üzerinde işaretlenmiştir.

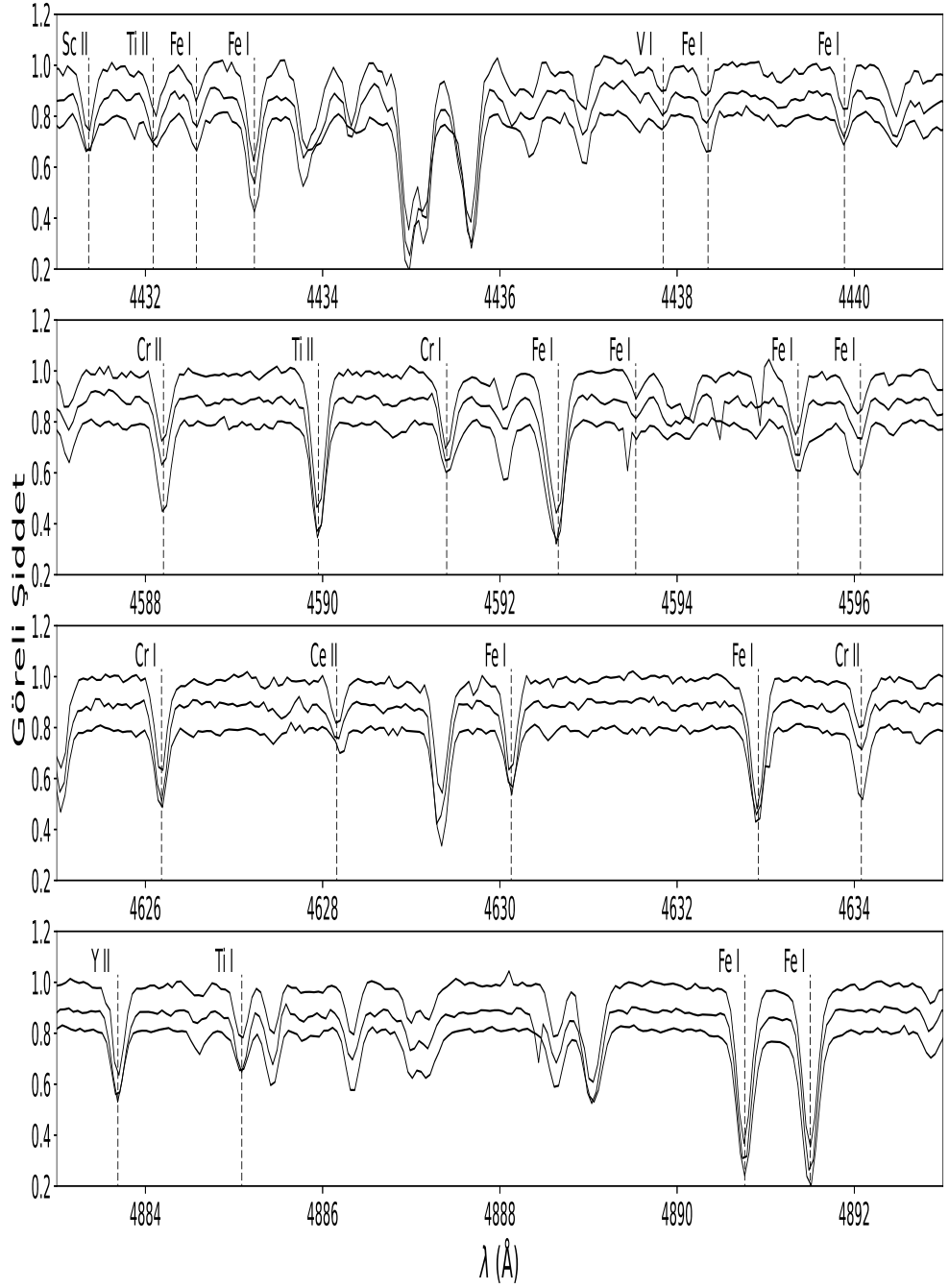
3.3. Dikine Hız Düzeltmesi

Dikine (radyal) hız (V_R) bir gökcisminin uzay hızının bakış doğrultumuzdaki hız bileşenidir⁴ ve bu bileşen ile birlikte teğetsel hız (V_T) bileşeninin de bilinmesi durumunda gökcisminin uzay hızının hesaplanmasını mümkün kılar (Şekil 3.10). Dikine hız, kinematik ve yörünge dinamik analizlerde yararlanılan, yıldızın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin galaktik popülasyon üyellikleri çerçevesinde yorumlanmasına olanak sağlayan temel bir

⁴Bir gök cismin bize yaklaşıp uzaklaştığı dikine hız değerinin pozitif veya negatif olmasından anlaşılır. Astronomi de maviye kayma (cismin gözlemciye yaklaşma durumu) $V_R < 0$ dikine hız değerleri ile kırmızıya kayma (cismin gözlemciden uzaklaşma durumu) $V_R > 0$ ile temsil edilir.



Şekil 3.8. HD 8724 yıldızına ait ELODIE tayfı gösterilmektedir. Üst panel: Süreklilik ve dikine hız düzeltilmesi yapılmamış tayfı göstermektedir. Orta panel: Süreklilik ve dikine hız düzeltilmiş tayfı göstermektedir. Alt panel: orta panelde bulunan yeşil bölgeyi göstermektedir. Ek olarak analizde kullanılan element çizgileri de şekil üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 3.9. Tez kapsamında analizi gerçekleştirilen yıldızlara ilişkin tayf ve tayf üzerinde teşhis edilen çizgiler gösterilmektedir. Üst: HD 8724, orta: HD 63791, alt: HD 195633 yıldız tayfını temsil etmektedir.

parametredir.

Literatürde dikine hız düzeltilmesi için çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- Atomik çizgi maskesi (Atomic line mask); yıldız tayfında belirlenen her çizginin, karşılık gelen laboratuvar dalgaboylarına göre farkı belirlenerek elde edilen ortalama bir dikine hız tespiti üzerine temellendirilmiştir. Dikine hız değeri ölçülen tayf çizgileri için laboratuvar dalgaboyları ve ölçülen dalgaboyu değerleri arasındaki fark olarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır.

$$V_R = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (3.3)$$

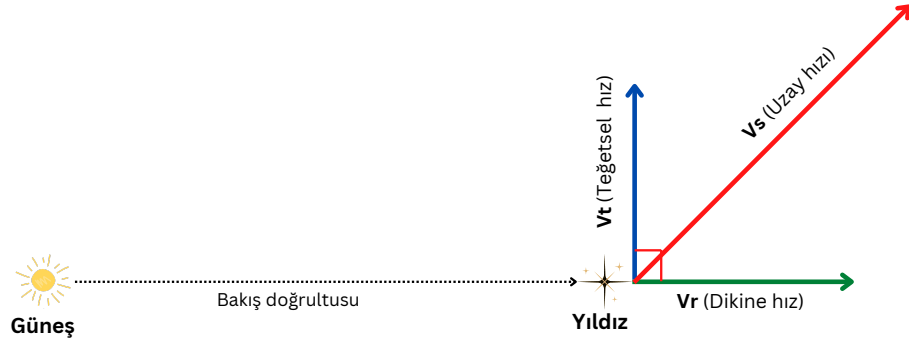
Burada c ışık hızı ve λ dalgaboyudur.

- Referans tayf kullanarak dikine hız düzeltmesi; Bu yöntemde dikine hız düzeltmesi, dikine hız düzeltilmiş bir yıldız tayfı, dikine hızı ölçülecek yıldız için referans olarak kullanır. Çapraz-ilişkilendirme (cross-correlation) yöntemiyle bu iki tayf birbiri ile karşılaştırılır/eşleştirilir ve böylelikle dikine hız ölçülebilir.
- Tellürik çizgi maskesi (Telluric line mask); Literatürde kullanılan diğer bir yöntem atmosferik (tellürik) çizgiler referans alınarak gerçekleştirilen dikine hız hesaplama yöntemidir. Atomik çizgi maskesindeki bir mantık silsilesi bu yöntemde izlenmektedir.

ELODIE tayf kütüphanesinde verilerin süreklilik ve dikine hız düzeltmelerinin yapıldığını fakat yine de ufak bir revizyona ihtiyaç duyulduğu belirtilmişti. Tez yıldızları için bu düzeltmeler iSpec arayüzünde 2700-10 480 Å dalgaboyu aralığındaki geçişleri içeren NARVAL atomik çizgi kütüphanesi yardımı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11).

3.4. Çizgi Teşhisi

Gözlenen ve analize hazır hale getirilmiş tayftan element bolluk değerlerinin elde edilebilmesi için gerçekleşmesi gereken önemli adımlardan biri çizgi teşhis aşamasıdır. Bu aşama için yıldız tayfında gözlenen çizgilerin hangi element veya moleküle ait olduğunun belirlenmesi gerekir. Çizgi teşhisi aşaması, dikine hız düzeltilmiş bir tayf üzerinde

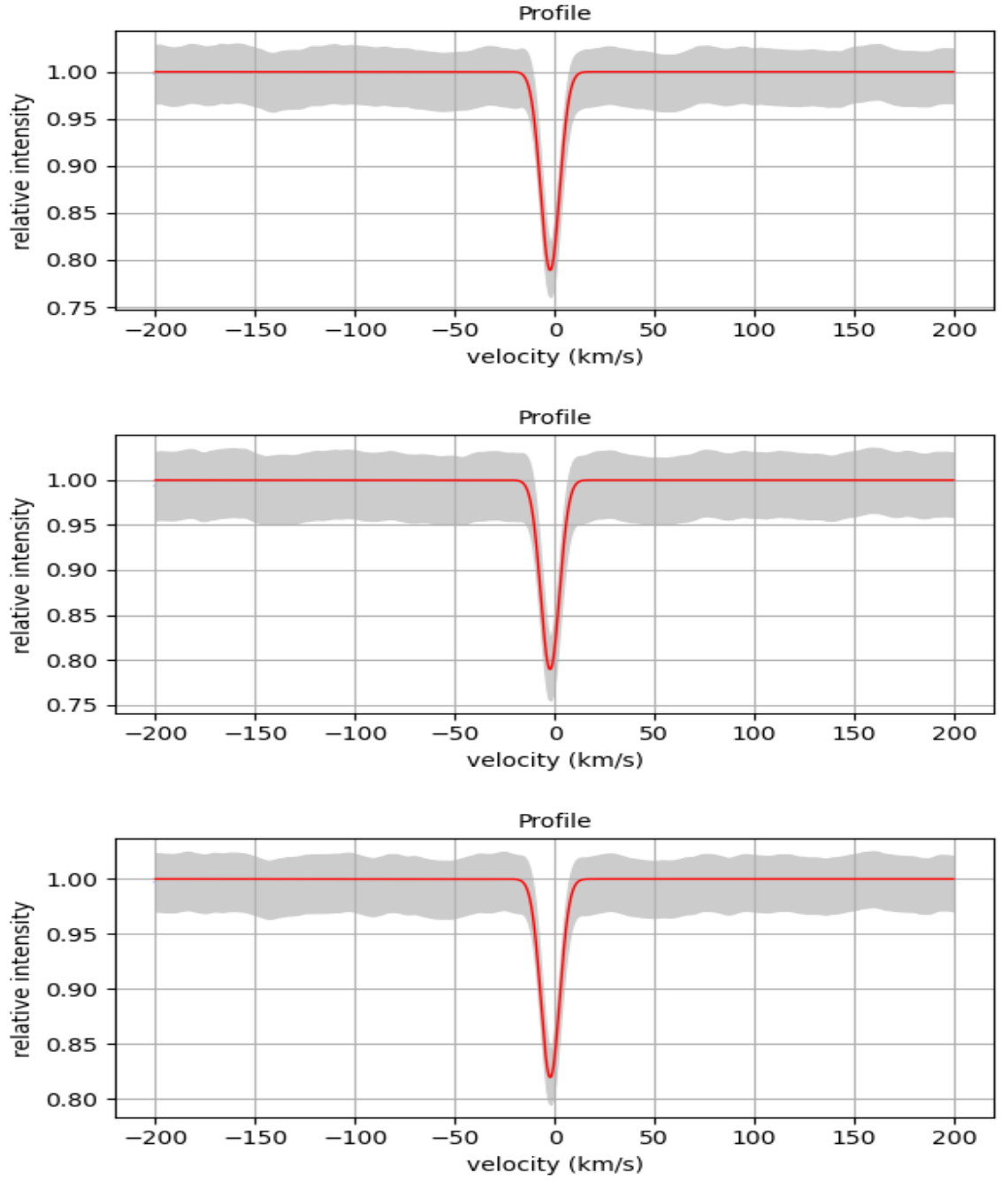


Şekil 3.10. Dikine hız, teğetsel hız ve uzay hızını temsili gösterimi.

gerçekleştirilir. Bu işlem için öncelikle tayfta tespit edilen çizgilerin merkez konumlarının yeterli hassasiyet ile belirlenmesi gerekir. Ölçümü gerçekleştirilecek çizgiler için merkez dalgaboyları LIME kodu (Şekil 3.12) ile ölçülmüştür (Şahin, 2017). LIME kodu, eş zamanlı olarak ölçümü gerçekleştirilen çizgi komşuluğunda olası atomik geçişleri listeler. Karşılaştırma sürecinde güvenilir bir çizgi listesine erişim esastır. Kod içerisinde referans atomik çizgi kütüphanesi olarak Moore vd.(1966) kataloğu yapılandırılmıştır. Ölçülen merkez dalgaboyları periyodik tablodaki elementlerin neredeyse tümünü içeren atomik çizgi kataloglarında konum olarak en yakın (laboratuvar) dalgaboyu değerleri ile karşılaştırılır ve merkez dalgaboyu ölçümü gerçekleştirilen tayf çizgisi teşhis edilir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen tayfsal analizler için yeni bir çizgi listesi oluşturulmuştur. Bunun için klasik spektroskopik yöntem kullanılmıştır. Öncelikle çizgi listesinin oluşturulacağı yıldız tayfı üzerinde eşdeğer genişlik analizi ile element bolluk hesabını mümkün kılacak izole, nispeten simetrik (gauss profili gösteren) olası tüm tayf çizgilerinin merkez dalgaboyları belirlenmiştir. Belirlenen bu merkez dalgaboylarının atomik çizgi kütüphanelerindeki karşılıklarının tespit edilmesi önemli bir aşamadır. Böylelikle önce ölçülen çizgi için olası aday element belirlenmiş olur. Tespit edilen bu çizgilerin gerçekten belirlenen elemente ait bir geçiş olup olmadığı değerlendirilmesi gereken diğer önemli ve kritik bir aşamadır. Bu son adım multiplet⁵ analiz tekniği olarak bilinir. Böylelikle belir-

⁵İki ana düzeyin ince yapı düzeyleri arasındaki geçişlerden oluşan çizgilere multiplet denir ve bu mul-



Şekil 3.11. iSpec arayüzü ile dikine hızları revize edilen ELODIE tayflarının CCF görselleri. Üst panel: HD 8724, $V_R = -2.23$ km/s; Orta panel: HD 63791, $V_R = -2.27$ km/s; Alt panel: HD 195633, $V_R = -2.19$ km/s.

Tablo 3.1. HD 8724, HD 63791 ve HD 196633 yıldızlarının ekvatorial koordinatları, Galaktik enlem ve boylamları, V bandındaki parlaklıkları, tayf türleri, ve ELODIE tayflarına ait veriler. ELODIE tayfları, rapor edilen dikine hız değerleri için düzeltilmişlerdir. Düzeltilmiş tayflar için bu hız değerleri Güneş tayfı kullanılarak çapraz ilişkilendirme (cross-correlation) yolu ile teyit edilmiştir.

Yıldız	α (hh:mm:ss)	δ (dd:mm:ss)	l deg	b deg	M_v	Tayf Türü	S/N^*	V_{Hel} (km/s)	MJD (2400000+)
HD 008724	01 26 17.60	+17 07 35.12	134.74	-44.95	0.72	G5*	102.02	-113.52 $\pm$ 1.00	50361.991141
HD 063791	07 54 29	+62 08 15	154.61	+31.07	0.57	G0V*	80.4	-108.2 $\pm$ 1.00	49472.818811
HD 195633	20 32 23.99	+06 31 03.26	51.06	-18.99	3.18	G0V*	111.19	-45.94 $\pm$ 1.00	50360.852275

*: S/N değerleri, ELODIE tayflarında 5500Å dalgaboyu için rapor edilmiştir.

Yıldızların tayf türleri SIMBAD veri tabanından alınmıştır.

lenen elemente ait multipler taranarak diğer ince yapı düzeyleri arasında gerçekleşen olası üyelerin tayfta gözlenebilirlikleri kontrol edilir. Bu aşamada çizgi listesine ilave atomik geçişlerin eklenmiş olması muhtemeldir. Gözlenmesi beklenen ancak tayfta bulunmayan multipler üyesi çizgiler ise çizgi listesine dahil edilmezler. Elde edilen nihai çizgi listesi için atomik veriler (alt düzey uyarılma potansiyelleri –Lower Level Excitation Potential –L.E.P. ve atomik geçiş olasılıkları –log gf) literatürden derlenmiştir. Tez kapsamında tayfsal analizlerde kullanılmak üzere TÜBİTAK projesi kapsamında analizleri gerçekleştirilecek 90 adet yıldızdan biri olan HD 63791 yıldızı seçilmiştir. Söz konusu bu çizgi listesi proje yıldızlarının tayfsal analizleri aşamasında da kullanılacaktır. Oluşturduğumuz çizgi listesi için dalgaboyu limitinin ESPaDOnS (Donati vd. 2006) ve PolarBase (Arnaud 2003) tayflarının tayfsal analizlerini mümkün kılacak şekilde genişletilmesine çalışılmaktadır.

3.4.1. Multipler Analizi ve Doğası Üzerine Bazı Notlar

Optik bölge için ilk multipler tablosu 1925'te Russel tarafından 'A List of Ultimate and Penultimate Lines of Astrophysical' adı ile yayımlanmıştır. Russel bu multipler tablo-
tipletteki çizgiler için farklı ince yapı düzeylerinin uyarılma enerjileri hemen hemen eşittir (Erika Bhöm 1993)

sunda neredeyse Güneş'te gözlenen çoğu elementi içermiştir. Ayrıca Güneş lekelerinde oluşan çizgileri de dikkate almıştır fakat Russel'in yayınladığı ilk multiplet tablosu hem kapsadığı dalgaboyu aralığı hem de içerdiği çizgiler bakımından yetersiz kalmıştır. Takip eden süreçte 1931 yılında Charlotte E. Moore o zamana kadar Güneş ve Güneş lekeleri katkısı bulunan tayfsal çizgilerin teyiti ve mevcut çizgi listesinin genişletilmesi amacıyla Güneş için bir el yazması multiplet tablosu oluşturmuş ve bu el yazması multiplet tablosu ilerleyen dönemde daha hafif elementleri içerecek şekilde Charlotte E. Moore tarafından genişletilmiştir. Charlotte E. Moore, 1954 yılında 'A Multiplet Table of Astrophysical Interest' adlı kataloğu yayımlanmıştır. (bundan sonra; Moore kataloğu⁶). Katalog, 1931 yılındaki multiplet tablolarının revize edilmiş halidir ve multiplet tabloları için yayınlanan ilk katalog olma özelliğini taşımaktadır. Genel ihtiyacı karşılamak amacıyla bu katalogta laboratuvar verileri de bulunmaktadır. Moore kataloğu, 2950-13000 Angstrom aralığındaki geçişleri kapsamaktadır. Multipletler, artan enerji seviyelerine göre listelenmiş ve numaralandırılmıştır. Literatürde başvuru olan diğer bir katalogda Rowland⁷ kataloğudur. 1966 yılında yayınlanan bu katalogun öncül versiyonu (1895 ve 1897 yıllarında) 2975 ile 7330 Å dalgaboyu aralığındaki Güneş tayfi geçişlerini kapsamaktadır. İlk revizyonu 1928 yılında John vd. (1928) tarafından yapılmıştır. Gözlenen Güneş ışıkküresine ait çizgiler, laboratuvar spektrumları ile karşılaştırılmış ve Güneş tayfindaki 57 elementin varlığı doğrulanmıştır. 1966 yılında yayınlanan bu katalog, öncül katalogun revize edilmiş ikinci versiyonu olarak bilinmektedir ve Uluslararası Astronomi Birliği'nin talebi üzerine hazırlanmıştır (bundan sonra Rowland kataloğu, 1966). Yeni geçişler de eklenerek 2935 - 8770 Å dalgaboyu aralığında yaklaşık olarak 24.000 çizgi listelenmiş ve Güneş tayfinda tespit edilen toplamda 63 element ve 11 molekül rapor edilmiştir. Dalgaboyuna göre bir sıralandırmanın olduğu katalog, atomik çizgiler için alt uyarılma potansiyelleri (L.E.P.) ve multiplet numaraları da (Rowland Multiplet Number – RMT) içerir.

⁶Laboratuvar ortamında kaydedilen elementleri listeler.

⁷Sadece Güneş tayfindan tespit edilen elementleri içerir.

3.4.2. Çizgi Kütüphanelerinin Sayılaştırılması ve Görselleştirilmesi Üzerine Bazı Notlar

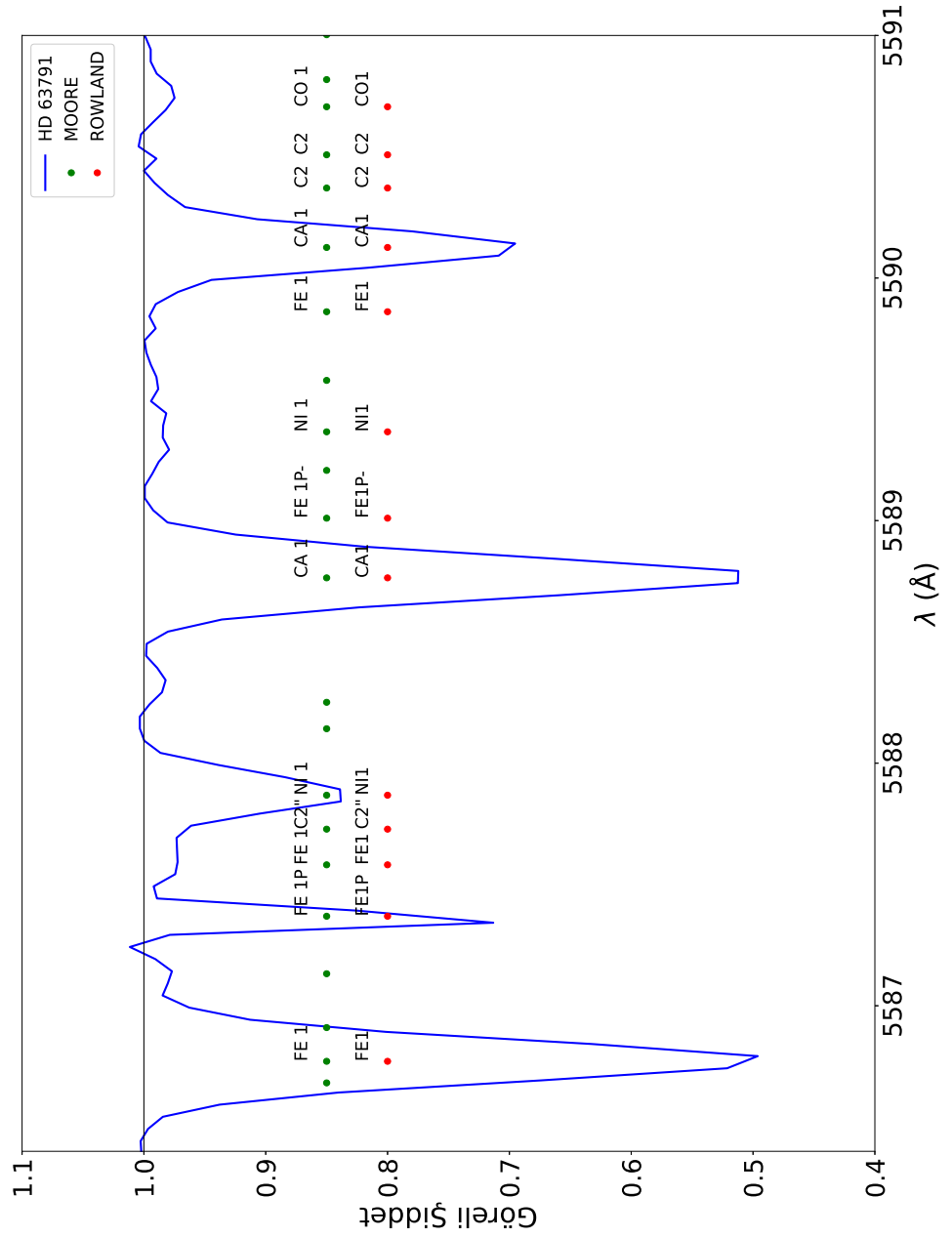
Bu katalogların yıldız tayfı üzerinde görselleştirilmesi, kaynaşık (blend) çizgilerin tespiti ve eşdeğer genişliği ölçülecek çizgi civarında olası alternatif bir geçişin varlığının araştırılması aşamasında kolaylık sağlamaktadır (Şekil 3.13). Bu aşamada özellikle mevcut katalogların sayılaştırılması süreci önemli bir adım teşkil eder. Tez çalışması kapsamında literatüre kazandırılan Python tabanlı olarak onbinlerce satırlık çizgi kütüphanesinin incelenen yıldız tayfı üzerinde kısa bir zaman içerisinde görselleştirilmesine olanak sağlayan bir arayüz hazırlanmıştır. Şekil 3.13, hazırlanan bu örnek arayüz çıktısını göstermektedir. 2024 yılında düzenlenecek Ulusal Astronomi Kongresi öncesinde kodun diğer gökbilimciler ile paylaşılması planlanmaktadır.

3.4.3. PyEchelle – Python Temelli Multiplet Analizine Olanacak Sağlayan Arayüz Üzerine Bazı Notlar

Çizgi merkez pozisyonların ölümü ve teşhisi (multiplet analizi v.b) zaman alan bir süreç olduğundan 121F265 nolu TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında bu analizi otomatize edecek bir kod geliştirilmektedir. Tamamlanması için gözlenen tayf üzerindeki testleri devam eden bu kod yardımı ile interaktif olarak çizgi merkez konumlarının belirlenmesi, interaktif olarak merkez konumları ölçülen çizgilerin teşhisi ve multiplet analizi gibi çoğu adımlar gerçekleştirilebilecektir.

3.5. Atomik Verilerin Temini ve Test Edilmesi

Tayfsal analizdeki temel unsurlardan biri olan atomik veriler, tayfsal analizde kullanılan çizgi teşhisi yönteminin temelini oluşturur. Bu çizgilerin teşhisi, gök cisminin özellikleri hakkında bilgi sağlar. Atomik veriler; alt düzey uyarılma potansiyeli (LEP) ve geçiş olasılıkları ($\log gf$) olarak sıralanabilir. Tayfsal analizler için önem arz eden atomik veriler çok hassas bir şekilde ölçülmelidir. Bu hassasiyet yapılan analizinde hassasiyetini belirler. Atomik geçiş olasılıkları ($\log gf$, g istatistik ağırlık, f , osilatör şiddeti, bkz. denklem 3.4), elektronun bir enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine geçiş yaparken yaydığı ısıtım yoğunluğu olarak tanımlanır. Atomik osilatör şiddetinin (atomic oscillator strength)



Şekil 3.13. Moore (yeşil) ve Rowland (kırmızı) katalogları, HD 63791 tayfı üzerinde gösterilmektedir.

hesaplanmasına ilişkin birçok alternatif yöntem vardır. Yöntemler, tek elektronlu ve çok elektronlu atomlar için farklılık sergiler.

$$f = 1.499 * 10^{-16} \frac{g_i}{g_k} \lambda^2 A_{ik} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te, g_i ve g_k alt ve üst seviyeler için istatistiksel ağırlık, λ iki atomik düzey arasındaki geçiş sonrasında yayınlanan çizginin dalgaboyu ve A_{ik} ise $s n^{-1}$ başına bir i- düzeyinden k- düzeyine tanımlanan geçiş olasılığıdır. A_{ik} dallanma oranı (Branching Fraction, BF) ve üst düzey için radyatif yaşam ömrü (radiative life time, τ_i) kullanılarak denklem 3.5 elde edilir.

$$A_{ik} = \frac{(BF)_{ik}}{\tau_i} \quad (3.5)$$

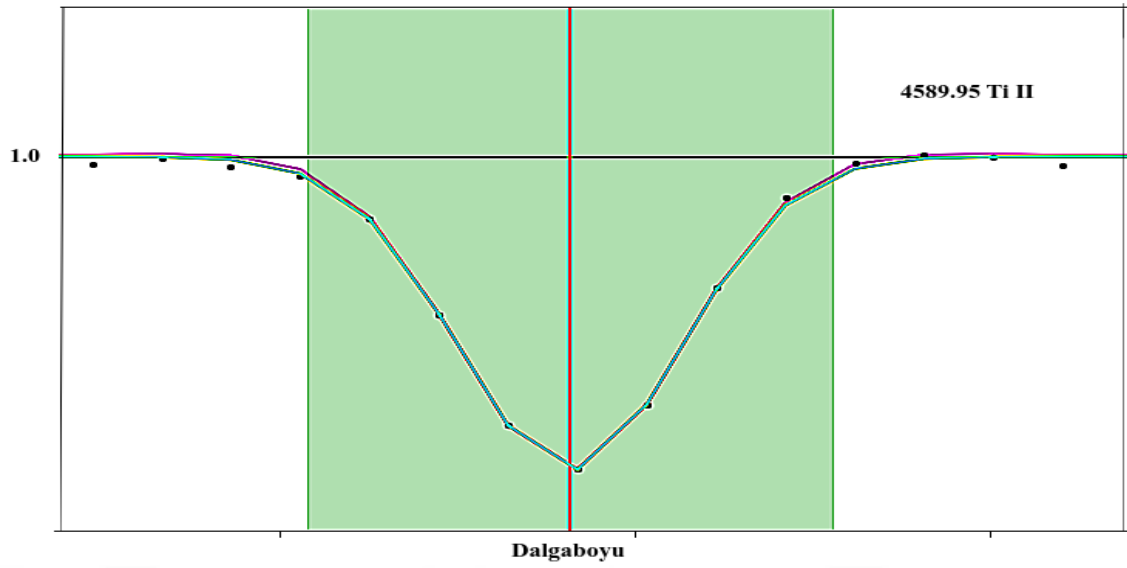
BF (Branching Fraction), geçiş olasılığı ve çizgi şiddeti ile ilişkilidir. Geçiş olasılığındaki belirsizlik çizgi şiddetindeki ve yaşam ömrü ölçümlerindeki belirsizliğe bağlıdır.

Literatürde sıklıkla kullanılan atomik veri kütüphaneleri; NIST (Atomic Spectra Database), VALD (Vienna Atomik Lines Database) ve HITRAN (High-Resolution Transmission Molecular Absorption Database) olarak sıralanabilir. Buna ek olarak literatürde spesifik element bazında çalışan ve laboratuvar ortamında atomik verileri derleyen gruplarda mevcuttur. Teşhisi gerçekleştirilen çizgilerin atomik verileri (alt düzey uyarılma potansiyeli, LEP ve geçiş olasılıkları $\log gf$), literatürdeki veri tabanları ve gruplar tarafından derlenmiştir. Teşhis edilen her element için kullanılan referanslar Ekler bölümünde Tablo 6.18 de verilmektedir.

3.6. Eşdeğer Genişlik Ölçümü

Yıldız atmosferinin atomik etkiler olamadan sürekli ışıma yaptığı kabul edilir. Atom veya moleküllerin bu sürekli ışımayı engellemesi sonucu akı değerinde bir değişme meydana gelir. Eşdeğer genişlik, bu akı değerindeki değişimin ortaya konması aşamasında tanımlanan bir parametredir. Eşdeğer genişlik (Equivalent Width - EW) bu çizgi profili ile aynı alana sahip dikdörtgenin alanı olarak tanımlanır (Şekil 3.14) ve çizgi şiddetinin bir ölçüsüdür: soğuran veya salma gösteren atomik geçişlerin sayısını verebilir. Eşdeğer genişlik analizi sonucu elde edilen tayfsal özellikler, çizgileri oluşturduğu atomik konfigürasyona bağlı olarak değişebilir.

Eşdeğer genişlik ölçümü aşamasında süreklilik seviyesinin hassas belirlenmesi önemlidir. Sürekli tayfin akı seviyesi, süreklilik seviyesi olarak adlandırılır ve bir emis-



Şekil 3.14. Eşdeğer genişlik ölçümü. Eşdeğer genişliği ölçülen çizgi için uydurulan Gauss fit de içerilmiştir.

yon/salma çizgisinde spektrum bu seviyenin üzerine çıkarken, bir absorpsiyon/soğurma çizgisinde spektrum bu seviyenin altına iner. Bu nedenle eşdeğer genişlik birimi dalga boyu birimleriyle aynıdır (Angstrom, Å). Bir eşdeğer genişlik çizgisinin alanı aşağıdaki ifade ile tanımlanır.

$$EW_{\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(1 - \frac{F_{\lambda}}{F_c}\right) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\frac{F_c - F_{\lambda}}{F_c}\right) d\lambda \quad (3.6)$$

Burada EW_{λ} , soğurma çizgisiyle aynı soğurma alanına sahip ve süreklilik seviyesiyle aynı yükseklikte bir dikdörtgenin genişliğini tanımlar. (veya Eşdeğer genişlik; çizgideki toplam akının F_c 'ye bölümüdür.). F_c ; sürekliliğin görelî akısı ve F_{λ} ise çizginin bağıl akısıdır. Salma durumunda $W_{\lambda} < 1$, soğurma durumunda ise $W_{\lambda} > 1$ 'dir.

Fotonları salan gaz içerisindeki atomların öteleme hareketleri nedeni ile çizgi profili bir Doppler genişlemesi tecrübe edebilir. Bu tez çalışması kapsamında eşdeğer genişlik ölçümleri için Interactive Data Language (IDL) ortamında danışman tarafından yazılan LIME kodu kullanılmıştır (Şekil 3.14).

3.7. Yıldız Atmosferi ve Model Atmosfer Yapısı

Yıldız atmosferi, bir yıldızın iç ve dış uzayı arasındaki ortamı temsil eder. Bir yıldızın tayfsal analizi, yıldız atmosferinin yapısını ve yıldız merkezinden atmosferine doğru yol alan radyasyon transfer sürecini betimlemeyi amaçlar. Tatmin edici bir analiz için gözlenen ve modellenen yıldız radyasyonu arasındaki en iyi eşleşmeyi temsil eden fiziksel koşulların belirlenmesi gerekir (Şahin 2008).

Etkin sıcaklık (T_{eff}), bu fiziksel koşulların modellenmesinde kullanılan parametrelerden bir tanesidir. Buna göre bir yıldızın etkin sıcaklığı, yıldız yüzeyinden birim zamanda ve birim alanda yayılan ışıınımı ile ilişkilendirilir (denklem 3.7; α , Stefan–Boltzmann sabitini; L , yıldızın ısıtma gücünü (luminosity) ve R ise yıldız yarıçapını temsil eder).

$$\alpha T_{eff}^4 = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda = F = \frac{L}{4\pi R^2} \quad (3.7)$$

Etkin sıcaklık (T_{eff}), genel olarak sürekliliğin olduğu atmosferik katmanın sıcaklığıdır. Soğurma çizgilerini oluşturan bölgenin sıcaklığı etkin sıcaklıktan daha düşüktür. Ek olarak, farklı derinlik ve sıcaklıkta oluşan tayf çizgileri, etkin sıcaklığın tespitinde kullanılır. Etkin sıcaklık, belirlenen çizgilerin atomik verileri (alt uyarılma potansiyelleri ve geçiş olasılıkları) ve eşdeğer genişlikleri yardımıyla tespit edilir.

Bir yıldızın tayfını analiz etmek, tayfı oluşturan atmosfer katmanına ilişkin etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$), metal bolluğu ($[Fe/H]$), microturbülans hızı (ξ) gibi parametrelerin (model atmosfer parametreleri) belirlenmesi ile mümkündür (Gonzalez ve Lambert 1996; Fuhrmann vd. 1997). Bu özellikler, doğrudan yıldız tayfindan belirlenebilen özelliklerdir.

Model atmosfer parametreleri yardımı ile model bir yıldız atmosferi (model atmosphere) oluşturulur. Yerel termodinamik denge (Local Thermodynamic Equilibrium, LTE) koşulu altında yıldız atmosferi, alt katmanlarına ayrıştırılarak incelenir. LTE yaklaşım altında her bir alt katmanın yerel olarak bir karacisim gibi ışıma yaptığı kabul edilir. Yani ışıınım şiddeti, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Planck fonksiyonu ile ifade edilir ($S_v = B_v(T)$, Denklem 3.8). Model atmosfer hesabı için bu katmanlar boyunca transfer edilen ışıının temsiliyeti büyük önem taşır. Işıının transferine yönelik detayların ortaya konması aşamasında ışıınım transfer denkleminde (Radiative Transfer Equation – RTE)

yararlanılır. Kaynak fonksiyonu, ışıınım transfer denkleminin çözümü aşamasında gözlenen ışıınım şiddet değerinin modellenmesine imkan tanıyan önemli bir parametredir ve salma katsayısı ile soğurma katsayısının oranı ($S_v = \epsilon_v / \kappa_v$) olarak tanımlanır.

$$B_v(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (3.8)$$

Bir yıldız için model atmosfer parametrelerinin tayini ve sonucunda atmosferinin kimyasal kompozisyonuna ilişkin detayların belirlenmesi için yıldız atmosferinin hesaplanması aşamasında düzlem-paralel geometri, hidrostatik denge, radyatif denge ve yerel termodinamik denge (Local thermodynamic equilibrium, LTE) varsayımları yapılır. Atmosfer için düzlem-paralel bir geometri varsayımı, yıldızın fotosfer katmanının kalınlığının yıldız çapı ile kıyaslandığında oldukça ince olduğunu ifade eder. Buna göre tüm atmosfer katmanı homojen kabul edilir: Leke, granülasyon v.b gibi yapılar yok sayılır. Atmosferin tümü aynı kompozisyona sahiptir. Atmosferdeki hidrostatik denge kabulü ise kütle çekim kuvvetinin iç basınç ile dengede olduğu kabulüne dayanır (denklem 3.9). Denklem 3.9, basınç gradyenini yoğunluğun (ρ) ve çekim kuvvetinin (g) bir fonksiyonu olarak ifade eder.

$$\frac{dP(r)}{dr} - g\rho(r) = 0 \quad (3.9)$$

Bahsi geçen radyatif denge koşulu ise toplam radyasyonun optik derinlik ile sabit olduğunu ve atmosfere katkıda bulunan ilave bir enerji üretim kaynağının mümkün olmadığını ifade eder. Buna göre atmosfer boyunca transfer edilen enerjinin kaynağı, yıldız merkezinde gerçekleşen termonükleer reaksiyonlardır (denklem 3.10).

$$\frac{dF}{d\tau} = 0; \quad F = \int F_\lambda d\lambda = \sigma T_{eff}^4 \quad (3.10)$$

Yerel termodinamik dengedeki bir yıldız atmosferinde çarpışmasal süreçlerin radyatif süreçlere hakim olduğunu varsayılır. Bu yaklaşım altında varsayılan kabüller mevcuttur. Buna göre yıldız atmosferindeki parçacıkların Maxwell-Boltzmann hız dağılımına uygun hızlarla hareket ettikleri kabul edilir (denklem 3.11).

$$n_v dv = n \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} 4\pi v^2 dv \quad (3.11)$$

n_v , v hızına sahip birim hacimdeki parçacıkların sayısı; n toplam sayı yoğunluğu; $e^{-mv^2/2kT}$ ifadesi, T sıcaklığındaki bir ortamda parçacıkların sahip olması gereken hızı temsil eder.

3.7.1. ATLAS9 Model Atmosfer Kodu

ATLAS9 kodu, bölüm 3.7’de sıralanan fiziksel kabuller altında LTE yaklaşımı için bir boyutlu (1D), statik model atmosfer hesabı için kullanılır. Üretilen model atmosferlerde yeni donukluk dağılım fonksiyonları (new opacity distribution functions, ODFNEW) kullanılmıştır. Oluşturulan bu model atmosfer için girdi olarak etkin sıcaklık (T_{eff}), çekim ivmesi ($\log g$), metal bolluğu ($[Fe/H]$) ve mikrotürbülans (ξ) değeri kullanılır. ATLAS9 kodu, radyatif denge denklemi, hidrostatik denge denklemi ve hal denklemini birlikte çözer. Bunun sonucunda yıldıza ait $RHOX$, kütle fonksiyonu; T , sıcaklık; P , gaz basıncı; XNE , elektron sayı yoğunluğu; $ABROSS$, Rosseland opasitesi; $ACCRAD$, ışıınım soğurulmasından kaynaklanan ivme; $VTURB$, mikrotürbülans hızı; $FLXCNV$, konvektif olarak taşınan enerji akısı; $VCOMV$, konvektif taşınım hızı ve $VELSND$, ses hızı parametreleri hesaplanır (Şekil 3.15). Bu hesaplama, her bir katman (72 katman) için yapılır.

3.8. Model Atmosfer Parametre Tayini

Bu çalışmada yıldızların model atmosfer parametrelerinin hesaplanması için klasik spektroskopik analiz yöntemi kullanılmıştır. Klasik spektroskopik analiz yöntemine ek olarak yıldızların model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi aşamasında iSpec (Blanco-Cuaresma vd. 2014) kodu ile model grid yöntemi ve ARIADNE (Vines ve Jenkins, 2022) kodu yardımı ile SED analiz yöntemi kullanılmıştır. Klasik tayfsal analiz yöntemi ile elde edilen model parametreleri diğer yöntemler ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

3.8.1. Klasik Tayfsal Analiz Yöntemi

Şekil 3.16’de klasik tayfsal analiz aşamasına ilişkin örnek bir akış şeması gösterilmektedir. Klasik tayfsal analiz adımı ile model parametre tayini amacı ile MOOG (Snedden, 1973) kodu *abfind* rutini kullanılmıştır. Bu aşamada MOOG kodu için ihtiyaç duyulan

```

TEFF 6000. GRAVITY 4.00000 LTE
TITLE halpha
OPACITY IFOP 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0
CONVECTION ON 1.25 TURBULENCE OFF 0.00 0.00 0.00 0.00
ABUNDANCE SCALE 0.00316 ABUNDANCE CHANGE 1 0.92156 2 0.07844
ABUNDANCE CHANGE 3 -10.94 4 -10.64 5 -9.49 6 -3.52 7 -4.12 8 -2.81
ABUNDANCE CHANGE 9 -7.48 10 -3.56 11 -5.71 12 -4.06 13 -5.57 14 -4.09
ABUNDANCE CHANGE 15 -6.59 16 -4.31 17 -6.54 18 -5.24 19 -6.92 20 -5.28
ABUNDANCE CHANGE 21 -8.87 22 -6.62 23 -8.04 24 -6.37 25 -6.65 26 -4.54
ABUNDANCE CHANGE 27 -7.12 28 -5.79 29 -7.83 30 -7.44 31 -9.16 32 -8.63
ABUNDANCE CHANGE 33 -9.67 34 -8.69 35 -9.41 36 -8.81 37 -9.44 38 -9.14
ABUNDANCE CHANGE 39 -9.80 40 -9.54 41 -10.62 42 -10.12 43 -20.00 44 -10.20
ABUNDANCE CHANGE 45 -10.92 46 -10.35 47 -11.10 48 -10.18 49 -10.58 50 -10.04
ABUNDANCE CHANGE 51 -11.04 52 -9.80 53 -10.53 54 -9.81 55 -10.92 56 -9.91
ABUNDANCE CHANGE 57 -10.82 58 -10.49 59 -11.33 60 -10.54 61 -20.00 62 -11.04
ABUNDANCE CHANGE 63 -11.53 64 -10.92 65 -11.94 66 -10.94 67 -11.78 68 -11.11
ABUNDANCE CHANGE 69 -12.04 70 -10.96 71 -11.28 72 -11.16 73 -11.91 74 -10.93
ABUNDANCE CHANGE 75 -11.77 76 -10.59 77 -10.69 78 -10.24 79 -11.03 80 -10.95
ABUNDANCE CHANGE 81 -11.14 82 -10.19 83 -11.33 84 -20.00 85 -20.00 86 -20.00
ABUNDANCE CHANGE 87 -20.00 88 -20.00 89 -20.00 90 -11.92 91 -20.00 92 -12.51
ABUNDANCE CHANGE 93 -20.00 94 -20.00 95 -20.00 96 -20.00 97 -20.00 98 -20.00
ABUNDANCE CHANGE 99 -20.00
READ DECK 6 72 RHODX,T,P,XNE,ABROSS,ACCRAD,VTURB, FLXCNV,VCONV,VELSND
9.93903167E-04 4338.0 9.939E+00 1.301E+09 1.342E-04 5.436E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.797E+05
1.31489174E-03 4353.4 1.315E+01 1.598E+09 1.429E-04 5.468E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.608E+05
1.71880976E-03 4362.5 1.719E+01 1.899E+09 1.507E-04 5.492E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.466E+05
2.2227509E-03 4377.1 2.222E+01 2.296E+09 1.635E-04 5.533E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.365E+05
2.83989956E-03 4390.7 2.840E+01 2.748E+09 1.781E-04 5.575E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.290E+05
3.59072500E-03 4406.3 3.591E+01 3.297E+09 1.966E-04 5.628E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.238E+05
4.49531672E-03 4421.9 4.495E+01 3.934E+09 2.181E-04 5.687E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.201E+05
5.57882663E-03 4438.3 5.579E+01 4.687E+09 2.435E-04 5.753E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.175E+05
6.86947631E-03 4455.1 6.869E+01 5.567E+09 2.731E-04 5.827E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.158E+05
8.40214829E-03 4471.8 8.402E+01 6.586E+09 3.070E-04 5.909E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.147E+05
1.02182201E-02 4488.6 1.022E+02 7.768E+09 3.459E-04 6.001E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.142E+05
1.23687776E-02 4504.8 1.237E+02 9.113E+09 3.894E-04 6.110E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.139E+05
1.49140439E-02 4521.1 1.491E+02 1.067E+10 4.391E-04 6.233E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.139E+05
1.79228599E-02 4537.3 1.792E+02 1.246E+10 4.954E-04 6.373E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.142E+05
2.14778812E-02 4553.4 2.148E+02 1.453E+10 5.592E-04 6.530E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.146E+05
2.56793458E-02 4569.2 2.568E+02 1.688E+10 6.310E-04 6.708E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.152E+05
3.06388667E-02 4585.8 3.064E+02 1.965E+10 7.136E-04 6.885E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.159E+05
3.64893994E-02 4602.0 3.649E+02 2.281E+10 8.061E-04 7.088E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.167E+05
4.33966072E-02 4618.0 4.340E+02 2.642E+10 9.104E-04 7.321E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.176E+05
5.15528488E-02 4633.8 5.155E+02 3.056E+10 1.028E-03 7.584E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.185E+05
6.11899963E-02 4649.3 6.119E+02 3.526E+10 1.160E-03 7.880E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.194E+05
7.25849574E-02 4664.4 7.258E+02 4.063E+10 1.307E-03 8.214E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.204E+05
8.60734123E-02 4679.0 8.607E+02 4.668E+10 1.472E-03 8.589E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.213E+05
1.02053775E-01 4693.3 1.021E+03 5.357E+10 1.656E-03 9.014E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.222E+05
1.21021842E-01 4706.4 1.210E+03 6.120E+10 1.858E-03 9.494E-03 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.231E+05
1.43565254E-01 4719.5 1.436E+03 6.989E+10 2.085E-03 1.004E-02 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.240E+05
1.70382233E-01 4731.7 1.704E+03 7.958E+10 2.335E-03 1.064E-02 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.248E+05
2.02306308E-01 4743.8 2.023E+03 9.058E+10 2.616E-03 1.132E-02 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.256E+05
2.40347242E-01 4755.1 2.403E+03 1.028E+11 2.926E-03 1.207E-02 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.264E+05
2.85682207E-01 4766.6 2.857E+03 1.168E+11 3.275E-03 1.291E-02 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.272E+05
3.39749052E-01 4777.2 3.397E+03 1.323E+11 3.659E-03 1.385E-02 1.000E+05 0.000E+00 0.000E+00 7.278E+05

```

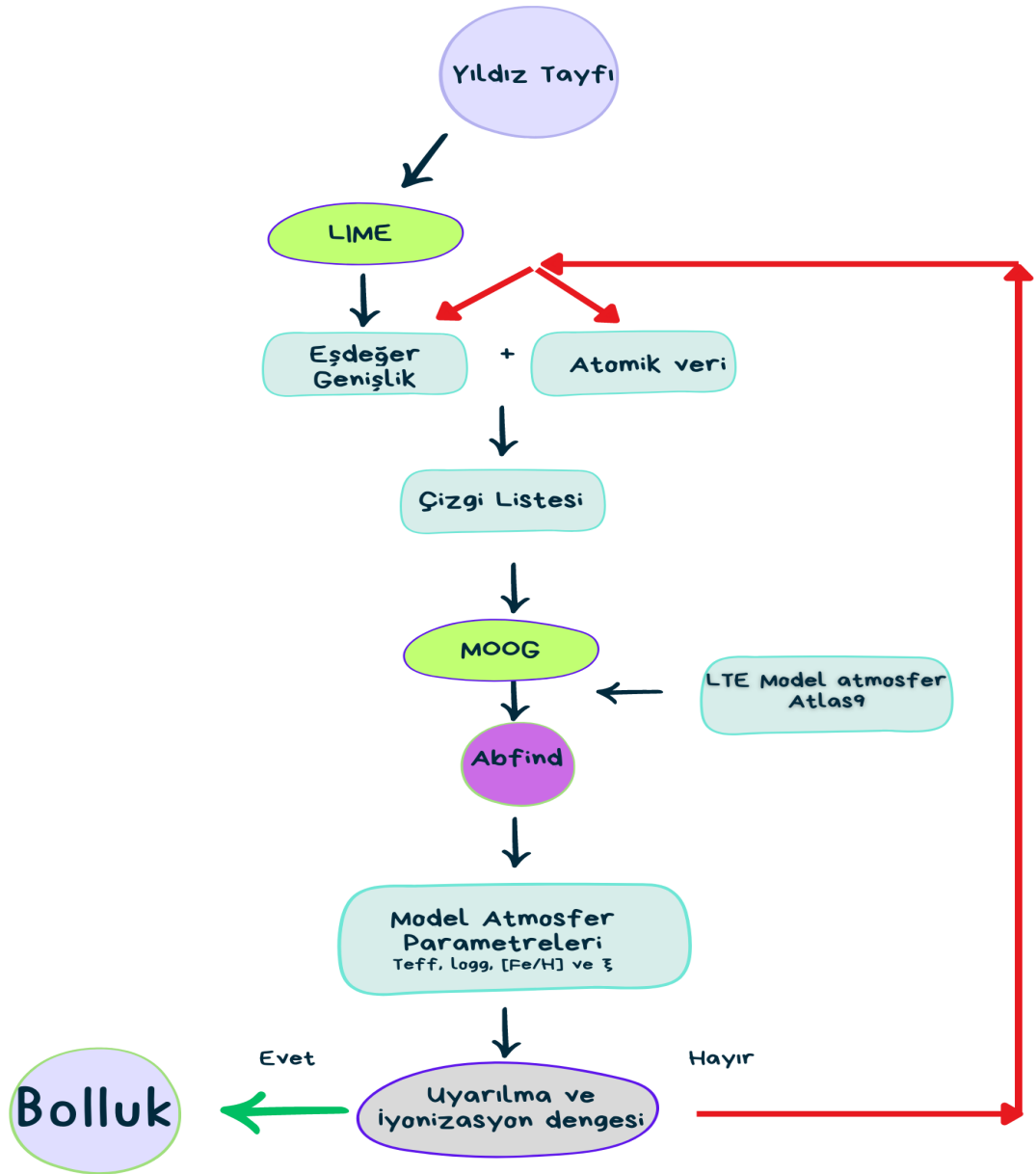
Şekil 3.15. Atlas9 kodunun sonuç dosyası. 1 ile 22 satır arası model atmosfer parametrelerini ve opasite kaynak anahtarlarını göstermektedir. Geri kalan satırlarda ise 72 katman için fiziksel parametreler gösterilmektedir.

diğer bir girdi ise hesaplanmış model atmosferdir. Model atmosferlerin hesaplanması aşamasında ATLAS9 (Castelli ve Kurucz, 2004) kodu kullanılmıştır. Takip eden süreçte model parametrelerinin belirlenmesi için yıldız atmosferinde uyarılma ve iyonizasyon dengeleri kıstas olarak alınmıştır. İyonizasyon dengesi yöntemini kullanabilmek için bir elementin iki farklı iyonizasyon düzeyine ait bilginin kullanılması gerekir. Yıldız tayfında, incelenen yıldızların orta tayf türünden olmaları nedeni ile Fe-gurubu elementlerine ait çok sayıda geçiş mevcuttur. Bu nedenle model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi aşamasında Fe elementi kullanılmıştır. Etkin sıcaklık, hesaplanan element bolluklarının sözkonusu bu geçişlere ilişkin uyarılma potansiyellerinden bağımsız olmaları kabülü altında belirlenmiştir. Çekim ivmesinin hesaplanması için FeI/II geçişlerinden elde edilen element bollukları için iyonizasyon dengesi koşulu esas alınmıştır. Fe elementine ek olarak TiI/II ve CrI/II iyonizasyon dengeleri de değerlendirilmiştir. Mikrotürbülans hızı, hesaplanan element bolluklarının tayftan ölçülen çizgi eşdeğer genişliklerinden bağımsız olması koşulu altında hesaplanmıştır. Belirlenen model atmosfer parametreleri, nihai element bolluklarının hesabında kullanılmak üzere nihai model atmosfer hesabı için kullanılır.

3.8.2. Model Grid yöntemi

Klasik tayfsal yöntem kullanılarak eşdeğer genişlik tekniği ile elde edilen model atmosfer parametreleri, Python tabanlı olarak tez kapsamında geliştirilen arayüz yardımı ile test edilmiştir. Model grid yöntemi, analiz için kullanılan yıldız tayfına en yakın sentetik tayfın bulunmasını gerektirir. Bu amaç ile önceden hesaplanmış bir model atmosfer havuzunun (model grid) oluşturulması gerekir. İhtiyaç duyulan model gridler için iSpec kodu içerisinde mevcut model gridlerden faydalanılmıştır. Kod içerisinde, MARCS-GESv6-atom-hfs-480-680nm, ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm ve ATLAS9 Castelli-GESv6-atom-hfs-480-680nm olmak üzere farklı sentetik tayf kütüphaneleri (model gridler) mevcuttur. ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm için bu model gridin içermiş olduğu sentetik tayf özellikleri (T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$) Şekil 3.17-3.18'de gösterilmektedir.

MARCS-GESv6-atom-hfs-480-680nm; 2500 - 4000 K sıcaklık aralığında 100 K adımlarla ve 4250 - 8000 K sıcaklık aralığında 250 K adımlarla, çekim ivmesinde -0.5



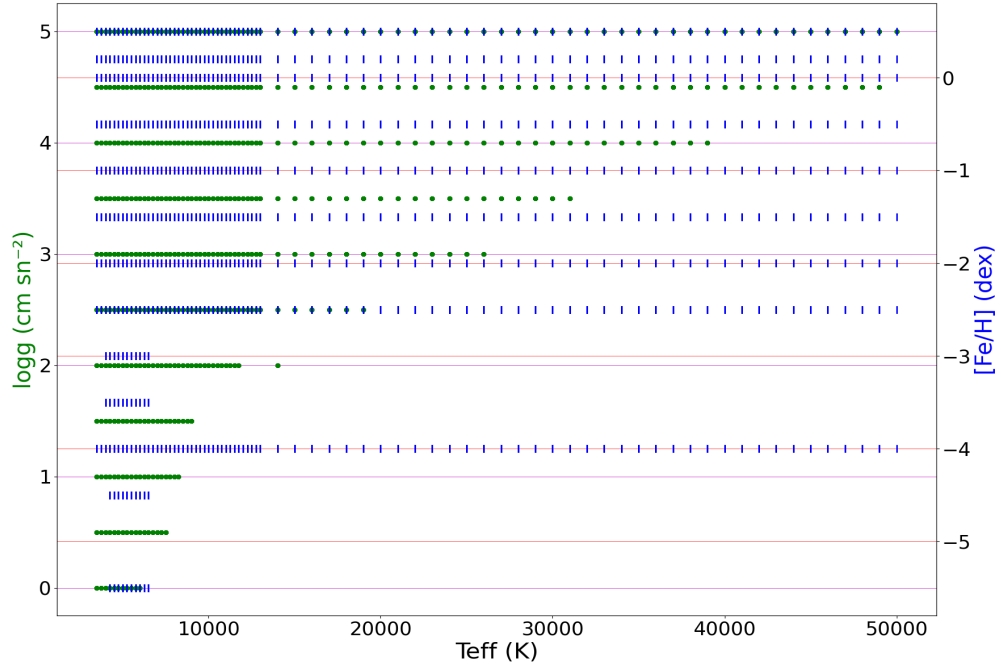
Şekil 3.16. Tayfsal analizli akış şeması

- 5.5 cgs aralığında ve 0.5 dex adımlarla, microturbülans da ise 0 ile 4 arasında ve 1 adımlık aralıklar ile hesaplanmıştır. MARCS model atmosferi ve GESv6-hfs çizgi listesi kullanılmıştır. Model grid 4800 ile 6800 Å dalgaboyu aralığını kapsamaktadır.

ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm; 3500 - 13 000 K sıcaklık aralığında 250 K adımlarla (çekim ivmesi, 0 - 5.5 cgs aralığında ve 0.5 adımlarla) ve 13 000 - 50 000 K sıcaklık aralığında 1000 K adımlarla (çekim ivmesi, 2 - 5.5 cgs aralığında ve 0.5 adımlarla), dex adımlarla, microturbülans da ise 0 ile 4 km/s arasında ve 1 km/s adımlık aralıklar ile hesaplanmıştır. Atlas9 model atmosferi ve SPECTRUM kodunun kullandığı çizgi listesi kullanılmıştır. Model grid 3800 ile 9000 Å dalgaboyu aralığını kapsamaktadır.

ATLAS9 Castelli-GESv6-atom-hfs-480-680nm; 3500 - 13 000 K sıcaklık aralığında 250 K adımlarla (çekim ivmesi, 0 - 5.5 cgs aralığında ve 0.5 adımlarla) ve 13 000 - 50 000 K sıcaklık aralığında 1000 K adımlarla (çekim ivmesi, 2 - 5.5 cgs aralığında ve 0.5 adımlarla), dex adımlarla, microturbülans da ise 0 ile 4 km/s arasında ve 1 km/s adımlık aralıklar ile hesaplanmıştır. Atlas9 model atmosferi ve GESv6-hfs çizgi listesi kullanılmıştır. Model grid 4800 ile 6800 Å dalgaboyu aralığını kapsamaktadır.

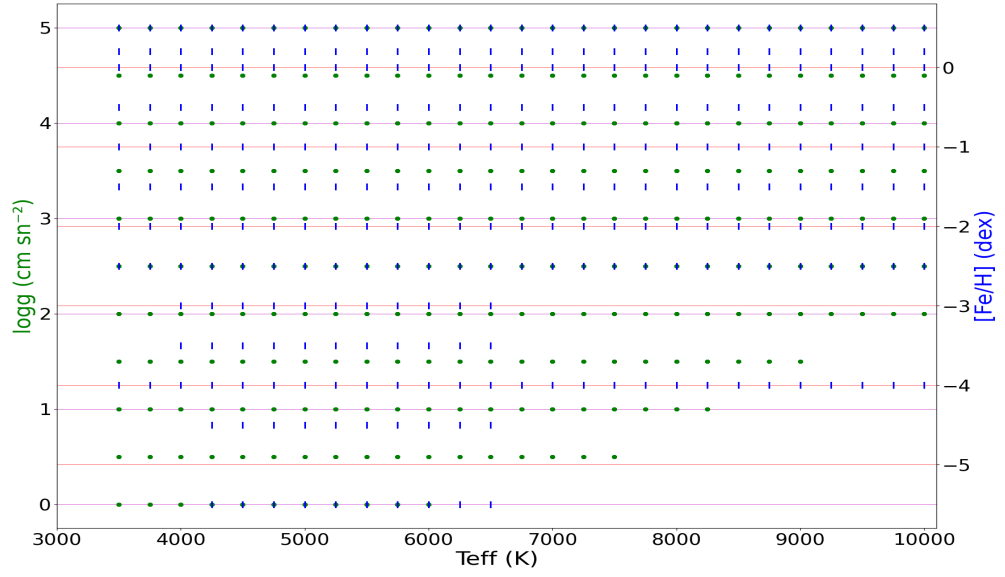
Model grid yöntemi ile model parametrelerinin tayini aşamasında yıldız tayflarının süreklilik ve dikine hız düzeltmelerinin yapılmış olması gerekir. Sentetik tayflar ile gözlenen tayfın birbiri ile karşılaştırılması aşamasında tayfın tümü yerine bu karşılaştırma işleminin tayfın seçilen belirli bölgelerinde (line region – çizgi bölgesi) gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu bölgelerin tespiti için çizgi merkez konumları etrafında 0.5 Å luk bir dalgaboyu bölgesi tanımlanmıştır (line segment). Bilindiği gibi her çizginin sahip olduğu alan ve kanat seviyesi aynı değildir. Dolayısıyla böyle bir segment aralığının (her çizgi için aynı) tanımlanması doğru sonuçlar doğurmayabilir. Bu husus, HD 63791 yıldızı için detaylı olarak test edilmiştir. Bu testler kapsamında gerek kod içerisinde mevcut çizgi kütüphanesi gerek ise tayfsal analizler için oluşturduğumuz çizgi atlası dikkate alınarak her bir çizgi için segment aralıkları interaktif olarak belirlenmiştir (Şekil 3.19). İkinci yaklaşım ile model grid yöntemi ile elde edilem parametre setinin klasik tayfsal yöntem ile elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmüştür. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlara ilişkin detaylar Bölüm 4'te ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.



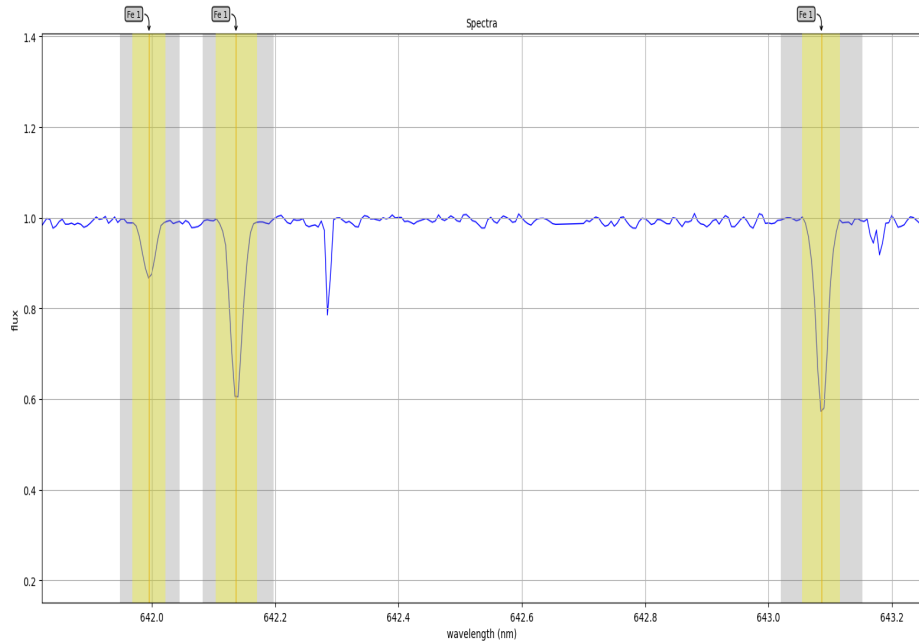
Şekil 3.17. SPECTRUM koduyla hesaplanmış ATLAS9 Castelli modelleri (3800 - 9000 Å) gösterilmektedir. T_{eff} : 3000 ile 50 000 K, $\log g$: 0 ile 5 cgs ve $[Fe/H]$: +0.5 ile -5 dex aralığındadır. x eksen sıcaklığı (T_{eff}), sol y eksen (yeşil nokta) $\log g$ değerini, sağ y eksen (mavi çizgi) ise metal bolluğunu $[Fe/H]$ temsil etmektedir.

3.8.3. Tayfsal Enerji Dağılım (SED) Yöntemi

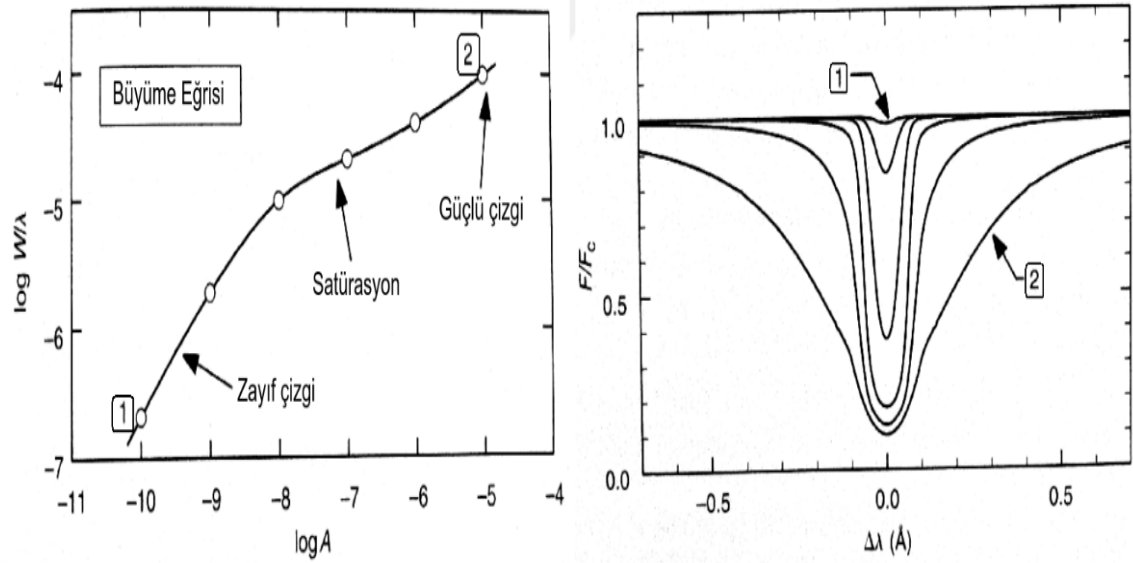
SED yöntemi, yıldız atmosferleri için farklı fotometrik bantlarda ölçülen fotometrik parlaklık değerlerinin akı değerlerine dönüştürülmesi temeline dayanan bir yöntemdir. SED analizi için python tabanlı ARIADNE (Vines ve Jenkins, 2022) kodu kullanılmıştır. ARIADNE kodu, yıldız için etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$), metal bolluğu $[Fe/H]$, sönükleşme (A_V), uzaklık (d), kütle (M), yarıçap (R) ve yaş (t) parametrelerinin elde edilmesine olanak tanır. Bu hesaplama aşamasında PHOENIX v2 (Husser vd. 2013), BT-Settl (Allard vd. 2012), BT-NextGen (Hauschildt vd. 1999), BT-Cond (Allard vd. 2012), Castelli-Kurucz (Castelli ve Kurucz 2004) ve KURUCZ (Kurucz 1993) gibi tayfsal analizler için literatürde sıklıkla tercih edilen sentetik tayf kütüphanelerinden yararlanır. SED'lerin oluşturulması aşamasında yıldızların güncel astrometrik ve fotometrik verileri



Şekil 3.18. Şekil 3.17’de gösterilen grafiğin belirli sıcaklık aralığını (T_{eff} : 3000 ile 11 000 T_{eff} K) göstermektedir. x eksen sıcaklığı (T_{eff}), sol y eksen (yeşil nokta) $logg$ değerini, sağ y eksen (mavi çizgi) ise metal bolluğunu $[Fe/H]$ temsil etmektedir.



Şekil 3.19. HD 63791 için iSpec ortamında segment aralıklarının manuel olarak yapılmasına ilişkin görsel



Şekil 3.20. Sol panel: büyüme eğrisi. sağ panel: çizgi profili. Şekil Yolalan (2019)'ın çalışmasından alınmıştır.

Gaia DR3 (Gaia işbirliği 2022) kataloğundan alınmaktadır. Bunlara ek olarak yıldızın diğer gökyüzü tarama programlarındaki fotometrik verileri de girdi olarak SED analizi için kullanıcı tarafından sağlanmak durumundadır. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlara ilişkin detaylar incelenen herbir yıldız için Bölüm 4'te ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

3.9. Element Bolluk Hesabı

Büyüme eğrisi, eşdeğer genişlik (EW_λ) olarak tanımlanan çizgi şiddetinin, (N_i) sayıda soğurucu atom tarafından tanımlanan kolon yoğunluğunun⁸ (column density) bir fonksiyonudur. Başka bir ifade ile eşdeğer genişlik ve çizgiyi oluşturan atomların sayısı arasındaki ilişkiyi verir. Bu ilişki ilgili çizginin element bolluğunu belirlemek için kullanılır. Düşük kolon yoğunluğunda (optikce ince) soğurucu atomlar genellikle temel durumdadırlar ve farklı enerjilerdeki fotonları soğurabilirler. Bu durumda soğurma çizgi için atom sayısı ile eşdeğer genişlik arasında doğrusal bir ilişki vardır. Yüksek kolon yoğunluklarındaki (optikce kalın) soğurucu atomlar daha fazla fotonu soğuramadıkları için soğurma çizgileri doygunlaşıp ve eşdeğer genişlik çok yavaş büyür (Şekil 3.20).

Tayfta geçişi tespit edilen elemente ait atomların sayısı o elemente ilişkin bolluğu temsil eder ve bolluk, Hidrojene göre ölçeklenir. Hidrojen için bolluk değeri $\log \epsilon(H) =$

⁸Birim yüzey başına soğurmaya katkıda bulunan atomun sayısını ifade eder.

12.0'dır. Göz önüne alınan bir çizgi için eşdeğer genişlik ve kimyasal bolluk arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$\log\left(\frac{EW_\lambda}{\lambda}\right) = \log\left(\frac{\pi e^2 N_r H_H}{mc^2 u(T) N_E}\right) + \log(A) + \log(gf\lambda) - \frac{5040}{T}\chi - \log(\kappa_\nu) \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'de yer alan EW_λ , eşdeğer genişliği; e , elektron yükünü; N_r , birim hacimdeki hidrojen sayısını; H_H , $(m e c \lambda)$ 'nın bir fonksiyonunu; m , elektron kütlesini; c , ışık hızını; $u(T)$, partiyon fonksiyonunu; N_E , birim hacimdeki elektron sayısını; A , element bolluk değerini; g , istatistiksel ağırlığı; f , osilatör şiddetini; T , yıldız etkin sıcaklığını; χ , uyarılma potansiyelini ve κ_ν , soğurma katsayısını temsil eder.

FORTTRAN programlama dilinde yazılmış MOOG kodu, yıldız tayfları kullanılarak element bolluklarının belirlenmesini sağlar. İki farklı yöntem ile hesaplanacak bolluklar için *abfind* ve *synth* olmak üzere iki farklı alt rutine ve iki girdi dosyasına ihtiyaç duyulur. Tayfta teşhis edilen ve ölçümü gerçekleştirilen çizgiler için eşdeğer genişlik ve atomik veri bilgisini içerir girdi çizgi listesine ek olarak hesaplanan bir model atmosferlerin de koda girdi olarak sağlanması gerekir. LIME kodu, eşdeğer genişlik ölçümü sonrasında MOOG kodu için ihtiyaç duyulan girdi çizgi listesini otomatik olarak oluşturmaktadır. Gerekli olan model atmosferler ise ATLAS9 kodu ile hesaplanmıştır.

3.10. Yaş Analizleri

Bu çalışmada yıldızların yaşlarının belirlenmesi için literatürde sıklıkla kullanılan Bayes yaş tayin methodu kullanılmıştır. İlk olarak Pont ve Eyer (2004) tarafından kullanılan Bayes yaş tayin metodunda, teorik olarak hesaplanan yıldız parametreleri (τ , yaş; ζ , metal bolluğu; m , kütle), gözlemsel olarak elde edilen yıldız parametreleri (T_{eff} , $\log g$ ve $[M/H]$ ⁹) ile karşılaştırılır ve böylelikle yıldızın yaşı hesaplanır. Yöntem, Jørgensen ve Lindegren (2005) tarafından geliştirilmiştir. Bahsi geçen karşılaştırma işlemi içi PARSEC(Bressan vd, 2012) eş-yaş eğri kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphane metal bolluğu, $2.4 \leq [Fe/H] \leq 0.5$ dex aralığında değişen ve 0.1 dex adımlar ile hesaplanmış model eş-yaş eğrileri içermektedir. Hesaplanan gridler, $0 < \tau \leq 13$ Gyl aralığındaki yaş

⁹Metal bolluğunu temsil eder.

değerlerinin hesabını mümkün kılar. Yaş hesabı için modellerde benimsenen yaş adım değeri 0.1 Gyr'dır.

Bu yöntemde τ , ζ ve m parametrelerini bağımsız değişken olarak edildiği olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function –pdf) denklem 3.13 ile ifade edilir.

$$f(\tau, \zeta, m) \propto f_0(\tau, \zeta, m)L(\tau, \zeta, m) \quad (3.13)$$

Denklemde f_0 , başlangıç olasılık yoğunluk fonksiyonunu (prior probability density) ve L ise teorik ve gözlemsel değerlerin karşılaştırılmasını sağlayan olabilirlik (likelihood function) fonksiyonunu temsil etmektedir. f_0 fonksiyonu, 3.14 eşitliği ile ifade edilir.

$$f_0(\tau, \zeta, m) = \psi(\tau)\phi(\zeta)\xi(m) \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'te ψ , yıldız oluşum oranını (Stellar Formation Rate, SFR); ϕ , metal bolluğu dağılımını (priori metallicity distribution) ve ξ , başlangıç kütle fonksiyonunu (Initial Mass Function, IMF) temsil eder. Bu durumda, L olabilirlik (likelihood) fonksiyonu ise;

$$L(\tau, \zeta, m) = \left(\prod_{i=1}^n \frac{1}{(2\pi^{1/2})\sigma_i} \right) \exp\left(-\frac{\chi^2}{2}\right) \quad (3.15)$$

şeklinde tanımlanır ve burada χ aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i^{obs} - q_i^{model}(\tau, \zeta, m)}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3.16)$$

Burada q_i gözlemsel ve model parametreleri ifade eden bir fonksiyondur ve σ_i ise her parametrenin hatasını temsil eder. Denklem 3.9'ü 3.10 ile birlikte yazdıktan sonra ζ ve m üzerinden integrali alınarak aşağıda verilen denklem elde edilir ve bu denklem sadece τ (yani yaş) bağımlıdır.

$$f(\tau) \propto \psi(\tau)G(\tau) \quad (3.17)$$

Burada ψ yıldız oluşum oranı (SFR) ve $G(\tau)$ ise gözlemsel parametreler ile teorik modellerin karşılaştırılması sonucu yaşı'nın göreceli olasılığı olarak tahmin edilir ve aşağıdaki denklem ile verilir.

$$G(\tau) \propto \iint L(\tau, \zeta, m) \xi(m) dm d\zeta \quad (3.18)$$

başlangıç kütle fonksiyonu (IMF) $\xi(m) \propto m^{-a}$ olarak ifade edilir ve $a = 2.7$ olarak alınır. $G(\tau)$ maksimum değerini bulmak için denklem 3.18 1'e normalize edilir. Normalize edilen bu denklem üzerinden her eş-yaş eğrisi için $G(\tau)$ fonksiyonu hesaplanır ve en yüksek olasılık değeri yıldız için elde edilen yaş değeri olarak kabul edilir. Tez çalışması kapsamında incelenen yıldızlar için yaş hesabına ilişkin detaylar 4. bölümde detayları ile paylaşılmıştır.

3.11. Kinematik Analizler

Tez kapsamında gerçekleştirilen kinematik analizler, herbir yıldızla ait uzay hız bileşenlerinin (U, V, W) hesaplanmasını gerektirir. Yıldızla ait uzay hızı (Space velocity, S) bu hız bileşenleri cinsinden ifade edilir. U , galaktik merkez doğrultusundaki uzay hız bileşenini; V , galaksi merkezi etrafındaki yörünge üzerindeki yörüngeye teğet hız bileşenini ve W ise kuzey galaktik kutup doğrultusundaki hız bileşenini ifade eder (Şekil 3.21). Yıldızların kinematik analizleri için ihtiyaç duyulan veriler: ekvatorial ve Galaktik koordinatları, öz hareket, dikine hız ve paralaks (veya uzaklık) verileri GAIA'nın en güncel sürümü olan GAIA DR3 (Gaia işbirliği, 2022)'ten temin edilmiştir.

Yıldızların uzay hızlarının (U, V, ve W) belirlenmesinde Johnson ve Soderblom (1987) tarafından verilen reçete kullanılmıştır ve bu hesaplama için 6 parametreye ihtiyaç duyulur; sağ açıklık (α), dik açıklık (δ), sağ açıklıktaki öz hareket (μ_α), dik açıklıktaki öz hareket (μ_δ), paralaks (π) (veya uzaklık, d) ve dikine hız (V_R) bileşenleridir. Ayrıca bu parametreler, yıldızların uzay hızı hatalarının hesaplanmasına da olanak sağlar. Uzay hızlarının hesaplanması için Blaauw vd. (1960) tarafından tanımlanan ve üç temel açı ile ifade edilen Galaktik koordinant sistemi kullanılmıştır. Kuzey Galaktik Kutup noktasının ekvatoriyel koordinatları ($\alpha_{K GK} = 192^\circ .85948$ ve $\delta_{K GK} = 27^\circ .12825$ (J2000)) bu açılardan ikisini temsil etmektedir. Bu değerler aşağıda verilen T matrisinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$T = \begin{bmatrix} -0.0548755604 & -0.8734370902 & -0.483835015 \\ +0.4941094279 & -0.4448296300 & +0.7469822445 \\ -0.8676661490 & -0.1980763734 & +0.4559837762 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Aşağıda verilen dönüşümler için T matrisi kullanılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Aşağıda verilen A matrisi uzay hızı bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılır ve uzay hızı hesaplanacak olan cismin verileri ile hesaplanır.

$$A = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta & -\sin \alpha & -\cos \alpha \cos \delta \\ \sin \alpha \cos \delta & \cos \alpha & -\sin \alpha \cos \delta \\ \sin \delta & 0 & \cos \delta \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Bu bağıntılar ile birlikte yıldızların uzay hızlarının hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır. B matrisi, T matrisi ile A matrisinin çarpımı ile elde edilir (B= T x A). k parametresi ise sabit değere sahiptir (k= 4,74057).

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} V_R \\ k\mu_\alpha/\pi \\ k\mu_\delta/\pi \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Uzay hızı hata hesabı için yıldızların α ve δ ekvatorial koordinatlarının hatasız olduğu varsayılır. Buna göre uzay hızındaki hatalar, öz hareketlere (μ_α ve μ_δ), paralaks (π) ve radyal hıza (V_R) bağlıdır. Uzay hızı hata hesabı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır. Bu denklemde B matrisinin her bir elemanın karesi alınarak C matrisi oluşturulmuştur.

$$\begin{bmatrix} \sigma_U^2 \\ \sigma_V^2 \\ \sigma_W^2 \end{bmatrix} C = \begin{bmatrix} \sigma_{V_R}^2 \\ (k/\pi)^2 [\sigma_{\mu_\alpha}^2 + (\mu_\alpha \sigma_\pi / \pi)^2] \\ (k/\pi)^2 [\sigma_{\mu_\delta}^2 + (\mu_\delta \sigma_\pi / \pi)^2] \end{bmatrix} + 2\mu_\alpha \mu_\delta k^2 \sigma_\pi^2 / \pi^4 \begin{bmatrix} b_{12}b_{13} \\ b_{22}b_{23} \\ b_{32}b_{33} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Yıldızlar, Galaksi merkezi etrafında belirli yörüngelerde hareket ederler. Dünya tabanlı olarak gerçekleştirilen uzay hızı ölçümlerinin Güneşin uzay hızı değerinden arındırılması gerekir. Bu düzeltme, LSR (Local Standard of Rest, Yerel Durağanlık Standardı) düzeltmesi olarak bilinir. LSR düzeltmesi için Coşkunoğlu vd. (2011) tarafından rapor edilen $U_{\odot} = 8.50 \pm 0.29$, $V_{\odot} = 13.38 \pm 0.43$, $W_{\odot} = 6.49 \pm 0.26$ km/s düzeltme değerleri kullanılmıştır.

Yıldızların Galaksi merkezi etrafındaki hareketleri çoğu zaman düzenli değildir. Eliptik yörüngede hareket eden bir yıldız yörüngesi üzerindeki hareketi esnasında Galaksi merkezine yaklaştıkça hızı artacak uzaklaştığında ise azalacaktır. Bu etki, diferansiyel dönme (differential rotation) olarak adlandırılır. Yıldızların uzay hız bileşenlerindeki bu etkinin giderilmesi için diferansiyel hız düzeltmesinin de yapılması gerekir. Diferansiyel dönme düzeltilmesi sadece U ve V uzay hızı bileşenlerine yapılır. Çünkü W bileşen Kuzey Galaktik Kutup yönünde olduğundan bu etki, bu uzay hız bileşenini etkilemeyecektir. Diferansiyel dönme düzeltmesi için Mihalas ve Binney (1981) tarafından verilen bağıntı kullanılmıştır. U ve V uzay hızı bileşeni için bu bağıntı aşağıdaki denklemler ile verilmektedir.

$$dU = V_R \cos l - V_T \sin l \quad (3.24)$$

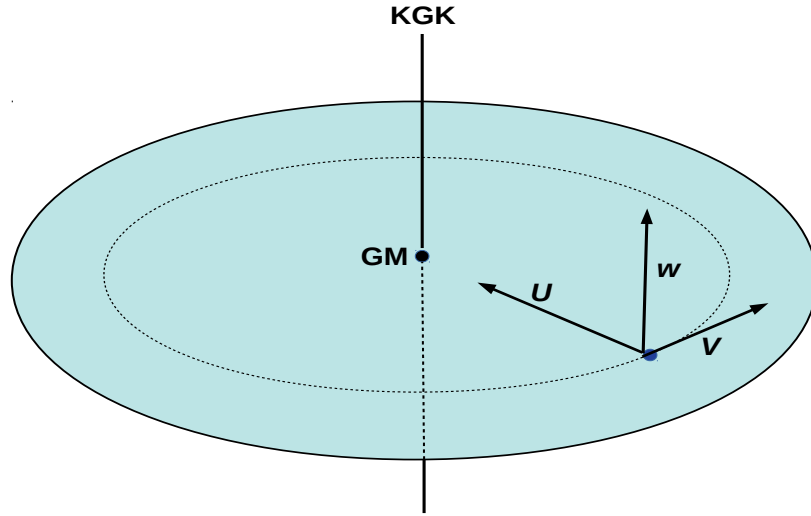
$$dV = V_R \sin l - V_T \cos l \quad (3.25)$$

Burada V_R radyal hız ve V_T ise teğetsel hız bileşendir. Bu bileşenler, 3.26 ve 3.27 no'lu denklemler yardımı ile tanımlanır. Denklemlerdeki A ve B sabitleri Oort sabitleri¹⁰ olarak bilinir ve değerleri Mihalas ve Binney, (1981) çalışmasından alınmıştır ($A = 14.8$ km/s kpc⁻¹ ve $B = 12.4$ km/s kpc⁻¹).

$$V_R = Ad \sin 2l \quad (3.26)$$

$$V_T = d(A \cos 2l + B) \quad (3.27)$$

¹⁰Gökadamızın dönüş özelliklerini temsil eden sabitlerdir.



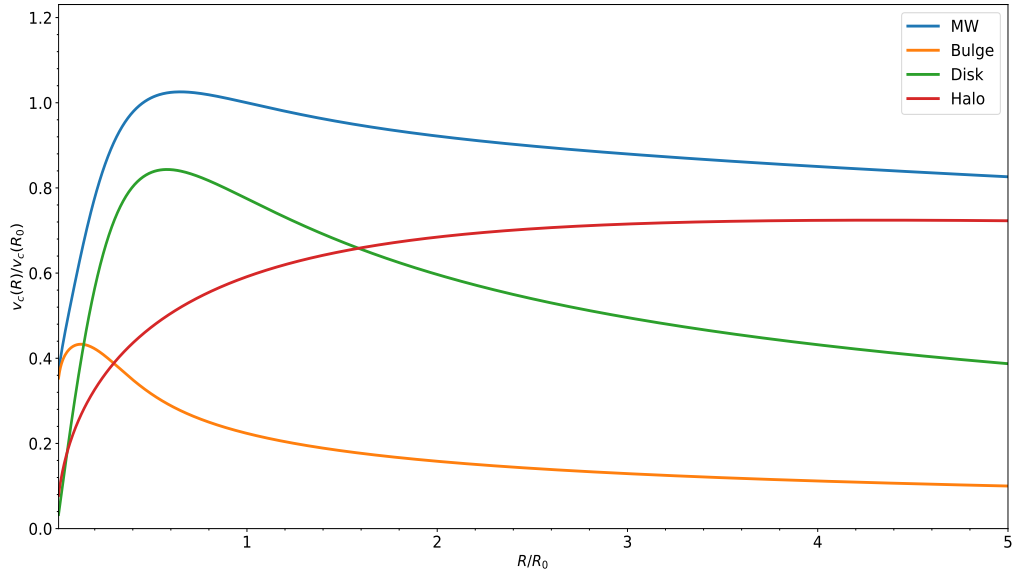
Şekil 3.21. Sağ el koordinant sistemi. GM: Galaksi merkezi, KGK: Kuzay galaktik kutbu, U, V ve W uzay hızı bileşenlerini temsil etmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenen yıldızlar için gerçekleştirilen kinematik analizlere ilişkin bulgular 4. bölümde detayları ile paylaşılmıştır.

3.12. Yörünge Dinamik Analizler

Bir yıldızın galaktik popülasyon üyeliğinin tespiti için literatürde sıralanan farklı yöntemler mevcuttur. Bensby vd. (2003), yıldızların uzay hız bileşenleri ile popülasyon üyelikleri arasında bir ilişki kurmuştur. Fakat bu yöntem, yıldız popülasyonların belirlenmesi aşamasında tek başına yetersiz kalmıştır. Popülasyon üyelik durumunun belirlenmesi aşamasında yıldızların metal bollukları, yaşları, uzay hızları ve yörüngelerinin de hesaba katılması gerekir. Bu çalışmada yıldız popülasyon üyelikleri, yıldızlar için hesaplanan metal bollukları, yaşları, uzay hızları ve yörünge parametreleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Yörünge parametreleri, Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri tanımlamak için yeterlidir. Bu sayede zamanda geriye giderek yıldızların geçmişteki konumları hakkında bilgi edinmek mümkündür.

Yörünge parametrelerinin (Z_{max} , R_a , R_p , e_p) belirlenmesi için Python ortamında işlenen *Galpy* (Bovy, 2015) kütüphanesi kullanılmıştır. *Galpy* kütüphanesi içerisinde tanımlı



Şekil 3.22. MWPotential2014 potansiyeli altında galaktik dönme eğrisi (32 pc'ye kadar). Galaktik bileşenlerin (şişkin bölge, turuncu; disk, yeşil; halo, kırmızı) Galaksimizin toplam potansiyeline (mavi, MW) olan katkısı görülmektedir (Bovy 2015). X eksenini Galaksi merkezine göre Güneş'in indirgenmiş uzaklığını, Y eksenini ise Galaksi merkezinden uzaklığına bağlı olarak Güneş'in dairesel hızını temsil etmektedir.

MWPotential2014 (Milky-Way-like potentials) potansiyeli gökadamızın şişkin bölgesi, halosu ve disk bileşenleri için (Şekil 3.22), günümüz galaktik verilere en iyi uyum gösteren potansiyeldir.

Burada $Z_{\max}$; yıldızın yörünge hareketi boyunca galaktik düzlemden düzleme dik doğrultuda uzaklaşabileceği maksimum mesafeyi ifade eder. R_a , yörüngesi üzerinde galaksi merkezine olan en yakın mesafeyi, R_p ise Galaksi merkezine olan en uzak mesafeyi temsil etmektedir. e_p , yörünge basıklık parametresi olarak bilinir. Bu parametrelerin hesabı için integrasyon zamanı olarak 13 Gyıl olarak seçilmiştir ve bu zaman diliminde 13000 adımlık bir integrasyon yardımı ile parametreler hesaplanmıştır. Galaktik merkeze olan ortalama uzaklığı (R_m) bulmak için işe aşağıdaki denlmeden yararlanılmıştır.

$$R_m = \frac{R_a + R_p}{2} \quad (3.28)$$

Tez çalışması kapsamında incelenen yıldızlar için gerçekleştirilen yörünge dinamik

analizlere ilişkin detaylara takip eden bölümde yer verilmektedir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. HD 8724 (Gaia DR3 2593188145361730432)

4.1.1. Klasik Tayfsal Analiz

HD 8724 için gerçekleştirilen analiz adımları, HD 63791 ve HD 195633 yıldızlarına da uygulanmıştır.

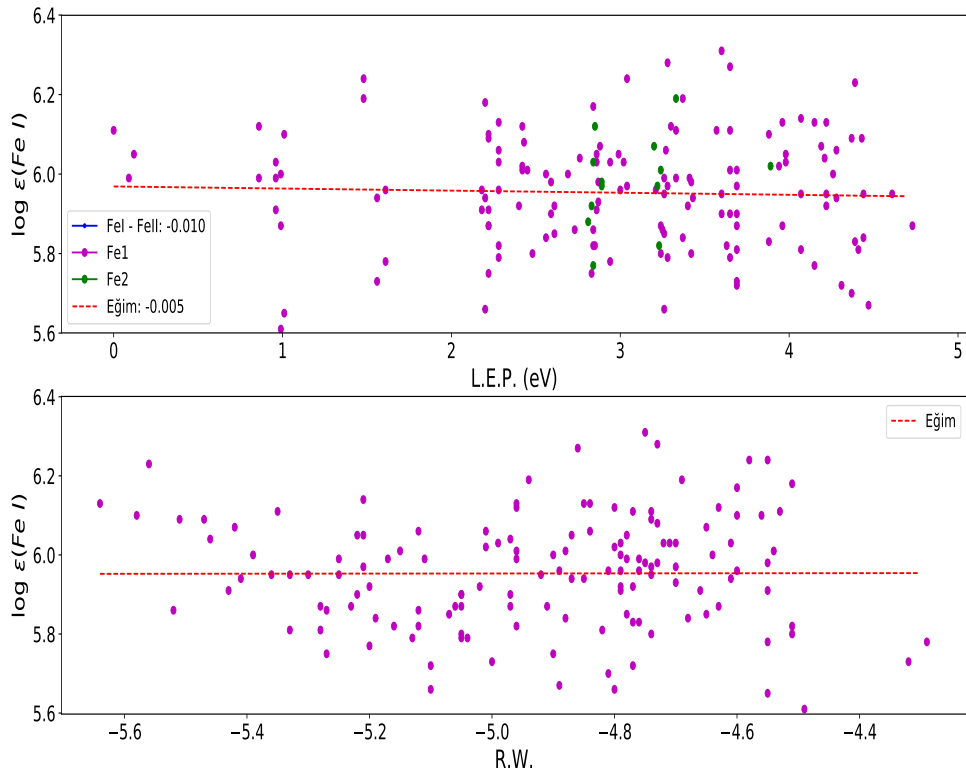
Süreklilik ve dikine hız düzeltmesi yapılan tayflar üzerinde çizgi teşhisi LIME kodu ile yapılmıştır. Teşhis edilen çizgiler için atomik veri literatürden derlenmiş ve böylece element bolluk analizi kullanılacak nihai çizgi listesi belirlenmiştir. Belirlenen bu listedeki çizgilerin eşdeğer genişlikleri LIME kodu ile ölçülmüştür.

Model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi aşamasında çok sayıda geçişe sahip nötral (FeI) ve iyonize (FeII) demir çizgileri kullanılmıştır. Etkin sıcaklığın (T_{eff}) tespiti için nötral çizgilere duyarlı olan uyarılma dengesi (excitation balance) yöntemi kullanılmıştır (bkz. Şekil 4.23 üst panel). Çekim ivmesinin ($\log g$) hesaplanması aşamasında analiz için seçilmiş elementin nötral ve iyonize bolluk değerleri arasındaki farkın en küçük olması koşulu esas alınmıştır (iyonizasyon denge koşulu). Fe elementinin yanı sıra Ti ve Cr elementleri için de iyonizasyon dengesi hesaplanmış ve Fe ile uyumu değerlendirilmiştir. Microturbülans parametre (ξ) hesabı için hesaplanan logaritmik bolluk değerlerinin çizgi eşdeğer genişliklerinden bağımsız olması koşulu sağlanmaya çalışılmıştır (bkz. Şekil 4.23 alt panel). Metal bolluğunun tespiti aşamasında Fe çizgileri bolluk değerinin işaret ettiği metalisite ($[\text{Fe}/\text{H}]$) değeri ile nihai atmosfer modeli metalisite uyumu dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında klasik tayfsal analiz yöntemi ile HD 8724 yıldızı için elde edilen model atmosfer parametreleri Tablo 4.2’de sunulmuştur. Elde edilen model parametreleri yıldız için literatürde rapor edilen değerler ile uyum içerisindedir (Şekil 4.23, EK-Tablo 6.19). Model atmosfer hesabı için FORTRAN tabanlı ATLAS9 (Castelli ve Kurucz, 2004) kodu kullanılmıştır. Element bolluklarının belirlenmesi aşamasında LTE koşul altında çalışan MOOG çizgi analiz kodu kullanılmıştır (Snedden, 1973).

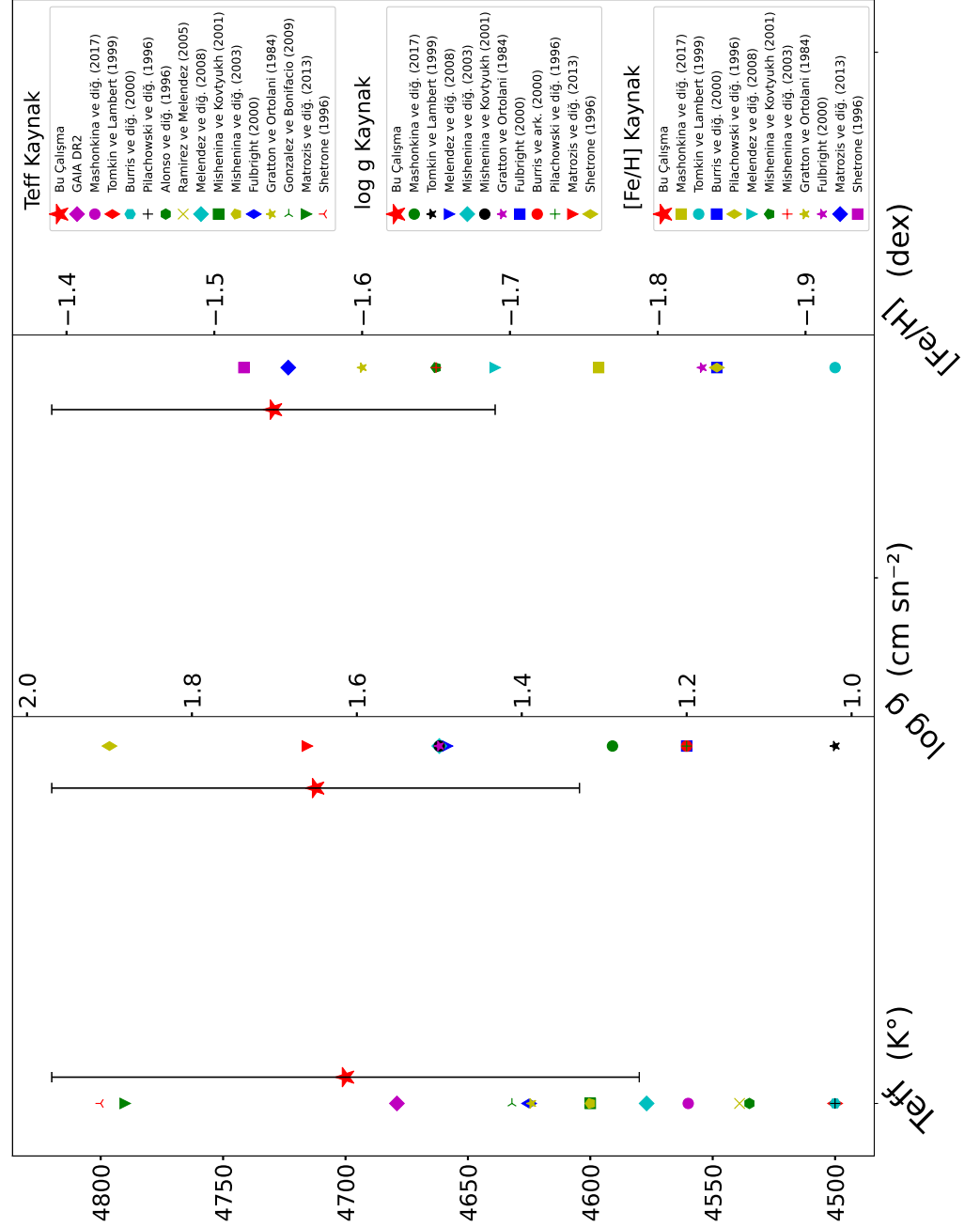
Atomik verilere ($\log gf$) ilişkin belirsizliklerin giderilmesi için yıldız tayflarında teşhis edilen çizgiler kullanılarak Güneş echelle tayfi üzerinde bolluk analizi gerçekleştirilmiştir. Güneş analizi için Kurucz vd. (1984) tarafından kullanılan 3 000 - 13 000 Å dalgaboyu aralığını kapsayan yüksek çözünürlüklü KPNO ($R=\lambda/\Delta\lambda=400\,000$) Güneş tayfi kulla-

Tablo 4.2. HD 8724, HD 63791, HD 195633 ve Güneş için hesaplanan model atmosfer parametreleri.

Yıldız	T_{eff}	$\log g$	[Fe/H]	ξ
	($^{\circ}K$)	(cgs)	(dex)	(km/s)
HD 8724	4700^{+110}_{-120}	$1.65^{+0.32}_{-0.33}$	$-1.54^{+0.15}_{-0.15}$	$1.49^{+0.50}_{-0.50}$
HD 63791	4770^{+120}_{-135}	$1.90^{+0.30}_{-0.35}$	$-1.56^{+0.16}_{-0.16}$	$1.52^{+0.50}_{-0.50}$
HD 195633	6100^{+195}_{-185}	3.95^{+30}_{-35}	$-0.48^{+0.15}_{-0.15}$	$1.26^{+0.50}_{-0.50}$
Güneş	5790^{+125}_{-125}	$4.40^{+0.16}_{-0.23}$	$0.00^{+0.10}_{-0.10}$	$0.68^{+0.50}_{-0.50}$



Şekil 4.23. Alt seviye uyartılma potansiyeli ve indirgenmiş eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak HD 8724 yıldızı için atmosferik parametrelerin MOOG yıldız atmosfer kodu yardımı ile tayini. Alt ve üst paneldeki düz kesikli çizgiler, verilere en küçük kareler yöntemi ile yapılan uydurmaları temsil etmektedir.

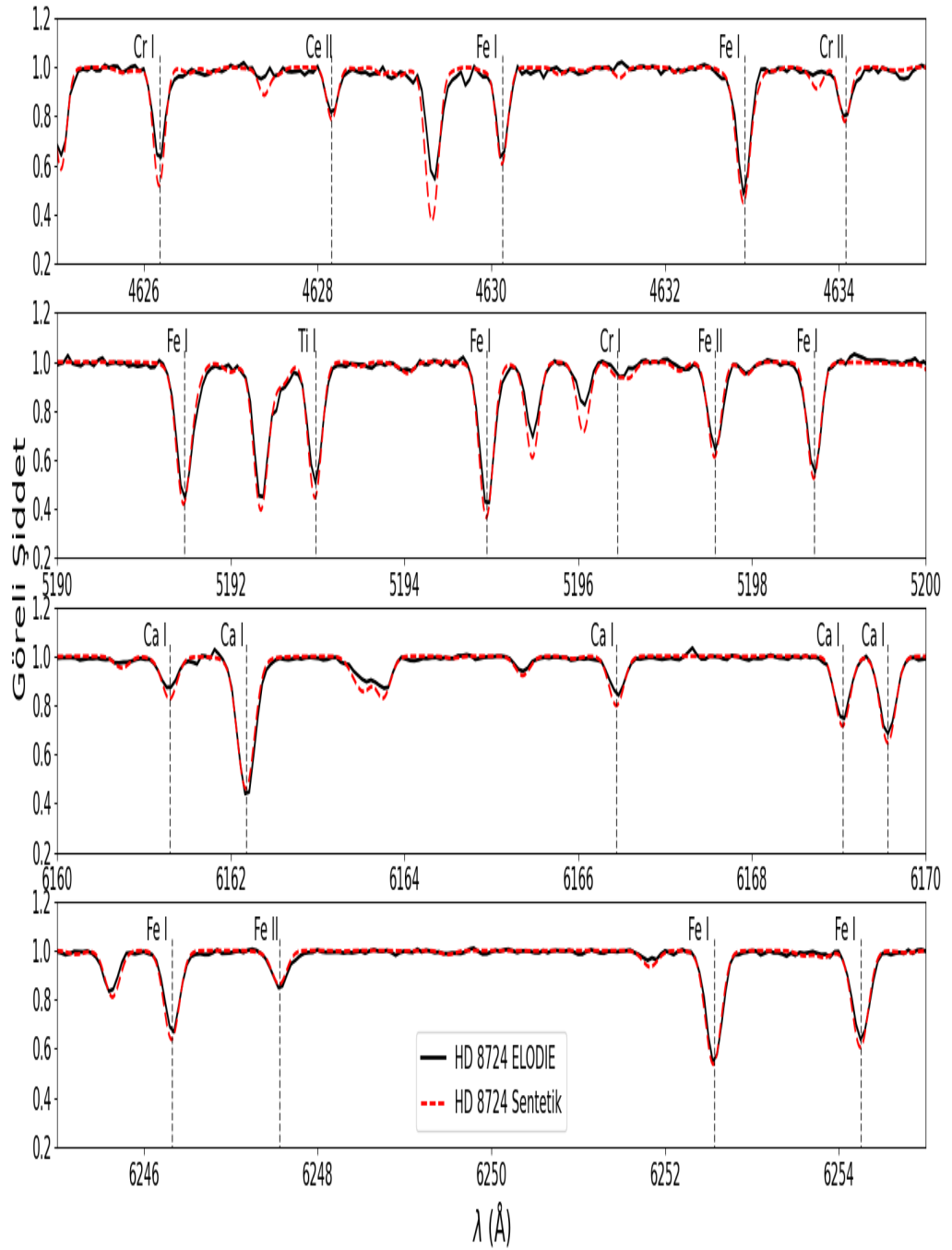


Şekil 4.24. HD 8724 yıldızı için literatürde rapor edilen model parametreleri. Tez kapsamında elde edilen model parametreleri de hataları ile birlikte içerilmiştir.

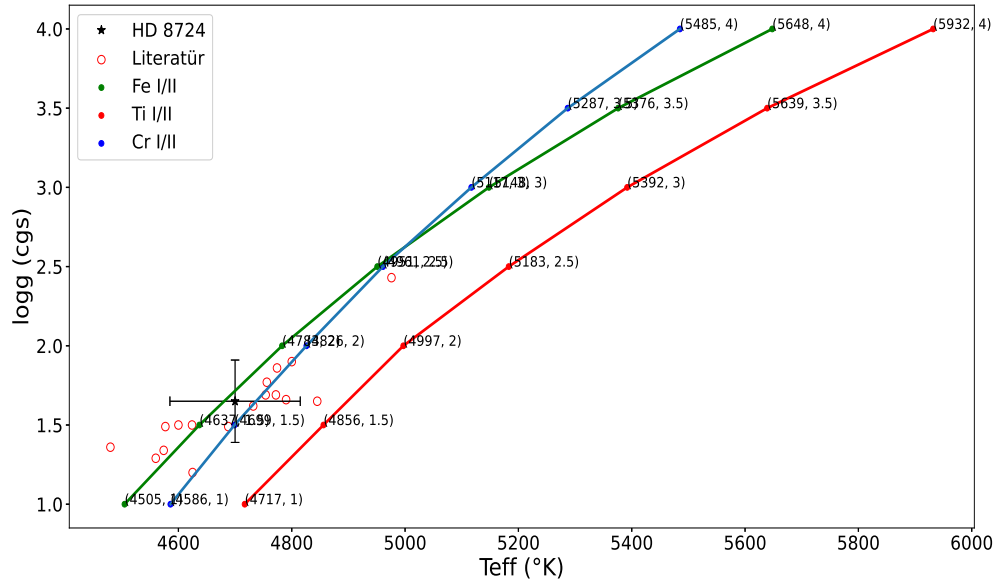
nılmıştır. Güneş'e ait model atmosfer parametreleri $T_{\text{eff}} = 5790^{+125}_{-125}$ K, $\log g = 4.40^{+0.16}_{-0.23}$ cgs ve $\xi = 0.68$ km/s olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu model atmosfer parametreleri, Güneş tayfı için element bolluklarının hesaplanması aşamasında kullanılmıştır. Logaritmik bollukların, [Element/H] ve [Element/Fe] oranlarına dönüştürülmesi aşamasında hesaplanan güneş bolluk değerleri kullanılmıştır (differential abundance analysis). Diferansiyel bolluk analizi yaklaşımı, eşdeğer genişlik ve geçiş olasılıklarından kaynaklanan belirsizliklerin ortadan kaldırılması aşamasında avantaj sağlamaktadır. Bu şekilde elde edilen bolluk değerlerinde LTE yaklaşımından kaynaklı belirsizliklerin de önüne geçilmiş olur. Güneş için hesaplanan element bollukları literatürde sıklıkla tercih edilen Asplund vd. (2009) çalışmasında rapor edilen Güneş element bolluk değerleri ile karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür (Tablo 4.3). Dikkat edilirse Asplund vd. (2009) tarafından rapor edilen güneş bolluk değerleri, tez çalışmasında Mg, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Ni, Y, Ce, ve Nd elementleri için hesaplanan güneş bolluk değerleri ile 0.1 dex içersinde uyumludur. Sc ve Mn elementleri için bu fark ≈ 0.2 dex civarındadır. Bu aşama ile Güneş tayfı bolluk analizi sonucu doğruluğu teyit edilen atomik verinin G tayf türü yıldızlarda tayfsal analizler için kullanılabileceği anlaşılmıştır.

HD 8724 için Tablo 4.2'de rapor edilen model parametreleri esas alınarak SPECTRUM (Gray, 2009) kodu ve ATLAS9–CASTELLI model atmosfer gridi kullanılarak hesaplanan sentetik tayf, yıldıza ilişkin gözlenen tayf ile birlikte Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Model ve gözlenen tayf uyumu dikkat çekicidir. Sentetik tayfın hesaplanması aşamasında Asplund vd. (2009) güneş bolluk değerleri ve Ges-V6 çizgi listesi esas alınmıştır (Şekil 4.25). Hesaplanan sentetik tayf, yıldız için hesaplanan element bolluk değerleri için sabitlenmiştir.

Elde edilen model atmosfer parametrelerinin test edilmesi için Kiel diyagramından yararlanılmıştır. Kiel diyagramının oluşturulması aşamasında T_{eff} için 3500 ile 7000 K aralığında ve 250 K'lık artışlarla, $\log g$ için 1.0 ile 4.0 cgs aralığında ve 0.5 cgs lik artış dikkate alınarak hesaplanan model atmosferler kullanılmıştır. Hesaplama aşamasında yıldız için belirlenen metaliste değeri dikkate alınmıştır. HD 8724 yıldızı için oluşturulan Kiel diyagramı, Şekil 4.26'de verilmiştir. Kiel diyagramları üzerinde analizi gerçekleştirilen HD 8724 yıldızı için hesaplanan Fe I/II, Cr I/II, Ti I/II iyonizasyon dengeleri de içerilmiştir. Tez çalışmasında elde edilen model parametre setinin Fe ve Cr için hesaplanan



Şekil 4.25. HD 8724 için ELODIE (siyah) yıldız tayfı ve tez kapsamında elde edilmiş model parametrelerle oluşturulan sentetik (kırmızı) tayfı.



Şekil 4.26. HD 8724 yıldızı için Kiel diyagramı. Kırmızı yuvarlak daireler, literatürde yıldız için rapor edilen T_{eff} $\log g$ değerleri ile göstermektedir.

iyonizasyon dengelerinin birbirine yaklaştığı bölgeye yakın konumlandığı görülmektedir. Nihai model parametre seti her iki iyonizasyon dengesinin birbirine yaklaştığı bu değer kümesi (T_{eff} , $\log g$) dikkate alınarak iterative olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak Kiel diyagramları üzerinde literatürde yıldız için listelenen model parametreleri de içerilmiştir.

Element bollukları üzerinde Non-LTE etkilerinin varlığı araştırılmıştır. Non-LTE bollukların elde edilmesi aşamasında INSPECT (Lind vd. 2012) arayüzünden yararlanılmıştır. HD 8724 tayfında model parametre tespitinde kullanılan Fe elementi için non-LTE bolluk değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin hesaplanan LTE bolluk değerinden sadece 0.05 dex farklı olduğu görülmüştür. Böylece, model parametreleri üzerindeki olası non-LTE etkilerin gözardı edilebilecek kadar küçük olduğu görülmüştür.

Yıldız için hesaplanan nihai element bolluk değerleri, hesaplanan güneş bolluk değerleri ile birlikte Tablo 4.3’de sunulmaktadır. Tablo 4.3’te hesaplanan [Element/H] bolluk oranları (ikinci sütun) ve analizde bolluk hesabı için kullanılan atomik geçişlerin sayısına (dördüncü sütun) ek olarak HD 8724 yıldız tayfında ölçülebilen tüm çizgiler üzerinden elde edilen [element/Fe] bolluk oranları (üçüncü sütun) ve hem Güneş tayfında hem de yıldız tayfında ortak çizgiler için elde edilen [Element/Fe] bolluk oranları (beşinci sütun)

Tablo 4.3. HD 8724 yıldızı için hesaplanan element bollukları $[X/Fe]$ gösterilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen Güneş bollukları ve Asplund vd. (2009)'nin çalışmalarında elde ettikleri Güneş bollukları verilmektedir.

Element	HD 8724				Tez çalışması		Asplund vd. (2009)	$\Delta \log \epsilon_{\odot}(X)$
	$[X/H]$	$[X/Fe]$	n	$[X/Fe]$	$\log \epsilon_{\odot}(X)$ (dex)	n	$\log \epsilon_{\odot}(X)$ (dex)	(dex)
Mg I	-1.36 ± 0.19	0.23 ± 0.19	4	0.34 ± 0.04	7.65 ± 0.00	1	7.60 ± 0.04	0.05
Si I	-1.16 ± 0.18	0.43 ± 0.18	4	0.46 ± 0.18	7.48 ± 0.14	11	7.51 ± 0.03	0.03
Ca I	-1.27 ± 0.11	0.32 ± 0.11	16	0.29 ± 0.11	6.35 ± 0.08	8	6.34 ± 0.04	0.01
Sc II	-1.70 ± 0.13	-0.11 ± 0.14	7	-0.04 ± 0.12	3.30 ± 0.11	4	3.15 ± 0.04	0.15
Ti I	-1.41 ± 0.13	0.18 ± 0.14	21	0.18 ± 0.14	4.97 ± 0.09	28	4.95 ± 0.05	0.02
Ti II	-1.18 ± 0.17	0.41 ± 0.18	14	0.32 ± 0.14	5.00 ± 0.09	10	4.95 ± 0.05	0.05
V I	-1.67 ± 0.09	-0.08 ± 0.09	2	-0.08 ± 0.08	3.99 ± 0.07	2	3.93 ± 0.08	0.06
Cr I	-1.65 ± 0.17	-0.06 ± 0.17	13	-0.11 ± 0.19	5.71 ± 0.07	14	5.64 ± 0.04	0.07
Cr II	-1.49 ± 0.17	0.10 ± 0.18	4	0.08 ± 0.17	5.64 ± 0.14	3	5.64 ± 0.04	0.00
Mn I	-2.11 ± 0.22	-0.52 ± 0.22	9	-0.59 ± 0.16	5.64 ± 0.11	7	5.43 ± 0.05	0.21
Fe I	-1.59 ± 0.18	0.00 ± 0.18	143	0 ± 0.18	7.54 ± 0.10	84	7.50 ± 0.04	0.04
Fe II	-1.58 ± 0.18	0.01 ± 0.18	14	0.03 ± 0.17	7.54 ± 0.12	13	7.50 ± 0.04	0.04
Co I	-1.69 ± 0.19	-0.10 ± 0.19	3	-0.07 ± 0.19	4.95 ± 0.16	6	4.99 ± 0.07	0.04
Ni I	-1.64 ± 0.16	-0.05 ± 0.17	18	-0.06 ± 0.17	6.26 ± 0.13	24	6.22 ± 0.04	0.04
Zn I	-1.55 ± 0.07	0.04 ± 0.08	4	0.03 ± 0.09	4.68 ± 0.03	2	4.56 ± 0.05	0.18
Y II	-1.68 ± 0.12	-0.09 ± 0.13	4	-0.19 ± 0.13	2.29 ± 0.05	2	2.21 ± 0.05	0.08
Zr II	-1.24 ± 0.00	0.35 ± 0.04	1	0.30 ± 0.04	2.71 ± 0.00	1	2.58 ± 0.04	0.13
Ba II	-1.42 ± 0.16	0.17 ± 0.16	8	0.10 ± 0.23	2.33 ± 0.05	2	2.18 ± 0.09	0.15
La II	-1.52 ± 0.12	0.07 ± 0.13	1	0.02 ± 0.13	1.38 ± 0.12	3	1.10 ± 0.04	0.28
Ce II	-1.51 ± 0.06	0.08 ± 0.07	3	0.03 ± 0.04	1.64 ± 0.00	1	1.58 ± 0.04	0.06
Nd II	-1.23 ± 0.13	0.36 ± 0.13	5	0.34 ± 0.15	1.38 ± 0.04	2	1.42 ± 0.04	0.04
Sm II	-1.39 ± 0.00	0.23 ± 0.04	1	0.23 ± 0.04	0.96 ± 0.00	1	0.96 ± 0.04	0.00
Tb II	-0.48 ± 0.10	1.11 ± 0.11	1	1.11 ± 0.11			0.30 ± 0.10	

$$\Delta \log \epsilon_{\odot}(X) = \log \epsilon_{\odot}(X)_{\text{Tez}} - \log \epsilon_{\odot}(X)_{\text{Asplund}}$$

rapor edilmektedir.

HD 8724 için Pilachowski vd. (1996) tarafından rapor edilen $[MgI/Fe]$, $[SiI/Fe]$, $[CaI/Fe]$ ve $[ScII/Fe]$ bollukları¹¹ tez çalışmasında elde edilen bolluk değerleri (sırası ile 0.33 dex, 0.34 dex, 0.27 dex, ve -0.11 dex) ile 0.1 dex içerisinde uyumludur. Burris vd. (2000) tarafında rapor edilen $[YII/Fe]$ (-0.25 dex) ve $[LaII/Fe]$ (-0.07 dex) bollukları da

¹¹Pilachowski vd. (1996) tarafından rapor edilen α -element bolluk değeri, Mg, Ca ve Si element bollukları üzerinden hesaplanmıştır

bu elementler için tez çalışmasında elde edilen bolluk değerleri ile uyum içerisinde. Fulbright (2000) tarafından $[Ti/Fe]$, $[V/Fe]$, $[Cr/Fe]$, $[Ni/Fe]$ ve $[Y/Fe]$ bolluk değerleri tez çalışması kapsamında bu elementler için elde edilen bolluk değerleri ile ≈ 0.1 dex içerisinde uyumlu oldukları tespit edilmiştir. HD 8724 yıldızı için $[\alpha/\text{element}]$ bolluk değeri (0.32 dex) Das-Payel vd. (2020) tarafından elde edilen $[\alpha/\text{element}]$ tayfsal analiz sonuçları ile (0.24 dex) uyum içerisinde.

Milone vd (2011), MILES tayf kütüphanesinden seçilen 752 yıldız için model atmosfer parametrelerini ve $[Mg/Fe]$ oranlarını belirlemiş oldukları çalışma kapsamında, HD 8724 yıldızı için elde etmiş oldukları model parametreleri ($T_{eff} = 4688$ K, $\log g = 1.49$ cgs ve $[Fe/H] = -1.69$ dex) ile tez çalışmasından elde edilen model parametreleri arasındaki uyum dikkat çekici olmasına karşın MILES yıldızları için hesaplanan bolluklar üzerinden $[Mg/Fe]$ bolluk oranını ≈ 0.11 dex olarak rapor etmişlerdir. HD 8724 için ise tez kapsamında hesaplanan bu oran, $[Mg/Fe] = 0.54 \pm 0.07$ dex tir.

Mishenina ve Kovtyukh (2001) analizlerinde kullandıkları ELODIE tayfı, bu tez çalışması kapsamında da kullanılmıştır. Mishenina ve Kovtyukh (2001) eşdeğer genişlik ölçümü için DECH20 kodunu (Galazutdinov 1992) kullanmışlardır. Bu tez çalışmasında ise eşdeğer genişlikler LIME (Şahin, 2017) kodu ile ölçülmüştür. Etkin sıcaklığı hesaplamak için uyarılama potansiyellerinde bağımsız FeI bolluklarını kullanmışlardır. Çekim ivmesini belirlemek için ise FeI ve FeII iyonizasyon dengesinden yararlanılmıştır. Element bolluklarının belirlenmesi aşamasında Kurucz model gridleri (1993) ile birlikte WIDTH-9 kodun kullanılmıştır. Güneş bollukları, ELODIE tayf kütüphanesinden alınan Ay tayfı üzerinden hesaplanmıştır. Mishenina ve Kovtyukh (2001) tarafından elde edilen etkin sıcaklık (T_{eff}) ile bu tez kapsamında elde edilen etkin sıcaklık (T_{eff}) arasında 100 K, çekim ivmesi ($\log g$) arasında 0.15 cgs ve $[Fe/H]$ arasında ise 0.1 dex'lik bir fark vardır. Bu sonuçlar neticesinde $[Mg/Fe]$ arasında 0.12 dex, $[Si/Fe]$ arasında 0.08 dex, $[Ca/Fe]$ 0.05 dex, $[Y/Fe]$ arasında 0.03 dex, $[Ba/Fe]$ arasından 0.08 dex, $[La/Fe]$ arasında 0.11 dex, $[Ce/Fe]$ arasında 0.15 dex ve $[Nd/Fe]$ arasında ise 0.19 dex'lik bir fark olduğu görülmüştür.

Tablo 4.4. HD 8724 yıldızı için Python tabanlı arayüz ve sentetik tayf kütüphanesi yardımı ile hesaplanan model parametreleri.

Yöntem	T_{eff}	$\log g$	[Fe/H]	ξ
	(K)	(cgs)	(dex)	(km/s)
MOOG Analizi	4700^{+110}_{-120}	$1.65^{+0.32}_{-0.33}$	$-1.54^{+0.15}_{-0.15}$	$1.49^{+0.50}_{-0.50}$
MARCS-GESv6-atom-hfs-480-680nm	4812^{+38}_{-38}	$1.67^{+0.15}_{-0.15}$	$-1.61^{+0.07}_{-0.07}$	$1.70^{+0.10}_{-0.10}$
ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm	4775^{+46}_{-46}	$1.63^{+0.16}_{-0.16}$	$-1.67^{+0.06}_{-0.06}$	$1.63^{+0.11}_{-0.11}$
ATLAS9 Castelli-GESv6-atom-hfs-480-680nm	4837^{+40}_{-40}	$1.77^{+0.11}_{-0.11}$	$-1.63^{+0.05}_{-0.05}$	$1.90^{+0.09}_{-0.09}$

4.1.2. Model Grid Yöntemi Kullanılarak Model Parametre Tayini

Klasik tayfsal analiz yöntemi ile tespit edilen model parametreleri, model grid yöntemi ile de test edilmiştir. Bu amaç için tez kapsamında iSpec kodu için geliştirilen Python tabanlı bir arayüz kullanılmıştır. HD 8724 için MARCS (GESv6), ATLAS9-CASTELLİ ve ATLAS9-CASTELLİ (GESv6) sentetik tayf kütüphaneleri kullanılarak belirlenen model parametreleri klasik tayfsal analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.4). Bu üç sentetik tayf kütüphanesi içerisinde HD 8724 için klasik tayfsal analiz çalışmasına en yakın değeri veren sentetik tayf kütüphanesinin ATLAS9-CASTELLİ model gridi olduğu görülmektedir.

4.1.3. SED (Tayfsal Enerji Dağılımı) Yöntemi ile Model Parametre Tayini

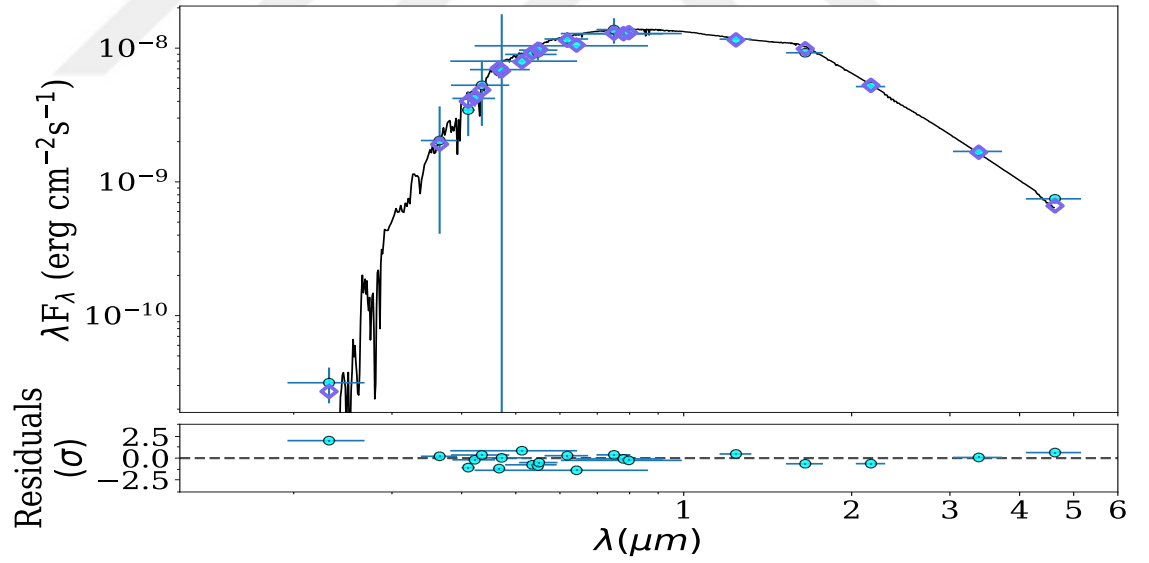
HD 8724 yıldızı için SED yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin literatürde yaygın bir şekilde kullanıldığı görülen ARIADNE kodu ile yapılmasına karar verilmiştir. Bu kod, incelenen kaynak için literatürden elde edilen ve akı değerlerine dönüştürülmüş farklı dalgalı boylarındaki parlaklık değerlerine SED uydurma sürecinde bir karacisim modeli yerine sentetik bir tayf¹² fit etmektedir (Şekil 4.27).

Tablo 4.5'te ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonuçları, klasik tayfsal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. SED testi için analiz, iki aşamalı olarak tekrarlanmıştır. İlk aşamada, spektroskopik olarak elde edilen sıcaklık (T_{eff}), çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu ([Fe/H]) değerlerin ARIADNE kodunda girdi olarak sabitlen-

¹²ARIADNE kodu içinde SED uydurma yöntemi için kullanılan sentetik tayflar için sabit bir microturbülans ξ değeri benimsenmiştir.

Tablo 4.5. HD 8724, HD 63791 ve HD195633 yıldızlarının SED ve tayfsal analiz sonuçları.

Yıldız	Yöntem	T_{eff}	$\log g$	$[\text{Fe}/\text{H}]$	ξ
		(K)	(cgs)	(dex)	(km/s)
HD 8724	Tayf	4700^{+110}_{-120}	$1.65^{+0.32}_{-0.33}$	$-1.54^{+0.15}_{-0.15}$	$1.49^{+0.50}_{-0.50}$
	SED	4811	1.65	-1.56	-
HD 63791	Tayf	4770^{+120}_{-135}	$1.90^{+0.30}_{-0.35}$	$-1.56^{+0.16}_{-0.16}$	$1.52^{+0.50}_{-0.50}$
	SED	4789	1.93	-1.52	-
HD 195633	Tayf	6100^{+195}_{-185}	3.95^{+30}_{-35}	$-0.48^{+0.15}_{-0.15}$	$1.26^{+0.50}_{-0.50}$
	SED	5979	4.06	-0.49	-

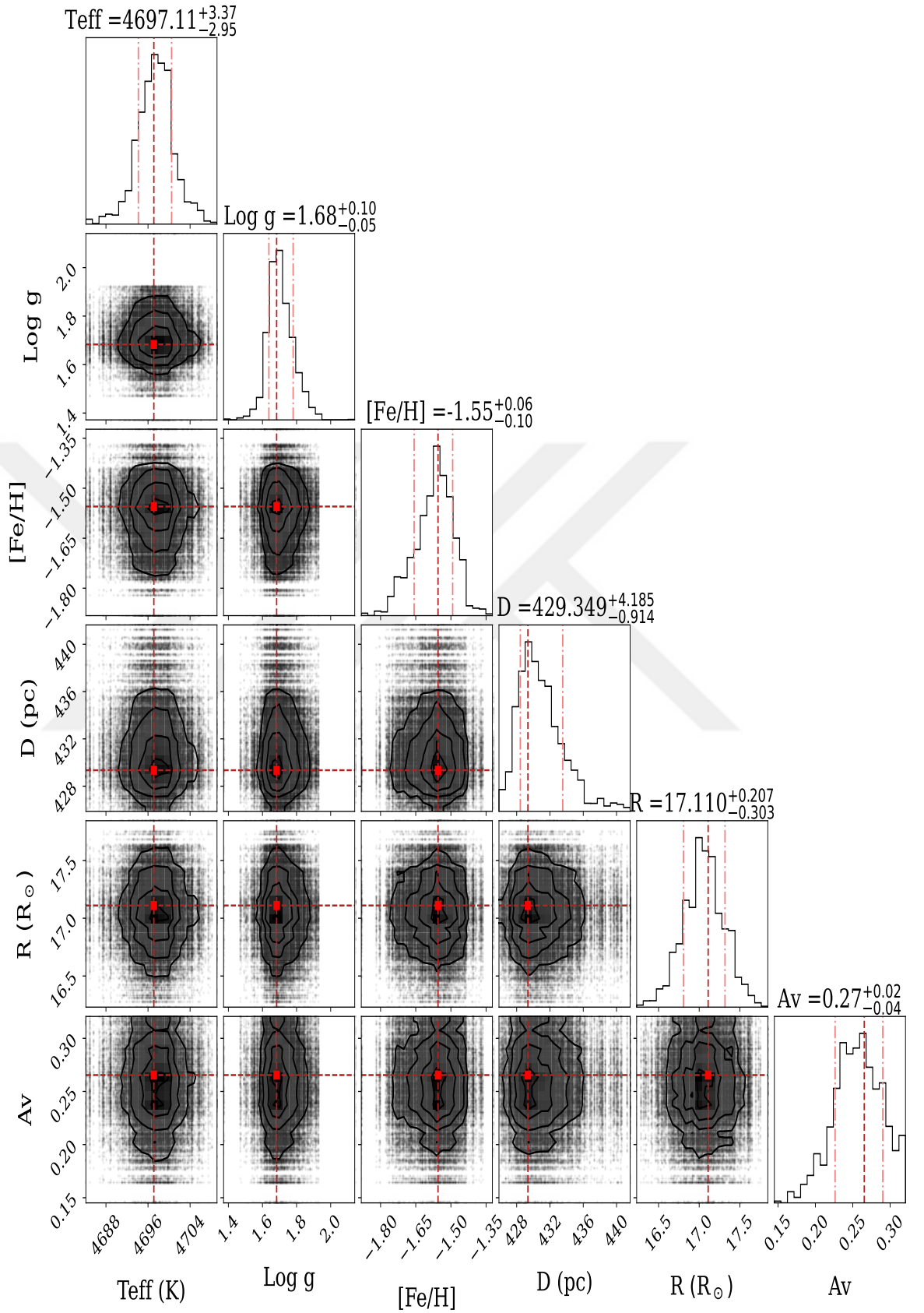
**Şekil 4.27.** HD 8724 yıldızı için Castelli & Kurucz modeliyle eşleşen SED eğrisi (üst panel) ve model ile gözlemsel veriler arasındaki farklar (alt panel). Mavi daire sembolü gözlemsel parlaklıklardan hesaplanan akıları, mor elmas sembolü ise sentetik verileri göstermektedir.

Tablo 4.6. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızlarının SED analiz sonuçları aşağıda verilmektedir. Parametreler sırasıyla: etkin sıcaklık, çekim ivmesi, metal bolluğu, uzaklık, yarıçap, sönmüleme, yaş ve ısıtma.

Yıldız	T_{eff}	$\log g$	$[Fe/H]$	D	R	A_v	τ	L	M
	(K)	(cgs)	(dex)	(pc)	($R/R_\odot$)		(Gyl)	($L/L_\odot$)	($M/M_\odot$)
HD 8724	4697	1.69	-1.55	429.54	17.05	0.25	13.16	127.71	0.79
HD 63791	4766	1.92	-1.50	357.99	15.43	0.14	13.23	110.62	0.78
HD 195633	6102	3.95	-0.47	99.40	1.67	0.11	7.05	3.50	1.02

miştir. İkinci aşamada ise sadece yıldız için SED uydurma işlemi model parametre seti tamamen serbest bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşama için SED analizinin sıcaklık için uyumlu bir değer verdiği görülmüştür fakat çekim ivmesi ve metal bolluğu değerleri, klasik tayfsal analiz ile elde edilen değerden çok uzakta bulunmuştur. ARIADNE kodu, model atmosfer parametrelerine, ek olarak uzaklık (D), yarıçap (R), sönmüleme (A_v) ve ısıtma (L) gibi fiziksel parametreleri de hesaplamaktadır (Tablo 4.6). Fakat bir dev kolu yıldızı HD 8724 için kod tarafından elde edilen bu parametreler bahsi geçen yanlış çözüm nedeni ile doğal olarak farklı bir yıldız evrim aşamasına işaret etmektedir. SED uydurma yönteminin özellikle sıcaklık ve sönmüleme parametrelerini hassas bir şekilde hesaplaması beklenmektedir. Bu ikinci analiz aşamasında özellikle hesaplamada sıcaklık ve metal bolluğu üzerine konulacak ilave sınırlandırmalar çözümü iyileştirebilmektedir.

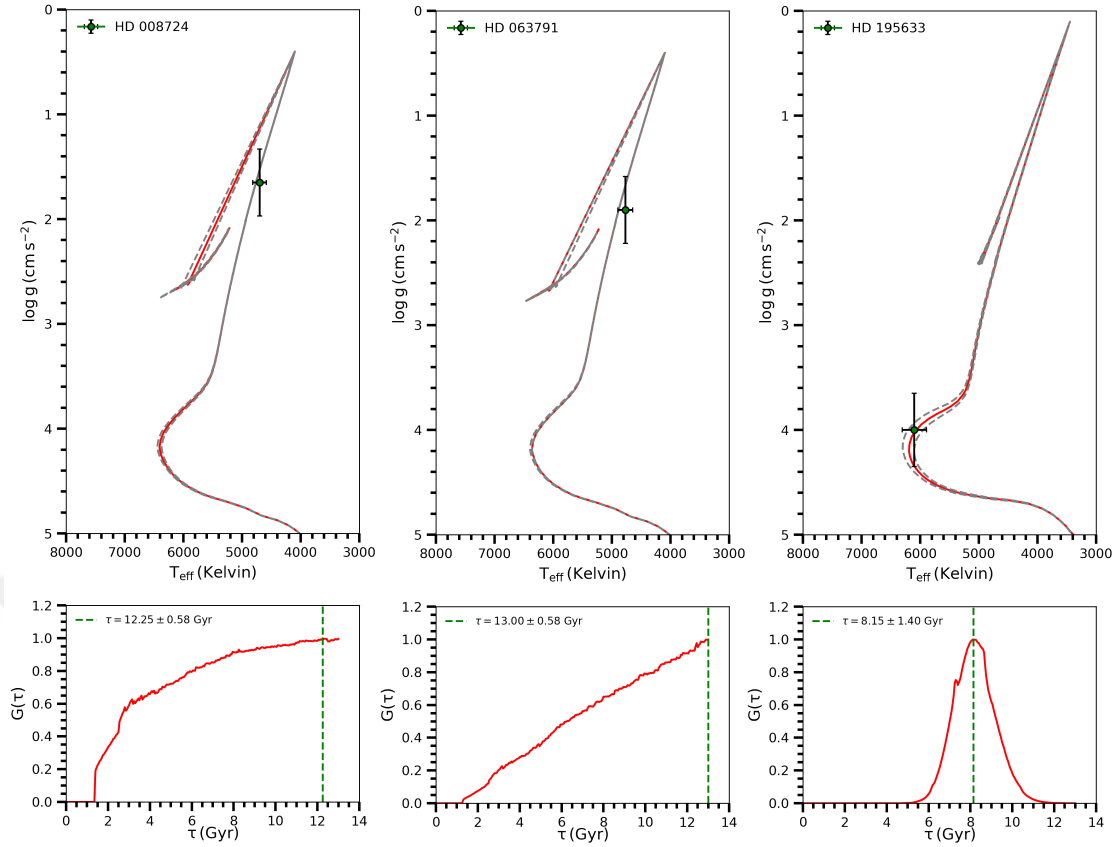
Gaia DR3 uzaklıkları ile karşılaştırıldığında ARIADNE kodu gayet uyumlu uzaklık değerleri rapor etmektedir. Kod, paralaks değerlerini Gaia DR3 veri tabanından çekmektedir. Gerçekleştirilen testler sonucunda kodun anakol yıldızları için gayet iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. (bkz. Bölüm 4.3). ARIADNE kodu, model parametreleri üzerindeki hataların tespiti için MCMC temelli bir metodoloji izlemektedir. HD 8724 için ARIADNE kodu yardımı ile oluşturulmuş Corner plot Şekil 4.28’de temsili olarak içerilmiştir. Klasik tayfsal analiz sonuçları ile kıyaslandığında etkin sıcaklık değerindeki ≈ 100 K lik fark dışında $\log g$ ve $[Fe/H]$ değerlerindeki uyum görülmektedir.



Şekil 4.28. HD 8724 yıldızının Castelli&Kurucz (1993) model gridi hesaplanan T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, d , R ve A_v parametreleri ve bu parametrelerin diğer parametrelerle olan ilişkilerini gösterir corner plot.

4.1.4. Bayes Yaş Tayini

Tayfsal analizleri gerçekleştirilen ve klasik tayfsal analiz yöntemi ile model parametreleri elde edilen HD 8724 yıldızının yaş hesabı, Jorgensen ve Lindegren (2005) tarafından geliştirilen Bayes istatistiğine dayalı yöntem (Bayesian inference) ve PARSEC (Bressan vd. 2012) yıldız evrim modeliyle karşılaştırılması sonucu tespit edilmiştir. HD 8724 yıldızının Kiel diyagramı ($\log g - T_{\text{eff}}$) üzerindeki konumları ve Bayes istatistiğine en uygun PARSEC (Bressan vd. 2012) eş-yaş eğrileri ve Bayes istatistiğiyle hesaplanan en olası yaşlara ait G dağılım fonksiyonları Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Kiel diyagramındaki konumu incelendiğinde HD 8724'in kırmızı dev kolunda olduğu görülmektedir. Jorgensen ve Lindegren (2005)'nin yöntemine göre yıldız yaşının tayininde G dağılım fonksiyonunun alacağı en büyük değer, yıldızın en olası yıldız yaşı olarak kabul edilmektedir. Bayes istatistiğine göre HD 8724 yıldızının en olası yaşı, 12.25 ± 0.58 Gyıl olarak tespit edilmiştir. Payel vd. (2019) tarafından HD 8724 için rapor edilen yaş değeri 10.79 Gyıl'dır. Das vd. (2020) yaş değerini 11.99 Gyıl olarak rapor etmişlerdir. ARIADNE kodunun rapor ettiği yaş değeri ise 13.16 Gyıl'dır.



Şekil 4.29. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızlarının kiel diyagramları üzerindeki konumları ve bu konumları en iyi ifade eden PARSEC eş-yaş eğrileri (üst paneller) ile Bayes istatistiğiyle tayin edilen yaşlarının olasılık fonksiyonlarına ait dağılımları (alt paneller).

4.1.5. Kinematik Analiz

HD 8724 yıldızı için uzay hızı, Johnson ve Soderblom (1987)'un geliştirdikleri yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Uzay hızı hesabı için gerekli olan parametreler ($\alpha, \delta, \mu_\alpha, \mu_\delta, \varpi$ ve d) Gaia işbirliği (2022)'den alınmıştır (Tablo 4.7). Uzay hızı değerlerini belirlenmesi aşamasında diferansiyel dönme (dU, dV) ve yerel durağanlık standardı (LSR) dikkate alınmıştır. HD 8724 için diferansiyel dönme (5.92, -0.52) km/sn olarak hesaplanmıştır. HD 8724 yıldızının toplam uzay hızı (S) yıldızların uzay hız bileşenlerinin karelerinin toplamalarının karekök alınarak hesaplanmıştır. Tablo 4.8'da HD 8724 için hesaplanan uzay hızı değerleri verilmektedir. Tez kapsamında elde edilen uzay hızı ve yörünge parametrelerinin literatürde sunulan değerler ile karşılaştırılması Tablo 4.10'de

Tablo 4.7. Metalce fakir ve yüksek öz hareketli iki yıldızın ekvatorial koordinatları, dikine hızları, öz hareket bileşenleri, trigonometrik paralaksları ve Güneş'ten uzaklıkları.

Yıldız	α (hh:mm:ss)	δ (dd:mm:ss)	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ (mas/yıl)	μ_{δ} (mas/yıl)	ϖ (mas)	d (pc)	Kaynak
HD 8724	01 26 17.60	+17 07 35.12	52.869 ± 0.027	-76.053 ± 0.017	2.310 ± 0.025	433 ± 5	Gaia işbirliği (2022)
HD 63791	07 54 28.73	+62 08 10.77	-45.71 ± 0.017	-85.94 ± 0.017	2.782 ± 0.021	359 ± 5	Gaia işbirliği (2022)
HD 195633	20 32 23.99	+06 31 03.25	74.431 ± 0.024	22.554 ± 0.016	10.042 ± 0.022	100 ± 1	Gaia işbirliği (2022)

Tablo 4.8. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızları için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V), toplam uzay hızları (S), hatalarıyla birlikte verilmiştir. Uzay hızı bileşenleri ve toplam uzay hızı verileri LSR'ye göre hesaplanmıştır.

Yıldız	U	V	W	S
	(km/s)			
HD 8724	-84.58 ± 0.34	-91.70 ± 1.76	-167.14 ± 1.02	208.56 ± 2.06
HD 63791	-27.56 ± 0.76	-167.24 ± 0.88	-128.68 ± 0.52	212.91 ± 1.27
HD 195633	-46.97 ± 0.11	-9.19 ± 0.12	-1.67 ± 0.07	47.89 ± 0.18

verilmektedir.

Bu tez çalışmasında sadece kinematik analiz kaynaklı galaksi popülasyon üyelikleri de incelenmiştir. Bu analiz sonucunda HD 8724 yıldızının disk popülasyonuna ait olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Sadece kinematik bulgular ışığında HD 8724'ün Kalın disk popülasyonuna ait olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 4.9). Mishenina vd (2002) tarafından yapılan çalışmada ise HD 8724 yıldızının halo popülasyonuna üye olduğunu tespit etmişlerdir.

4.1.6. Dinamik Yörünge Analizi ve Galaktik Köken

Bu tez çalışması kapsamında HD 8724 yıldızı için yörünge parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 4.9). Hesaplanan bu yörünge parametreleri, literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırmıştır (Tablo 4.10). Bu karşılaştırma aynı zamanda şekil üzerinde de gösterilmektedir (R_a için Şekil 4.30; R_p için Şekil 4.31 ve Z_{max} için ise Şekil 4.32)

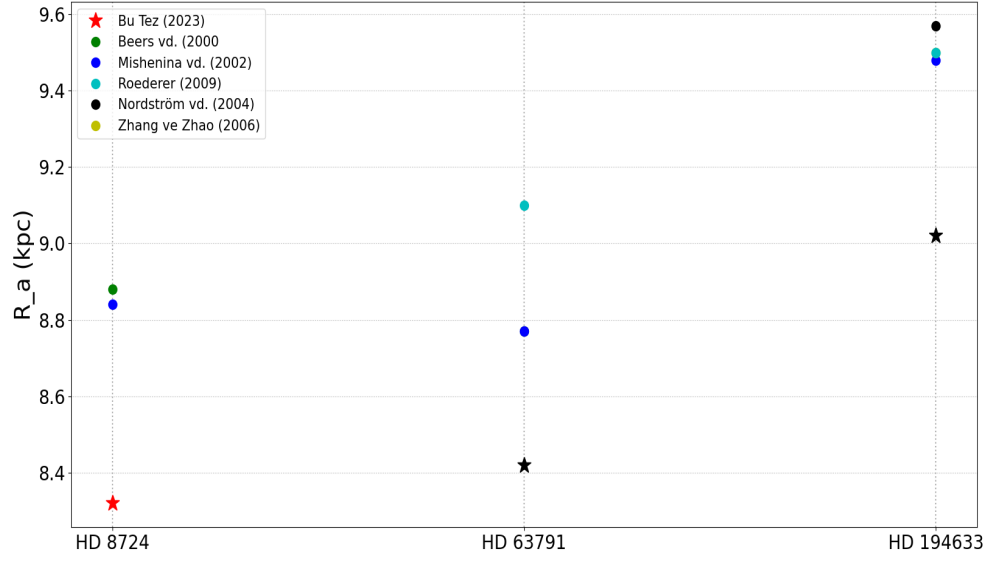
Tablo 4.9. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 yıldızları için hesaplanan galaktik yörünge parametreleri hatalarıyla birlikte verilmiştir.

Yıldız	Olasılık		$Z_{\max}$	R_a	R_p	e
	TD/D	TD/H	(kpc)			
HD 8724	3.47E+018	0.0032	0.38	8.32	0.28	0.93
HD 63791	3.27E+019	0.013	4.99	8.42	2.58	0.53
HD 195633	0.063	2895.51	0.03	9.02	6.47	0.16

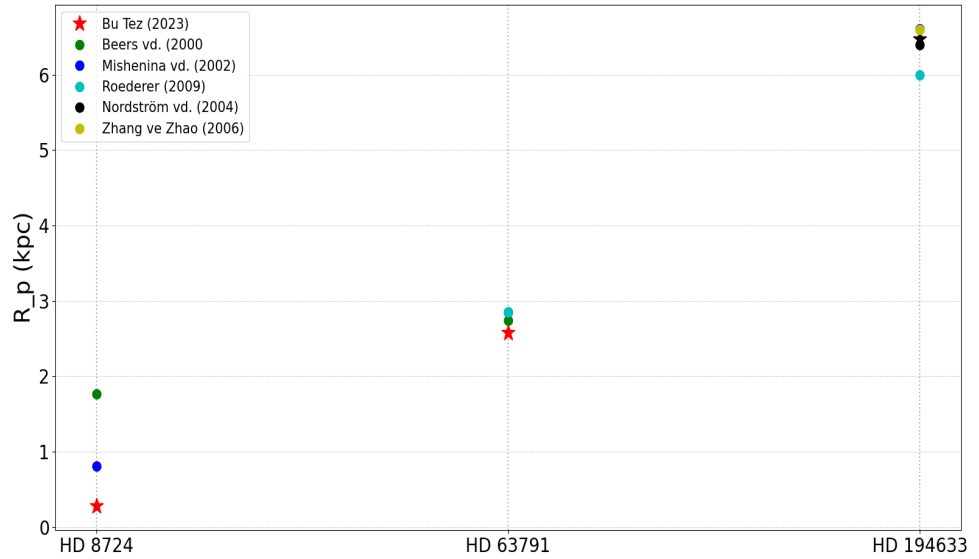
Tablo 4.10. HD 8724 için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V) ve galaktik yörünge parametrelerinin literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılması.

Yıldız	Referans	U	V	W	$Z_{\max}$	R_a	R_p	e
		(km/s)			(kpc)			
HD 8724	Tez çalışması	-84.58 ± 0.34	-91.70 ± 1.76	-167.14 ± 1.02	0.38	8.32	0.28	0.93
	1	2		-34				
	2	2 ± 46	-300 ± 75	-52 ± 44			0.81	
	3	12	-315	-59				
	4	-14	-301	-64				
	5	286	-57	-22	1.48	8.88	1.77	0.67
	6	41.40	-177.50	+13.90	0.45	8.84	0.81	0.83

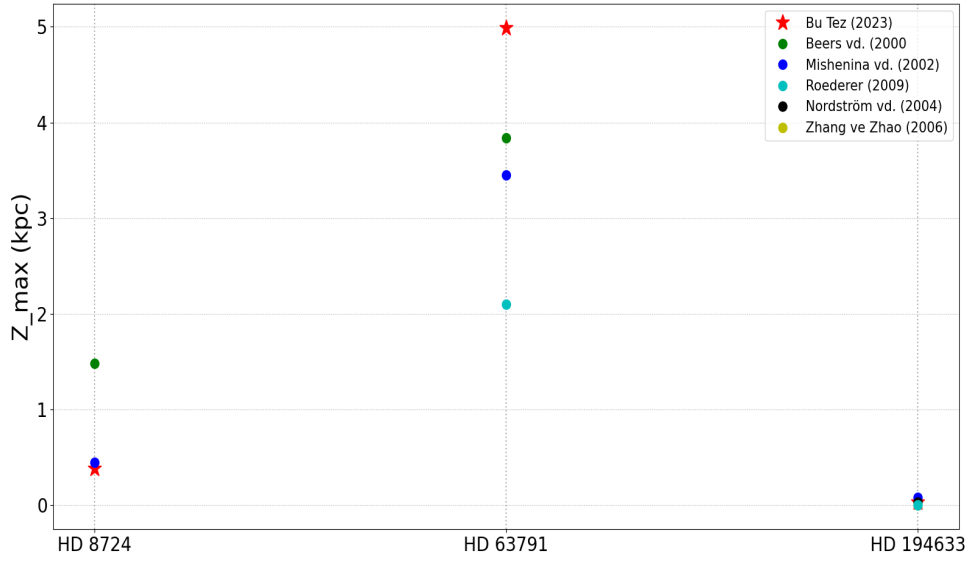
1: Norris (1986), 2: Carney ve Latham (1986), 3: Sommer-Larsen ve Zhen (1990),
4: Hanson vd. (1998), 5: Beers vd. (2000), 6: Mishenina vd. (2002)



Şekil 4.30. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için bu tez çalışması kapsamında hesaplanan yörünge parametre elemanı R_a , literatür karşılaştırılması ile birlikte sunulmuştur.



Şekil 4.31. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için bu tez çalışması kapsamında hesaplanan yörünge parametre elemanı R_p , literatür karşılaştırılması ile birlikte sunulmuştur.

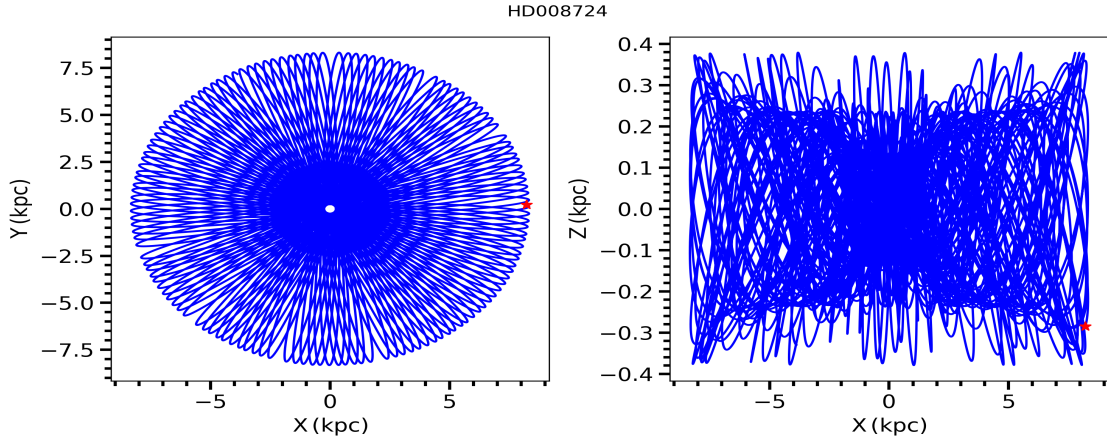


Şekil 4.32. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için bu tez çalışması kapsamında hesaplanan yörünge parametre elemanı Z_{max} , literatür karşılaştırılması ile birlikte sunulmuştur.

Güneş civarında metalce fakir yıldızların bulunması bu yıldızların küresel kümelerden kopma senaryosuyla açıklanabileceği fikri Şahin ve Bilir (2020) tarafından gösterilmiştir. Bu çalışmada incelenen HD 8724 yıldızının Galaktik kökenini araştırmak için Samanyolunda bulunan küresel kümelerin literatürden derlenen ekvatorial koordinatları, uzaklık, öz hareket ve dikine hız verileri dikkate alınarak Galaktik yörünge parametreleri ve yörüngeleri oluşturulmuştur. Bunun için, güncel bir çalışma olan ve Samanyolundaki küresel kümelerin kinematik analizlerinin gerçekleştirilmiş olduğu Vasiliev ve Baumgardt (2021) çalışması dikkate alınmıştır. Küresel kümeler için derlenen veriler ile Samanyolunda bilinen yaklaşık 160 küresel küme için kinematik ve dinamik yörünge hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Küresel kümelerin yörünge analizlerinde günümüzden 13 Gyl geçmişe doğru toplamda 20 milyon noktadan oluşan yörünge hareketleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Yörünge hareketindeki her iki nokta arasında geçen mesafe 650 yıl olup, bu değer hesaplama süresi ve işlem kapasitesi göz önüne alınarak birkaç denemeden sonra belirlenmiştir. 20 milyon noktalı yörünge hareketi yıldız - küme etkileşimini hassas bir şekilde yakalayabilecek ve nispeten çok çekirdekli işlemciler ile kısa sayılabilecek bir

zaman aralığında hesaplanabilmesini sağlamaktadır.

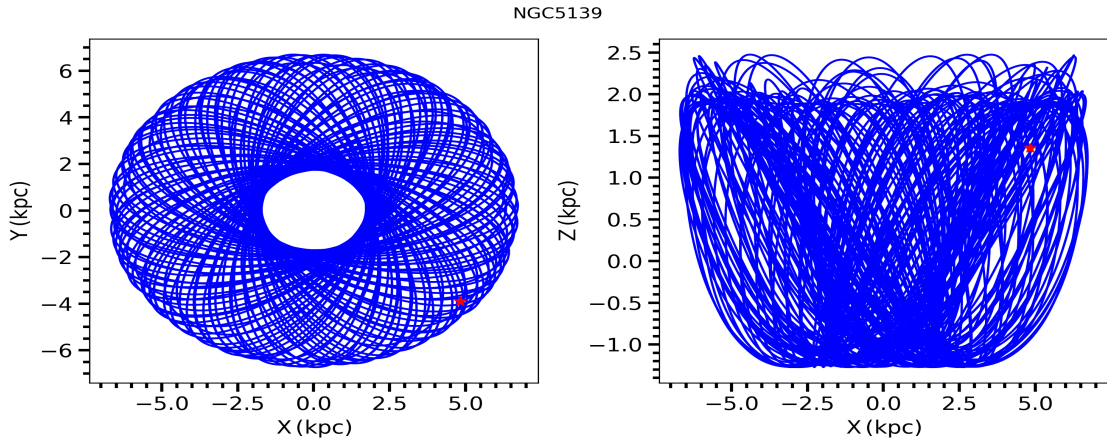


Şekil 4.33. HD 8724 yıldızının Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daireler, yıldızların bugünkü konumu göstermektedir.

HD 8724 için Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemlerindeki konumları ve yıldızın bugünkü konumu Şekil 4.3'te gösterilmektedir. HD 8724 yıldızının eş zaman yüksek çözünürlüklü yörüngelerinin hesaplanmasıyla bu yıldızlar için çalışmada incelenen yaklaşık 160 küresel küme merkezlerinden 5 gel-git yarıçapı (tidal radius) mesafede eş zamanlı olarak bulunma durumları araştırılmıştır. Buna göre, nesnelerin hesaplanan yörünge konumları arasındaki uzaklık her bir zaman adımı için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların 5 gel-git yarıçapından küçük olduğu durumlara karşılık gelen zaman adımı için bir karşılaşma durumunun olduğu varsayılmış ve her bir küresel küme-yıldız karşılaşmasının konum ve hız bakımından ortak bir kökene sahip olma durum olasılığı hesaplanmıştır. Küresel küme-yıldız karşılaşmasının birden fazla zaman adımında meydana geldiği durumda art arda olan kesişmelerin olasılıklarının toplamından o zaman kesiti için bir olasılık değeri tayin edilmiştir. Ayrıca, birden fazla zaman kesitinde karşılaşma meydana gelmesi durumunda zaman kesişme kesitinin en yüksek olasılıklı değeri ilgili küme için seçilerek diğer kümeler ile karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Yapılan analizler HD 8724'ün %63 olasılıkla NGC 5139 küresel kümesine kinematik (konum ve hız) bakımından üye olduğunu göstermektedir. Fakat bu karşılaşma olasılığı sadece kinematik bakımdan köken tayini için yeterli olması beklenmemektedir. Hesapla-

malarda, karşılaşma zamanıyla birlikte, incelenen yıldızın yaşının ve metal bolluğunun da küresel kümeyle uyumlu olması beklenmektedir. NGC 5139 kümesinin literatürde rapor edilen metal bolluğu değeri $[Fe/H] = -1.65$ dex'dir. HD 8724 yıldızı için de metal bolluğu değeri $[Fe/H] = -1.54 \pm 0.15$ olarak elde edilmiştir ve hata payı içerisinde NGC 5139 kümesinin metal bolluğuyla uyumludur. NGC 5139 kümesi için Lui vd. (2019) tarafından yaş değeri 12.90 Gyıl olarak rapor edilmiştir. Bu tez çalışmada HD 8724 yıldızı için elde edilen yaş değeri (12.25 ± 0.58 Gyıl) ile uyum göstermektedir. NGC 5139 için Magurno vd. (2019) tarafından rapor edilen $[\alpha\text{-element}]$ bolluk değeri 0.41 dex'dir. HD 8724 yıldızı için bulunan $[\alpha\text{-element}]$ bolluk değeri ise 0.32 dex olarak elde edilmiştir. $[\alpha\text{-element}]$ bollukları çerçevesinde de NGC 5139 ve HD 8724 arasında bir uyum görülmektedir. NGC 5139 küresel kümesi için hesaplanan Galaktik yörüngenin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemlerindeki konumları Şekil 4.34'da gösterilmiştir.

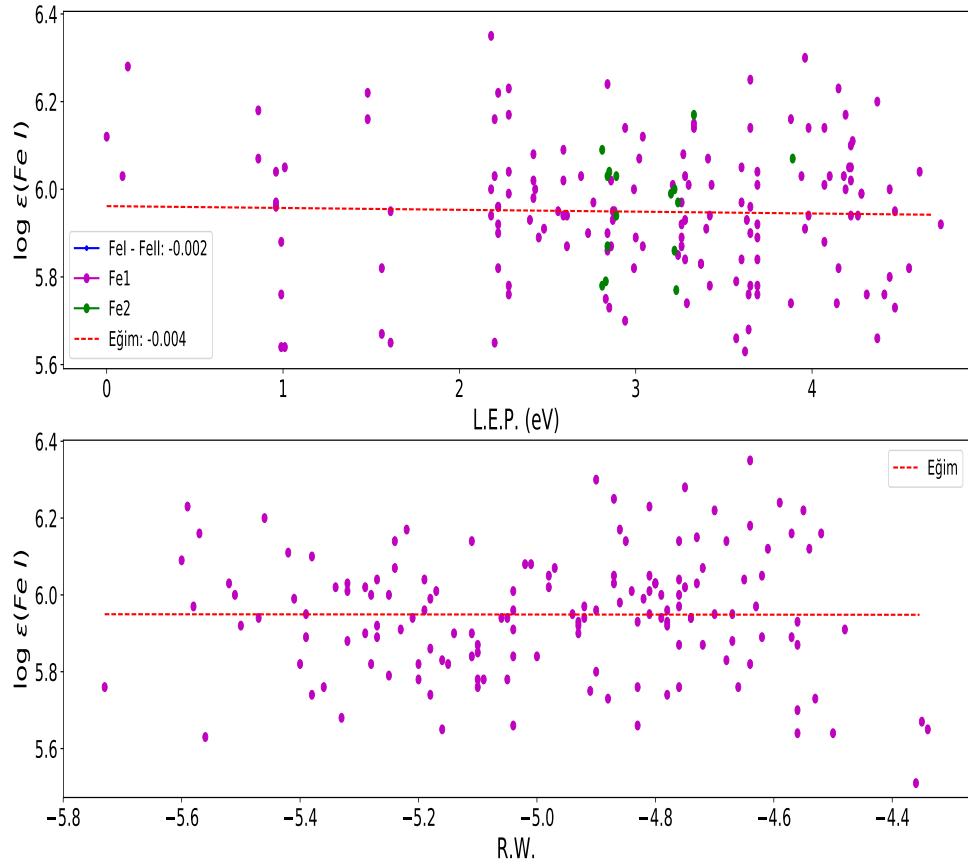


Şekil 4.34. NGC 5139 küresel kümesi için hesaplanan Galaktik yörünge noktalarının $Y - Z$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daire, küresel kümenin bugünkü konumunu göstermektedir.

4.2. HD 63791 (Gaia DR3 1085188633398350336)

4.2.1. Klasik Tayfsal Analiz

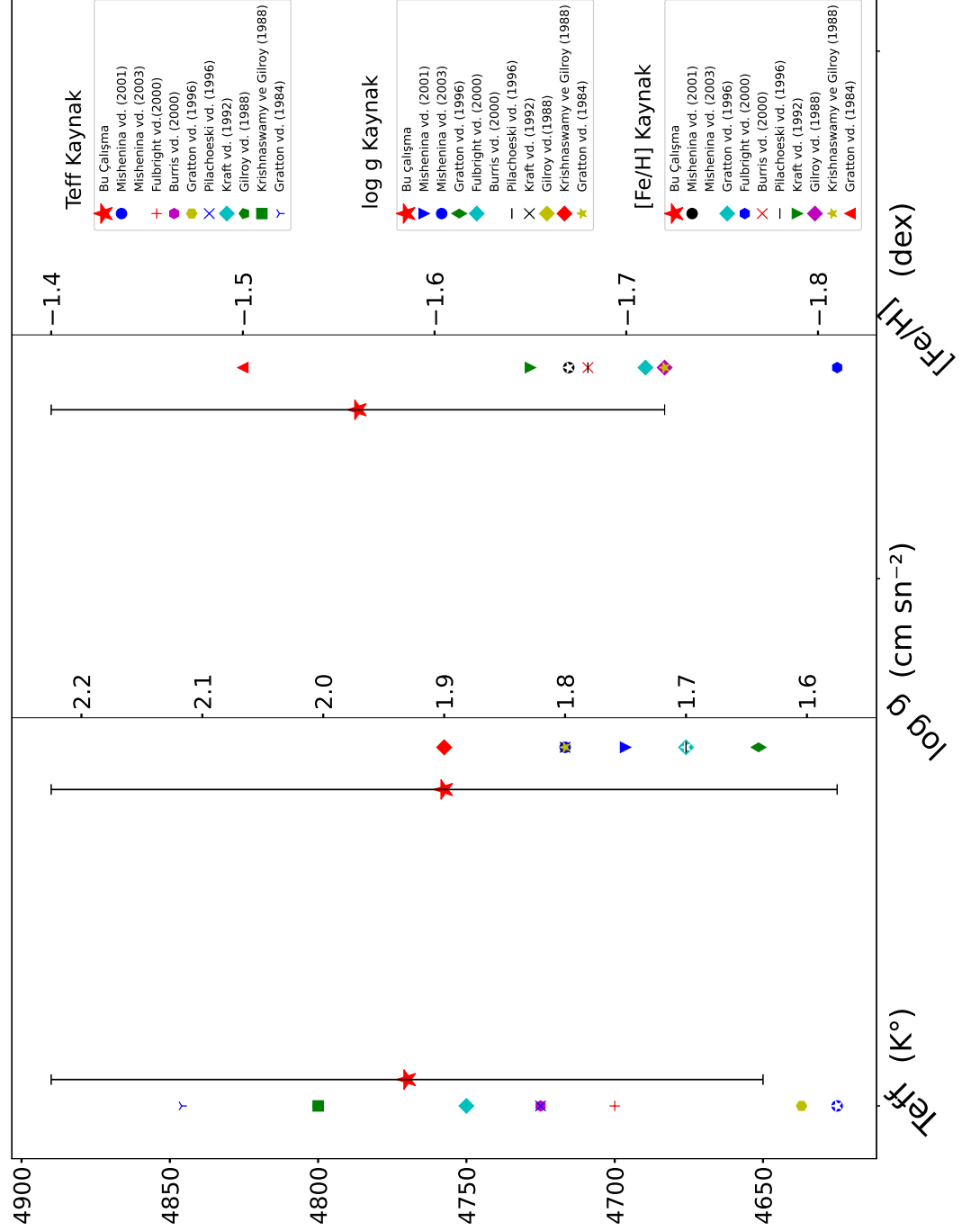
HD 8724 için gerçekleştirilen klasik tayfsal analiz adımları HD 63791 yıldızına da uygulanmıştır. Etkin sıcaklığın (T_{eff}), çekim ivmesinin ($\log g$), metaliye ve microturbülans parametresinin hesaplanması için kullanılan Moog koduna ait görsel Şekil 4.35'de gösterilmektedir. Klasik tayfsal analiz yöntemi ile HD 63791 yıldızı için elde edilen model



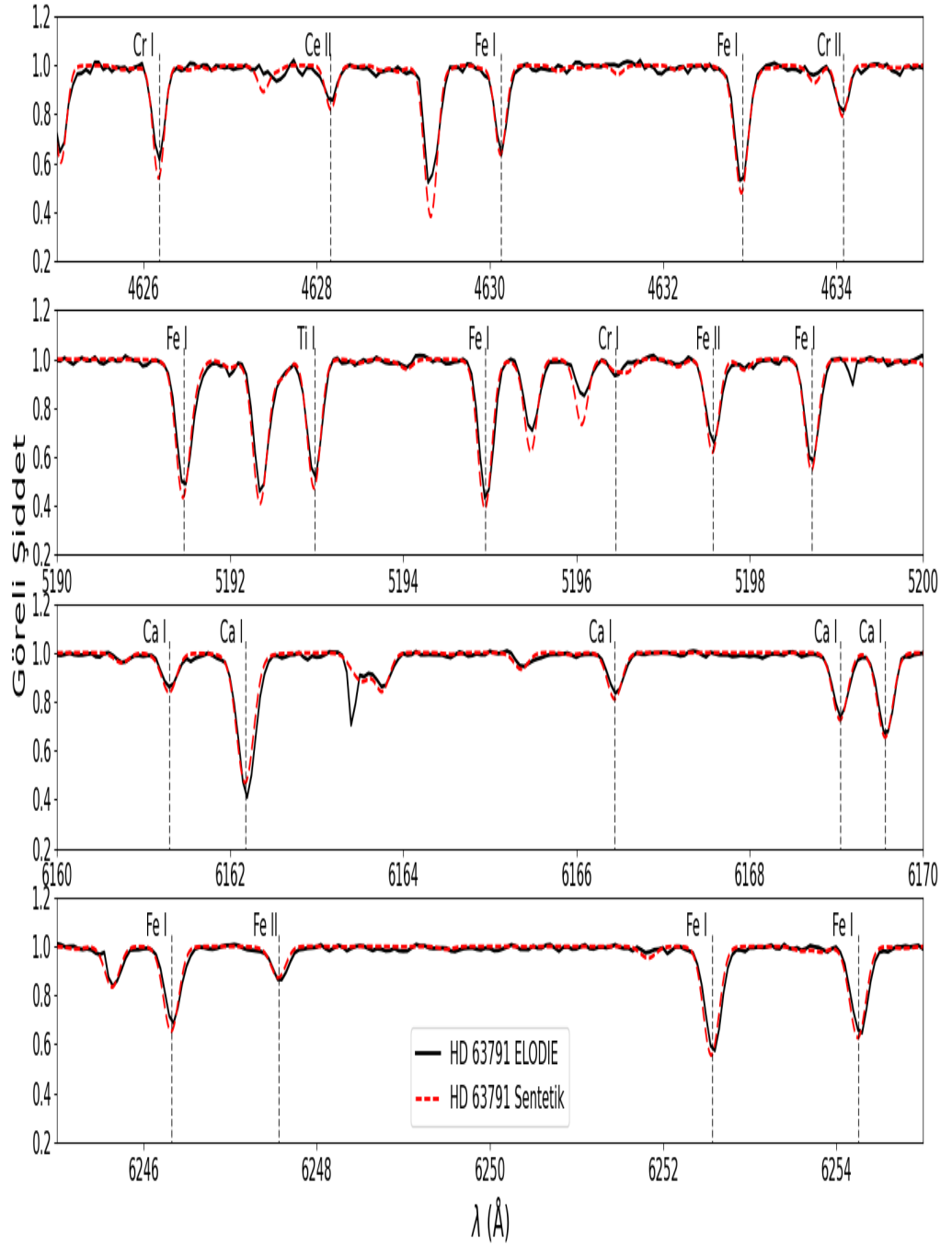
Şekil 4.35. Alt seviye uyartılma potansiyeli ve indirgenmiş eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak HD 63791 yıldızı için atmosferik parametrelerin MOOG yıldız atmosfer kodu yardımı ile tayini. Alt ve üst paneldeki düz kesikli çizgiler, verilere en küçük kareler yöntemi ile yapılan uydurmaları temsil etmektedir.

atmosfer parametreleri Tablo 4.2’de sunulmuştur. Elde edilen model parametreleri yıldız için literatürde rapor edilen değerler ile uyum içinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.36, EK-Tablo 6.20). Belirlenen parametreler ile HD 63791 yıldızı için sentetik tayf oluşturulmuştur ve gözlenen tayf ile sentetik tayfin uyum içinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.37).

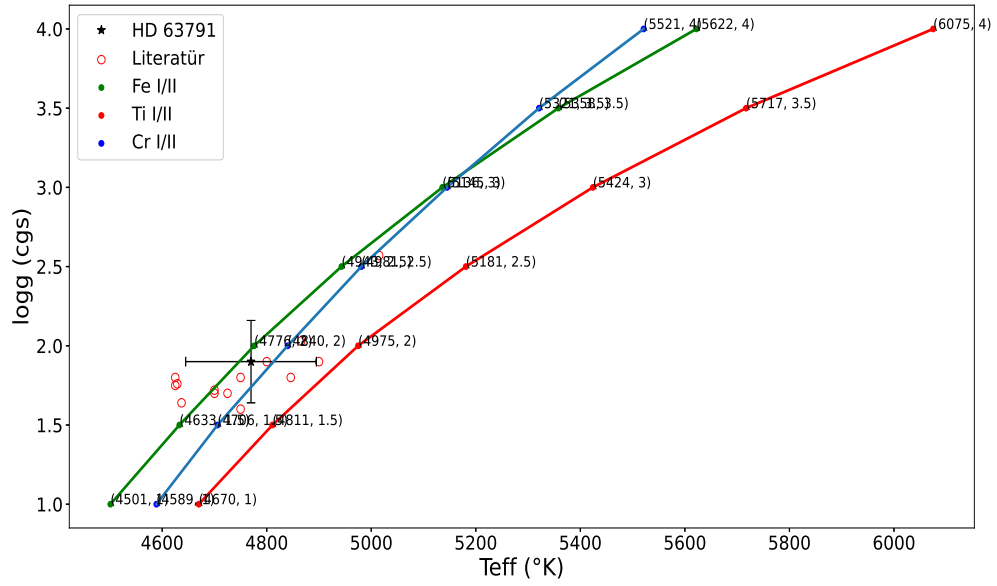
HD 63791 yıldızı için oluşturulan Kiel diyagramı Şekil 4.38’de verilmiştir. Oluşturulan Kiel diyagramı sonucu, tayfsal olarak elde edilen sonuçların doğruluğunu teyit etmektedir. HD 63791 için klasik tayfsal analiz yöntemiyle elde edilen model parametreleri ile literatürden derlenen model parametreler, Kiel diyagramı üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.36. HD 63791 yıldızı için literatürde rapor edilen model parametreleri. Tez kapsamında elde edilen model parametreleri de hataları ile birlikte içerilmiştir.



Şekil 4.37. HD 63791 için ELODIE (siyah) yıldız tayfı ve tez kapsamında elde edilmiş model parametrelerle oluşturulan sentetik (kırmızı) tayfı.



Şekil 4.38. HD 63791 yıldızı için Kiel diyagramı. Kırmızı yuvarlak daireler, literatürde yıldız için rapor edilen T_{eff} $\log g$ değerlerini göstermektedir.

HD 63791 için hesaplanan nihai element bolluk değerleri Tablo 4.11’te hesaplanan güneş bolluk değerleri ile birlikte sunulmaktadır. HD 63791 yıldızı için $[\alpha/\text{element}] = 0.34$ dex olarak hesaplanmıştır. Pr ve Dy bollukları hesaplarken $[\text{Pr}/\text{H}]$ ve $[\text{Dy}/\text{H}]$ oranları Asplund vd. (2009)’den alınmıştır. Bunun sebebi Pr ve Dy’nin Güneş tayfı üzerinde eşdeğer genişlik yöntemiyle ölçülememesidir.

HD 63791 yıldızı için Gratton ve Ortolani (1984) tarafından rapor edilen $[\text{MgI}/\text{Fe}]$ bolluğu, tez çalışmasında elde edilen bolluk ile uyumludur. Gilroy ve Sneden (1988) tarafından rapor edilen $[\text{CaI}/\text{Fe}]$, $[\text{MnI}/\text{Fe}]$, $[\text{YII}/\text{Fe}]$, $[\text{ZrII}/\text{Fe}]$, $[\text{CeII}/\text{Fe}]$ ve $[\text{NdII}/\text{Fe}]$ bolluklarının bu tezde belirlenen bolluklar ile ≈ 0.1 dex farkla uyumlu olduğu görülmüştür. Pilachowski vd. (1996) tarafından $[\text{MgI}/\text{Fe}]$ için 0.02 dex, $[\text{SiI}/\text{Fe}]$ için ≈ 0.1 dex, $[\text{CaI}/\text{Fe}]$ için 0.01 dex ve $[\text{ScII}/\text{Fe}]$ için ise 0.00 dex ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Fulbright (2000)’ın rapor ettiği $[\text{MgI}/\text{Fe}]$, $[\text{SiI}/\text{Fe}]$, $[\text{CaI}/\text{Fe}]$, $[\text{TiI}/\text{Fe}]$ ve $[\text{VI}/\text{Fe}]$ bollukları, tez kapsamında elde edilen bolluklar ile sırasıyla 0.07, 0.08, 0.06, 0.03 ve 0.12 dex fark ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Johnson (2002) tarafından $[\text{SiI}/\text{Fe}]$, $[\text{CaI}/\text{Fe}]$, $[\text{VI}/\text{Fe}]$, $[\text{MnI}/\text{Fe}]$, $[\text{NiI}/\text{Fe}]$, $[\text{ZnI}/\text{Fe}]$ $[\text{YII}/\text{Fe}]$ ve $[\text{NdII}/\text{Fe}]$ için rapor edilen bolluklar, tez çalışması kapsamında elde edilen bolluklar ile ≈ 0.1 dex içerisinde uyumluluğu tespit

edilmiştir. Mishenina ve Kovtyukh (2001) analizlerinde kullandıkları ELODIE tayfının bu tez çalışmasında da kullanıldığını belirtmiştik (bkz. Bölüm 4.1.1) Mishenina ve Kovtyukh (2001) ile bu tez çalışması elde edilen etkin sıcaklık (T_{eff}) arasındaki fark 145 K'dir, Çekim ivmesinde ise bu fark ($\log g$) 0.15 cgs iken $[Fe/H]$ arasında ise 0.11 dex'dir. Her iki çalışmada da elde edilen $[MgI/Fe]$, $[SiI/Fe]$, $[CaI/Fe]$, $[YII/Fe]$, $[BaII/Fe]$, $[LaII/Fe]$, $[CeII/Fe]$ ve $[NdII/Fe]$ elementlerinin bolluk farkları sırasıyla 0.07, 0.06, 0.01, 0.07, 0.26, 0.07, 0.07 ve 0.02 dex'dir

HD 63791 yıldızının element bollukları üzerinde Non-LTE etkilerinin varlığı INSPECT arayüzü ile incelenmiştir. Sonuç olarak HD 63791 için Fe elementi üzerinde elde edilen Non-LTE bolluk değerleri ile LTE bolluk değerleri arasındaki farkın 0.04 dex olduğu görülmüştür. Bu durumda, Fe çizgilerinin analizde kullanılmasıyla ilişkili olası non-LTE etkileri, model parametreleri üzerinde göz ardı edilebilir düzeyde düşüktür.

Metalce fakir yıldızlarda yüksek uyarılma potansiyelli çizgiler ile düşük uyarılma potansiyelli çizgiler farklı bolluk değerleri verebilir. Söz konusu bu durum için element bollukları, 3D model ile hesaplanır. HD 63791 yıldızı da metalce fakir olduğundan demir elementi (Fe I) için düşük uyarılma potansiyelli (<1.2 ev) çizgilerden elde edilen bolluk (5.98 dex) değeri ile yüksek uyarılma potansiyelli (>1.2 ev) çizgilerden elde edilen bolluk (5.95 dex) değeri karşılaştırılmıştır ve aralarında 0.03 dex'lik bir fark görülmüştür. Farkın bu kadar küçük olması dolayısıyla HD 63791 için 3D bolluk analizine gereksinim duyulmamıştır.

HD 63791 için model grid yöntemiyle belirlenen model parametreler, klasik tayfsal analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.12). Bu üç sentetik tayf kütüphanesi içerisinde HD 63791 için klasik tayfsal analiz çalışmasına en yakın değeri veren sentetik tayf kütüphanesinin ATLAS9-CASTELLİ model gridi olduğu görülmektedir. Tablo 4.12'de ATLAS9 Castelli Model* için hesaplanan modelde kullanılan çizgi listesi, bu tez çalışmasında hazırlanan çizgi listesidir ve her çizgi için segmentler manuel olarak oluşturulmuştur.

HD 63791 için ARIADNE kodu ile elde edilmiş SED eğrisi Şekil 4.39'de gösterilmektedir. HD 63791 için ARIADNE kodu yardımı ile oluşturulmuş Corner plot Şekil 4.40'de temsili olarak içerilmiştir. Klasik tayfsal analiz sonuçları ile kıyaslandığında etkin sıcaklık $\log g$ ve $[Fe/H]$ değerlerinde uyum görülmektedir. Tablo 4.5'te ARIADNE kodu ile ger-

Tablo 4.11. HD 63791 yıldızları için hesaplanan element bollukları $[X/Fe]$ gösterilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen Güneş bollukları ve Asplund vd. (2009)'nin çalışmalarında elde ettikleri Güneş bollukları verilmektedir.

Element	HD 63791				Tez çalışması		Asplund vd. (2009)	$\Delta \log \epsilon_{\odot}(X)$
	$[X/H]$	$[X/Fe]$	n	$[X/Fe]$	$\log \epsilon_{\odot}(X)$ (dex)	n	$\log \epsilon_{\odot}(X)$ (dex)	(dex)
Mg I	-1.23 ± 0.07	0.36 ± 0.08	4	0.36 ± 0.04	7.65 ± 0.00	1	7.60 ± 0.04	0.05
Si I	-1.13 ± 0.23	0.46 ± 0.23	7	0.46 ± 0.23	7.48 ± 0.14	11	7.51 ± 0.03	0.03
Ca I	-1.20 ± 0.12	0.39 ± 0.13	18	0.34 ± 0.13	6.35 ± 0.08	8	6.34 ± 0.04	0.01
Sc II	-1.51 ± 0.14	0.08 ± 0.15	9	0.07 ± 0.15	3.30 ± 0.11	4	3.15 ± 0.04	0.15
Ti I	-1.32 ± 0.13	0.27 ± 0.13	36	0.24 ± 0.34	4.97 ± 0.09	28	4.95 ± 0.05	0.02
Ti II	-1.14 ± 0.17	0.45 ± 0.18	18	0.34 ± 0.13	5.00 ± 0.09	10	4.95 ± 0.05	0.05
V I	-1.63 ± 0.18	-0.04 ± 0.19	5	-0.04 ± 0.08	3.99 ± 0.07	2	3.93 ± 0.08	0.06
Cr I	-1.62 ± 0.16	-0.03 ± 0.16	21	-0.07 ± 0.14	5.71 ± 0.07	14	5.64 ± 0.04	0.07
Cr II	-1.48 ± 0.16	0.11 ± 0.17	5	0.05 ± 0.15	5.64 ± 0.14	3	5.64 ± 0.04	0.00
Mn I	-2.14 ± 0.18	-0.55 ± 0.18	9	-0.55 ± 0.17	5.64 ± 0.11	7	5.43 ± 0.05	0.21
Fe I	-1.59 ± 0.19	0.00	152	0 ± 0.17	7.54 ± 0.10	84	7.50 ± 0.04	0.04
Fe II	-1.59 ± 0.19	0.00	16	-0.01 ± 0.18	7.54 ± 0.12	13	7.50 ± 0.04	0.04
Co I	-1.48 ± 0.17	0.15 ± 0.24	5	-0.02 ± 0.04	4.95 ± 0.16	6	4.99 ± 0.07	0.04
Ni I	-1.62 ± 0.18	-0.03 ± 0.18	32	-0.08 ± 0.18	6.26 ± 0.13	24	6.22 ± 0.04	0.04
Cu I	-2.68 ± 0.00	-1.19 ± 0.04	1	-1.19 ± 0.04	4.83 ± 0.00	1	4.19 ± 0.04	0.64
Zn I	-1.55 ± 0.03	0.04 ± 0.05	2	0.02 ± 0.05	4.68 ± 0.03	2	4.56 ± 0.05	0.18
Y II	-1.67 ± 0.14	-0.08 ± 0.14	6	-0.19 ± 0.14	2.29 ± 0.05	2	2.21 ± 0.05	0.08
Zr II	-1.60 ± 0.00	-0.01 ± 0.05	1	-0.04 ± 0.04	2.71 ± 0.00	1	2.58 ± 0.04	0.13
Ba II	-1.44 ± 0.16	0.15 ± 0.16	3	0.07 ± 0.06	2.33 ± 0.05	2	2.18 ± 0.09	0.15
La II	-1.51 ± 0.12	0.08 ± 0.13	1	0.11 ± 0.38	1.38 ± 0.12	3	1.10 ± 0.04	0.28
Ce II	-1.59 ± 0.12	0.14 ± 0.15	5	0.02 ± 0.04	1.64 ± 0.00	1	1.58 ± 0.04	0.06
Pr II	-0.86 ± 0.04	0.73 ± 0.06	1				0.72 ± 0.04	
Nd II	-1.37 ± 0.09	0.22 ± 0.10	7	0.20 ± 0.10	1.38 ± 0.04	2	1.42 ± 0.04	0.04
Sm II	-1.17 ± 0.00	0.42 ± 0.04	1	0.41 ± 0.04	0.96 ± 0.00	1	0.96 ± 0.04	0.00
Dy II	-1.16 ± 0.04	0.43 ± 0.06	1				1.10 ± 0.04	

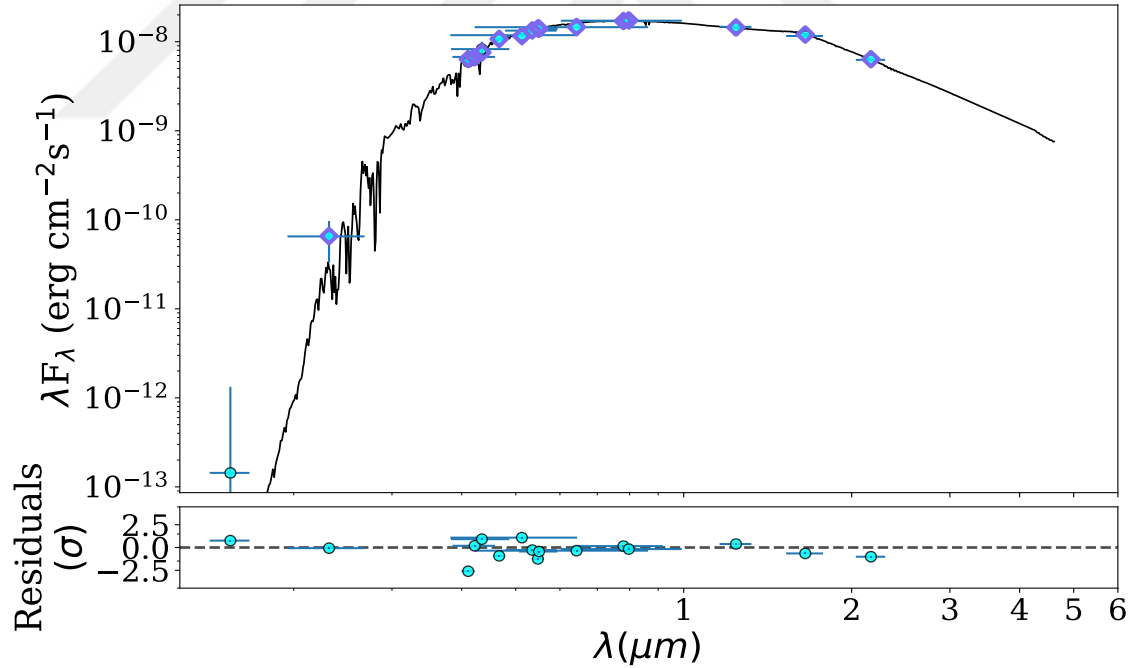
$$\Delta \log \epsilon_{\odot}(X) = \log \epsilon_{\odot}(X)_{\text{Tez}} - \log \epsilon_{\odot}(X)_{\text{Asplund}}$$

çekleştirilen SED analizi sonuçları, klasik tayfsal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

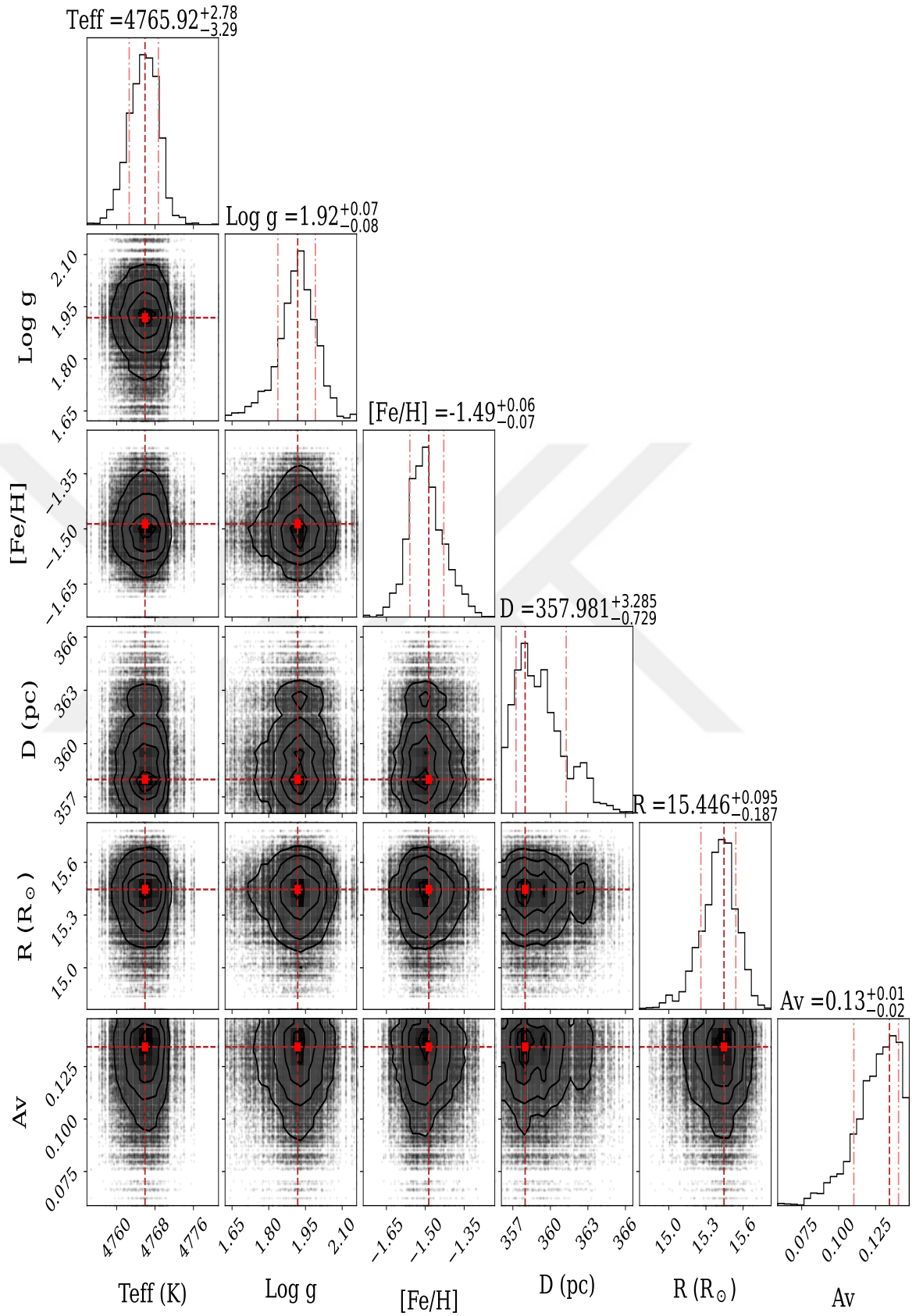
Tablo 4.12. HD 63791 yıldızı için Python tabanlı arayüz ve sentetik tayf kütüphanesi yardımı ile hesaplanan model parametreleri.

Yöntem	T_{eff}	$\log g$	[Fe/H]	ξ
	(K)	(cgs)	(dex)	(km/s)
MOOG Analizi	4770^{+120}_{-135}	$1.90^{+0.30}_{-0.35}$	$-1.56^{+0.16}_{-0.16}$	$1.52^{+0.50}_{-0.50}$
MARCS-GESv6-atom-hfs-480-680nm	4826^{+51}_{-51}	$1.78^{+0.20}_{-0.20}$	$-1.65^{+0.08}_{-0.08}$	$1.74^{+0.11}_{-0.11}$
ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm	4781^{+53}_{-53}	$1.75^{+0.19}_{-0.19}$	$-1.58^{+0.07}_{-0.07}$	$1.56^{+0.12}_{-0.12}$
ATLAS9 Castelli-GESv6-atom-hfs-480-680nm	4857^{+44}_{-44}	$1.93^{+0.17}_{-0.17}$	$-1.64^{+0.07}_{-0.07}$	$1.88^{+0.10}_{-0.10}$
ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm*	4786^{+44}_{-44}	$1.75^{+0.17}_{-0.17}$	$-1.57^{+0.07}_{-0.07}$	$1.48^{+0.10}_{-0.10}$

(*): ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm model grid yardımı ile hesaplanan model atmosfer parametreleri için tez çalışması kapsamında tayfta teşhisi yapılan çizgiler referans alınmıştır. Ayrıca segmentler interaktif olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.39. HD 63791 yıldızı için Castelli&Kurucz eşleşen (bestfit) SED eğrisi (üst panel) ve model ile gözlemsel veriler arasındaki farklar (alt panel). Mavi daire sembolü gözlemsel parlaklıklardan hesaplanan akıları, mor elmas sembolü ise sentetik akı değerleri göstermektedir.



Şekil 4.40. HD 63791 yıldızının Castelli&Kurucz (1993) model gridi hesaplanan T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, d , R ve A_v parametreleri ve bu parametrelerin diğer parametrelerle olan ilişkilerini gösterir corner plot.

4.2.2. Bayes Yaş Tayini

Tayfsal analizleri gerçekleştirilen ve klasik tayfsal analiz yöntemi ile model parametreleri elde edilen HD 63791 yıldızının yaş hesabı, Jorgensen ve Lindegren (2005) tarafından geliştirilen Bayes istatistiğine dayalı bir yöntem ile PARSEC (Bressan vd. 2012) yıldız evrim modeliyle karşılaştırılması sonucu tespit edilmiştir. HD 63791 yıldızının kiel diyagramı ($\log g - T_{\text{eff}}$) üzerindeki konumları ve Bayes istatistiğine en uygun PARSEC (Bressan vd. 2012) eş-yaş eğrileri ve Bayes istatistiğiyle hesaplanan en olası yaşlara ait G dağılımları Şekil 4.29’de gösterilmiştir. Kiel diyagramındaki konumu incelendiğinde HD 63791’in kırmızı dev kolunda görülmektedir. Jorgensen ve Lindegren (2005)’nin yöntemine göre yıldız yaşının tayininde en büyük G değerine karşılık gelen yaş, yıldızın en olası yıldız yaşı olarak kabul edilmektedir. Bayes istatistiğine göre HD 63791 yıldızının en olası yaşı, 13.00 ± 0.58 Gyl olarak tespit edilmiştir. ARIADNE kodu, HD 63791 için yaşı 13.23 olarak tespit etmiştir. Bu yaş değeri tez kapsamında elde edilen yaş değeri ile uyum göstermektedir.

4.2.3. Kinematik Analiz

HD 63791 yıldızı için uzay hızı, Johnson ve Soderblom (1987)’un geliştirdikleri yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Uzay hızı hesabı için gerekli olan parametreler ($\alpha, \delta, \mu_{\alpha, \mu_{\delta}, \varpi$ ve d) Gaia işbirliği (2022)’den alınmıştır (Tablo 4.7). Uzay hızı değerlerinin belirlenmesi aşamasında diferansiyel dönme (dU, dV) ve yerel durağanlık standardı (LSR) dikkate alınmıştır. HD 63791 için diferansiyel dönme (3.59, -0.94) km/sn olarak hesaplanmıştır. HD 63791 yıldızının toplam uzay hızı (S) yıldızların uzay hız bileşenlerinin karelerinin toplamalarının karekök alınarak hesaplanmıştır. Tablo 4.8’de HD 63791 için hesaplanan uzay hızı değerleri verilmektedir. Tez kapsamında elde edilen uzay hızı parametrelerinin literatürde sunulan değerler ile karşılaştırılması Tablo 4.13’te verilmektedir.

Bu tez çalışmasında sadece kinematik analiz kaynaklı galaksi popülasyon üyelikleri de incelenmiştir. Sadece kinematik bulgular ışığında HD 63791’in Kalın disk popülasyonuna ait olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 4.9). Literatürde Mishenina vd. (2002) HD 63791 yıldızının kalın disk yıldız popülasyonuna ait olduğunu tespit etmişlerdir.

Tablo 4.13. HD 63791 için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V) ve galaktik yörünge parametrelerinin literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılması.

Yıldız	Referans	U	V	W	$Z_{\max}$	R_a	R_p	e
		(km/s)			(kpc)			
HD 63791	Tez çalışması	-27.56 ± 0.76	-167.24 ± 0.88	-128.68 ± 0.52	4.99	8.42	2.58	0.53
	1	47 ± 40	-170 ± 41	-161 ± 32				0.71
	2	57	-185	-168				
	3	20	-159	-124				
	4	3	-140	-112	3.84	8.77	2.74	0.53
	5	16.7	123.6	100.5	3.45	8.77	2.85	0.51
	6	20	61	-124	2.1	9.1	1.4	0.73

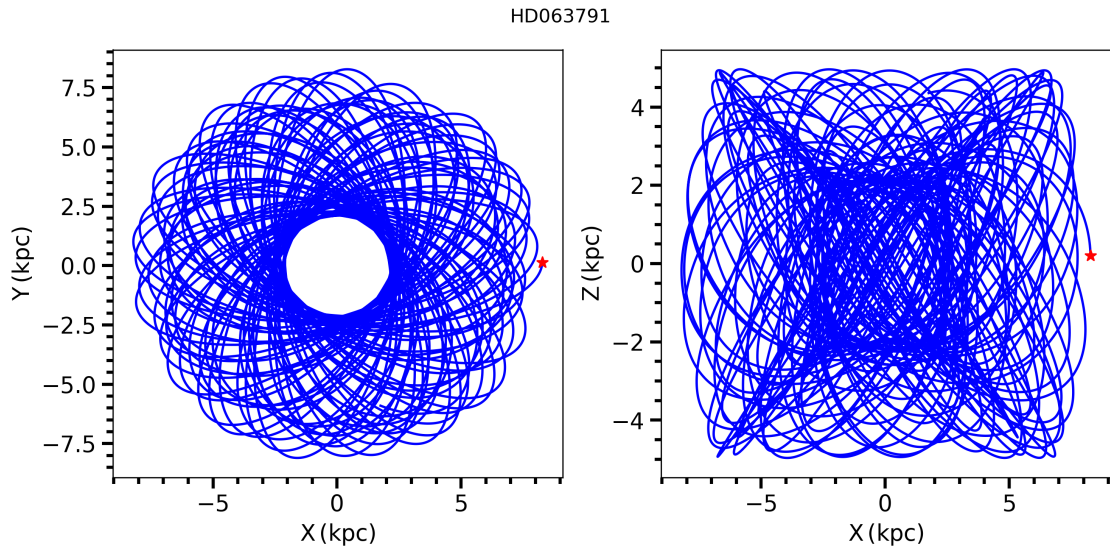
1: Carney ve Latham (1986), 2: Sommer-Larsen ve Zhen (1990), 3: Hanson vd. (1998), 4: Beers vd. (2000), 5: Mishenina vd. (2002), 6:Roederer (2009)

4.2.4. Dinamik Yörünge Analizi ve Galaktik Köken

HD 63791 hesaplanan yörünge parametreleri Tablo 4.9’da verilmektedir. Tablo 4.13 de ise bu tez çalışmasında belirlenen yörünge parametreleri literatürdeki değerler ile karşılaştırmıştır ve şelik üzerinde gösterilmiştir (R_a için Şekil 4.30; R_p için Şekil 4.31 ve $Z_{\max}$ için ise Şekil 4.32).

Galaktik köken aşamaları ve yörünge dinamiği analizine ilişkin ayrıntılar HD 8724 yıldızı için belirtildiği üzere HD 63791 yıldızı için de uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda HD 63791’in %37 olasılıkla NGC 5139 küresel kümesine ait olduğu düşünülmektedir. HD 63791 için kinematik (konum ve hız) olarak başka kümeler ile daha yüksek bir karşılaşma olasılığı bulunsa da sadece kinematik parametreler ile köken tayini belirlemek yeterli değildir. Metal bolluğu ve yaşın da küresel küme ile uyumlu olması beklenmektedir. Metal bolluğu ve yaş parametrelerinin de göz önüne alındığında HD 63791’in NGC 5139 küresel kümesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. NGC 5139 küresel kümesinin literatürde rapor edilen metal bolluğu değeri $[Fe/H] = -1.65$ dex’dir. HD 63791 yıldızının metal bolluğu da -1.56 ± 0.16 dex’dir ve metal bolluğu hata payı çerçevesinde NGC 5139 küresel kümesi ile uyumludur. Lui vd. (2019) tarafından NGC 5139 kümesi için yaş değeri 12.90 Gyıl olarak rapor edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında HD 63791

yıldızı için elde edilen yaş değeri (13.00 ± 0.58 Gyıl) ile uyum göstermektedir. Magurno vd. (2019) tarafından NGC 5139 kümesi için rapor edilen $[\alpha\text{-element}]$ bolluk değeri 0.41 dex'dir. HD 63791 yıldızı için bulunan $[\alpha\text{-element}]$ bolluk değeri ise 0.34 dex olarak elde edilmiştir. $[\alpha\text{-element}]$ bollukları çerçevesinde de NGC 5139 ve HD 63791 arasında bir uyum görülmektedir. NGC 5139 küresel kümesi için Şekil 4.34 ve HD 63791 için Şekil 4.41'de hesaplanan Galaktik yörüngesinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemlerindeki konumları gösterilmektedir.



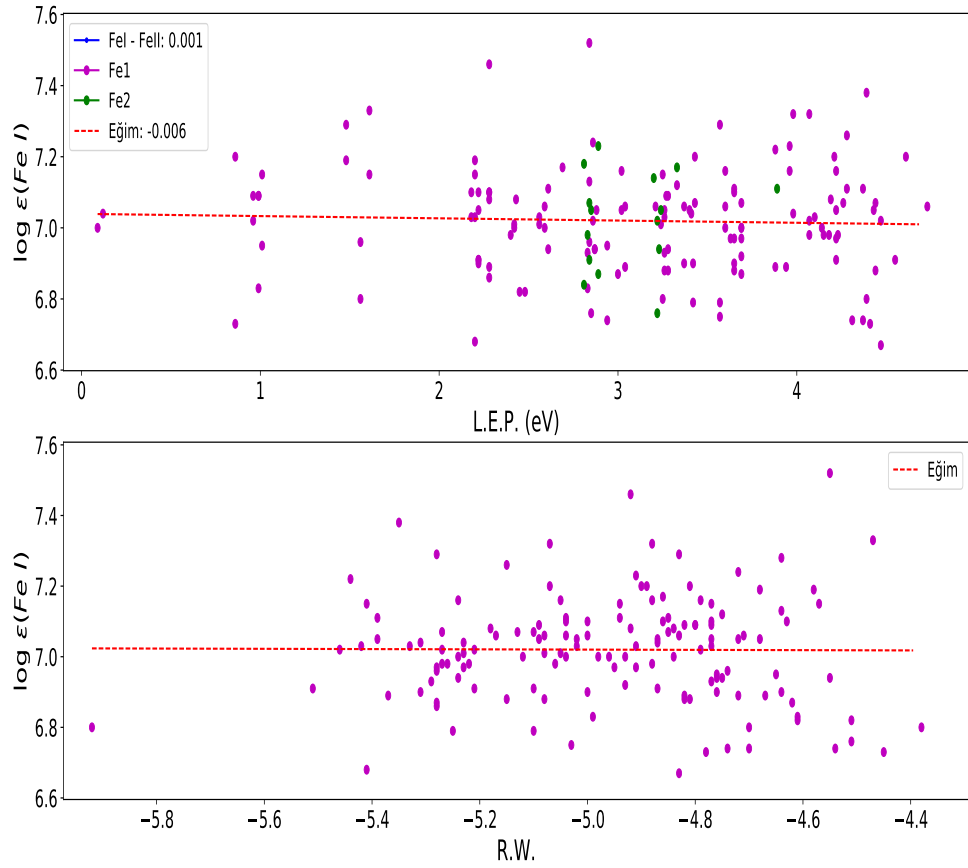
Şekil 4.41. HD 63791 yıldızının Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daireler, yıldızların bugünkü konumu göstermektedir.

4.3. HD 195633 (Gaia DR3 1748576848010782208)

4.3.1. KlasikTayfsal Analiz

HD 8724 için gerçekleştirilen klasik tayfsal analiz adımları, HD 195633 yıldızı da uygulanmıştır.

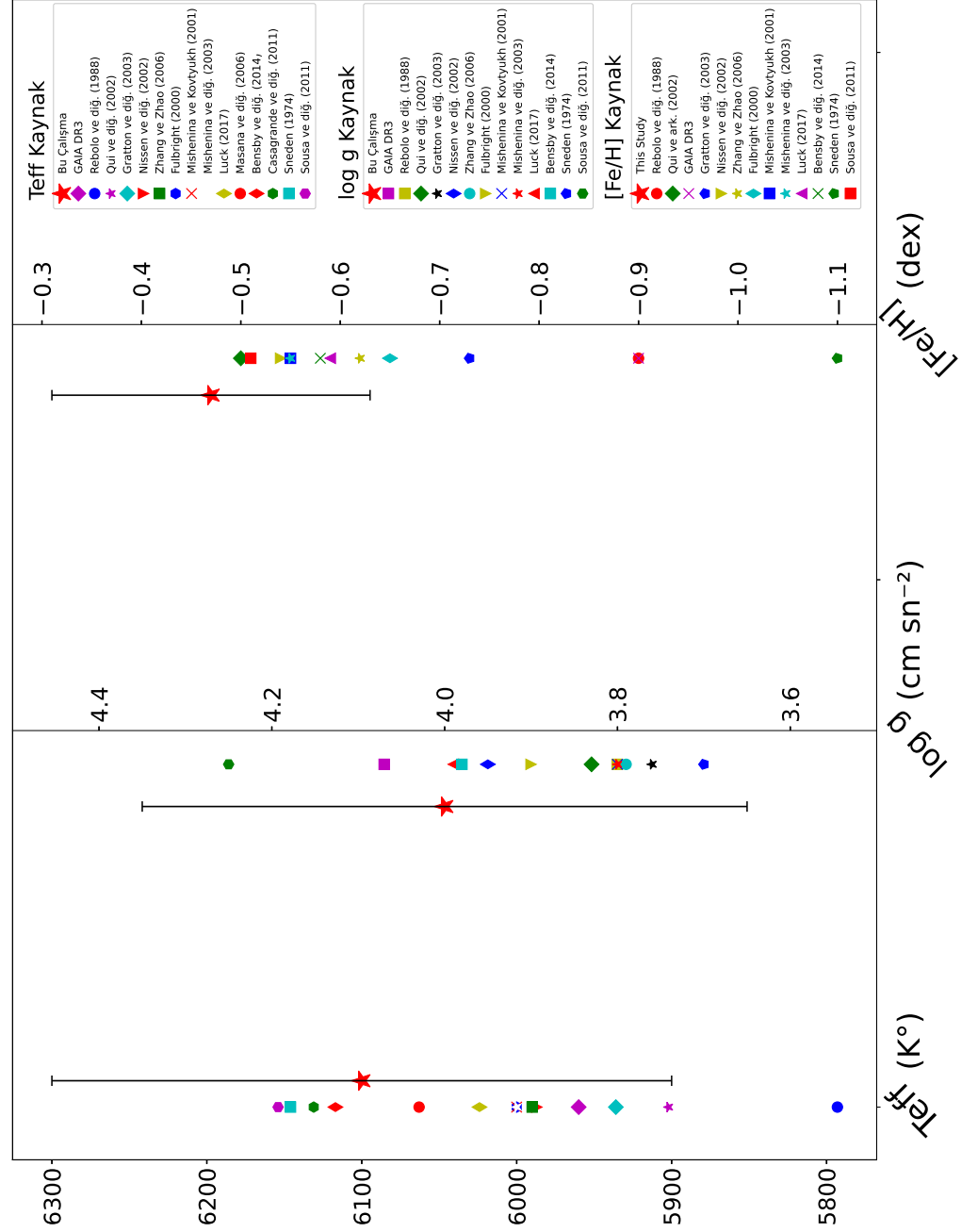
HD 195633 yıldızının model parametrelerin ve bollukların hesaplanması aşamasında kullanılan Moog koduna ait görsel Şekil 4.42'de gösterilmektedir. HD 195633 için klasik tayfsal analiz yöntemi ile elde edilen model atmosfer parametreleri Tablo 4.2'de sunulmuştur. Bu model parametreler ile HD 195633 için literatürde rapor edilen değerlerin ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.43, EK-Tablo 6.21).



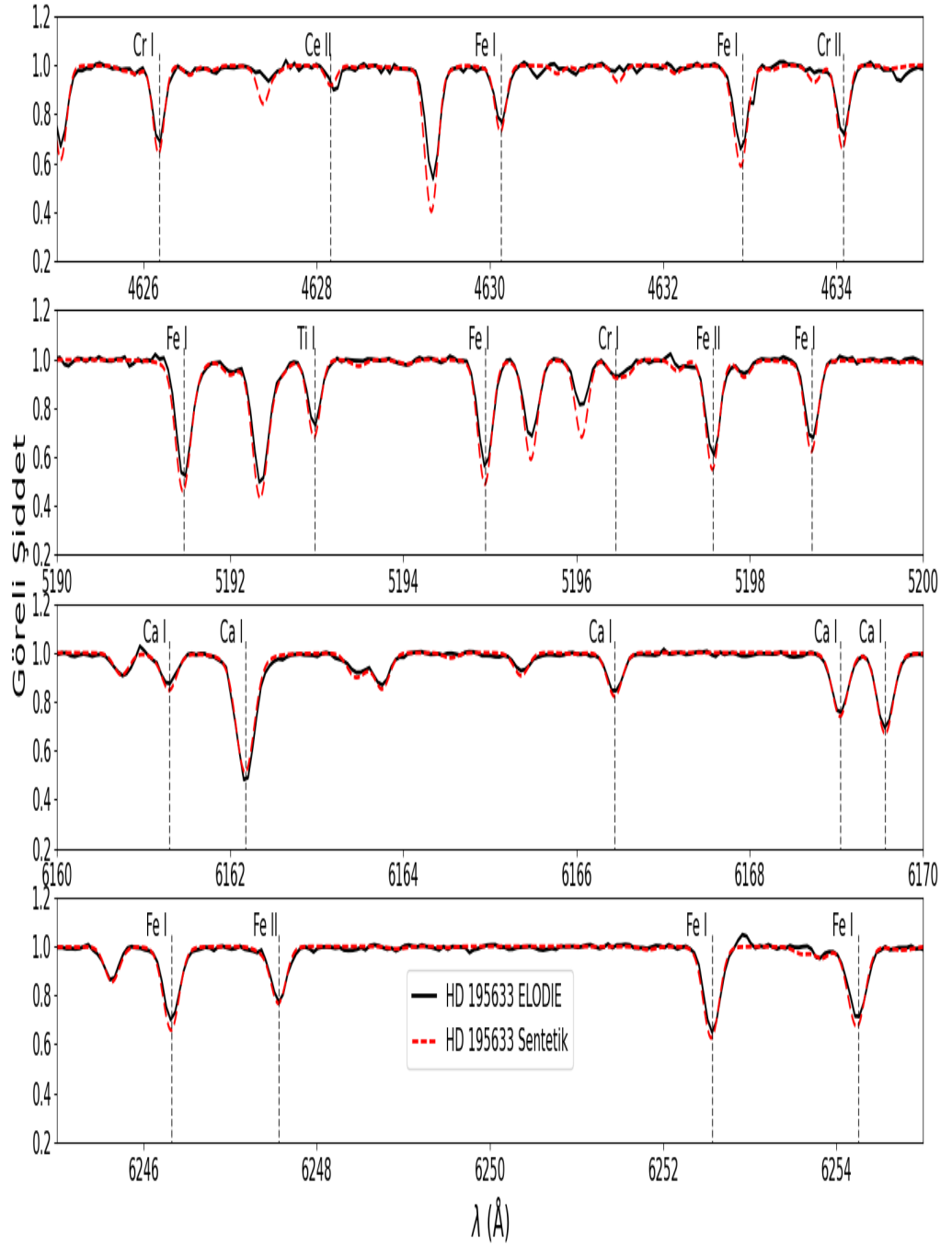
Şekil 4.42. Alt seviye uyartılma potansiyeli ve indirgenmiş eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak HD 195633 yıldızı için atmosferik parametrelerin MOOG yıldız atmosfer kodu yardımı ile tayini. Alt ve üst paneldeki düz kesikli çizgiler, verilere en küçük kareler yöntemi ile yapılan uydurmaları temsil etmektedir.

HD 195633 yıldızı için bu tez çalışmasında edilen model parametreleri göz önüne alınarak sentetik tayf hesaplanmıştır. Hesaplanan sentetik ve gözlenen tayf uyum içerisindedir (Şekil 4.44). Sentetik tayf oluşturulması aşamasında, HD 195633 için hesaplanan element bolluk değerleri sabitlenmiştir.

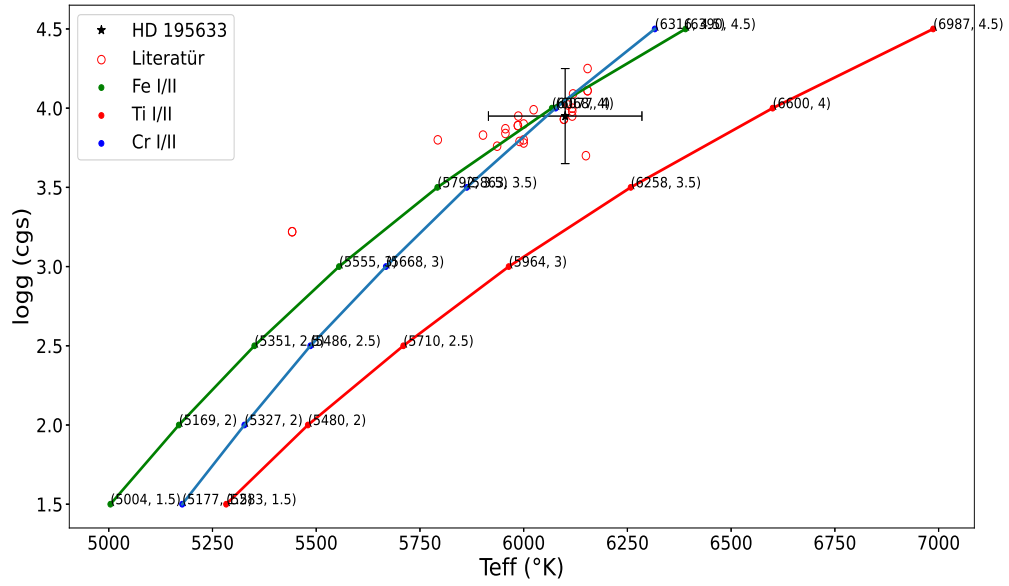
HD 195633 yıldızı için oluşturulan Kiel diyagramı, Şekil 4.45’de gösterilmektedir. Kiel diyagramı ile elde edilen sonuçlar neticesinde, tayfsal olarak elde edilen sonuçların doğruluğunu teyit etmektedir. Şekil 4.45’de HD 195633 için klasik tayfsal analiz yöntemiyle elde edilen model parametreleri, literatürden derlenen model parametreler ile



Şekil 4.43. HD 195633 yıldızı için literatürde rapor edilen model parametreleri. Tez kapsamında elde edilen model parametreleri de hataları ile birlikte içerilmiştir.



Şekil 4.44. HD 8724 için ELODIE (siyah) yıldız tayfı ve tez kapsamında elde edilmiş model parametrelerle oluşturulan sentetik (kırmızı) tayfı.



Şekil 4.45. HD 195633 yıldızı için Kiel diyagramı. Kırmızı yuvarlak daireler, literatürde yıldız için rapor edilen T_{eff} $\log g$ değerlerini göstermektedir.

birlikte Kiel diyagramı üzerinde gösterilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında HD 195633 için elde edilen element bollukları, Tablo 4.14'te listelenmektedir. HD 195633 yıldızı için $[\alpha/\text{element}] = 0.10$ dex'tir. Zhang ve Zhao (2006) tarafından elde edilen $[\alpha/\text{element}]$ ise 0.16 dex olarak rapor edilmiştir.

HD 195633 için Fulbright (2000) tarafından rapor edilen $[\text{SiI}/\text{Fe}]$, $[\text{CrI}/\text{Fe}]$, $[\text{NiI}/\text{Fe}]$ ve $[\text{YII}/\text{Fe}]$ bollukları, bu tez çalışmasında elde edilen bollukları ile sırasıyla 0.04, 0.06, 0.02 ve 0.04 dex farkla uyumlu olduğu görülmüştür. Qiu vd. (2002) tarafından rapor edilen $[\text{MgI}/\text{Fe}]$, $[\text{SiI}/\text{Fe}]$, $[\text{ScII}/\text{Fe}]$ ve $[\text{TiI}/\text{Fe}]$ bollukları, bu tez çalışması kapsamında elde edilen bolluk değerleri ile ≈ 0.05 dex farkla uyumlu bulunmuştur. Zhang ve Zhao (2006) rapor edilen $[\text{SiI}/\text{Fe}]$, $[\text{CaI}/\text{Fe}]$, $[\text{ScII}/\text{Fe}]$, $[\text{CrI}/\text{Fe}]$, $[\text{MnI}/\text{Fe}]$ ve $[\text{NiI}/\text{Fe}]$ bollukları, bu tez çalışmasında elde edilen bolluklar ile ≈ 0.1 dex fark ile uyumludur. Bu tez çalışmasında kullanılan yıldız tayfi ile Mishenina ve Kovtyukh (2001) tarafından kullanılan yıldız tayfi aynıdır. Mishenina ve Kovtyukh (2001) HD 195633 için etkin sıcaklığı (T_{eff}), H_{α} profili ile elde etmişlerdir. Bu iki çalışmada elde edilen model parametreler arasındaki fark, etkin sıcaklıkta (T_{eff}) 100 K, çekim ivmesinde ($\log g$) 0.15 cgs ve $[\text{Fe}/\text{H}]$ de ise 0.07 dex'dir. Mishenina ve Kovtyukh (2001) tarafından elde edilen $[\text{MgI}/\text{Fe}]$, $[\text{SiI}/\text{Fe}]$, $[\text{CaI}/\text{Fe}]$

element bollukları bu çalışma ile elde edilen element bollukları arasında sırasıyla 0.1, 0.03, 0.1 dex'lik fark vardır.

Tablo 4.14. HD 195633 yıldızları için hesaplanan element bollukları $[X/Fe]$ gösterilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen Güneş bollukları ve Asplund vd. (2009)'nin çalışmalarında elde ettikleri Güneş bollukları verilmektedir.

Element	HD 195633				Tez çalışması		Asplund vd. (2009)	$\Delta \log \epsilon_{\odot}(X)$
	$[X/H]$	$[X/Fe]$	n	$[X/Fe]$	$\log \epsilon_{\odot}(X)$ (dex)	n	$\log \epsilon_{\odot}(X)$ (dex)	(dex)
Mg I	-0.55 ± 0.08	-0.03 ± 0.09	3	0.07 ± 0.04	7.65 ± 0.00	1	7.60 ± 0.04	0.05
Si I	-0.36 ± 0.18	0.16 ± 0.19	8	0.16 ± 0.19	7.48 ± 0.14	11	7.51 ± 0.03	0.03
Ca I	-0.39 ± 0.10	0.13 ± 0.11	16	0.11 ± 0.09	6.35 ± 0.08	8	6.34 ± 0.04	0.01
Sc II	-0.46 ± 0.14	0.06 ± 0.14	7	0.08 ± 0.12	3.30 ± 0.11	4	3.15 ± 0.04	0.15
Ti I	-0.45 ± 0.11	0.07 ± 0.12	11	0.06 ± 0.12	4.97 ± 0.09	28	4.95 ± 0.05	0.02
Ti II	-0.22 ± 0.20	0.30 ± 0.21	14	0.14 ± 0.11	5.00 ± 0.09	10	4.95 ± 0.05	0.05
V I	-0.23 ± 0.20	0.29 ± 0.21	2		3.99 ± 0.07	2	3.93 ± 0.08	0.06
Cr I	-0.54 ± 0.11	-0.02 ± 0.11	16	-0.05 ± 0.11	5.71 ± 0.07	14	5.64 ± 0.04	0.07
Cr II	-0.49 ± 0.16	0.03 ± 0.17	5	-0.02 ± 0.17	5.64 ± 0.14	3	5.64 ± 0.04	0.00
Mn I	-0.78 ± 0.16	-0.26 ± 0.17	6	-0.23 ± 0.17	5.64 ± 0.11	7	5.43 ± 0.05	0.21
Fe I	-0.52 ± 0.18	0.00	143	0 ± 0.16	7.54 ± 0.10	84	7.50 ± 0.04	0.04
Fe II	-0.52 ± 0.18	0.00	16	0 ± 0.18	7.54 ± 0.12	13	7.50 ± 0.04	0.04
Co I	-0.56 ± 0.18	-0.04 ± 0.18	2	-0.04 ± 0.18	4.95 ± 0.16	6	4.99 ± 0.07	0.04
Ni I	-0.48 ± 0.19	0.04 ± 0.20	23	-0.01 ± 0.20	6.26 ± 0.13	24	6.22 ± 0.04	0.04
Cu I	-1.18 ± 0.01	-0.66 ± 0.04	1	-0.66 ± 0.04	4.83 ± 0.00	1	4.19 ± 0.04	0.64
Zn I	-0.56 ± 0.06	-0.04 ± 0.07	2	-0.07 ± 0.05	4.68 ± 0.03	2	4.56 ± 0.05	0.18
Y II	-0.68 ± 0.09	-0.16 ± 0.10	5	-0.19 ± 0.06	2.29 ± 0.05	2	2.21 ± 0.05	0.08
Zr II	-0.70 ± 0.00	-0.18 ± 0.04	1	-0.18 ± 0.04	2.71 ± 0.00	1	2.58 ± 0.04	0.13
Ba II	-0.49 ± 0.16	0.03 ± 0.16	5	-0.13 ± 0.06	2.33 ± 0.05	2	2.18 ± 0.09	0.15
La II	-0.48 ± 0.12	0.04 ± 0.13	1		1.38 ± 0.12	3	1.10 ± 0.04	0.28
Ce II	-0.30 ± 0.00	0.22 ± 0.04	1		1.64 ± 0.00	1	1.58 ± 0.04	0.06
Nd II	-0.07 ± 0.04	0.45 ± 0.06	1		1.38 ± 0.04	2	1.42 ± 0.04	0.04
Sm II	-0.09 ± 0.00	0.43 ± 0.04		0.43 ± 0.04	0.96 ± 0.00	1	0.96 ± 0.04	0.00

$$\Delta \log \epsilon_{\odot}(X) = \log \epsilon_{\odot}(X)_{\text{Tez}} - \log \epsilon_{\odot}(X)_{\text{Asplund}}$$

Metalce fakir bir yıldız olan HD 195633 için element bolluklarında 3D modelin gereksinimi incelenmiştir. HD 195633 yıldızında demir elementi (Fe I) için düşük uyarılma potansiyelli (<1.2 ev) çizgilerden elde edilen bolluk (7.05 dex) değeri ile yüksek uyarılma potansiyelli (>1.2 ev) çizgilerden elde edilen bolluk (7.02 dex) değeri arasında 0.03 dex'lik bir fark görülmüştür. Bu kadar küçük bir farkın olmasından dolayı HD 195633

Tablo 4.15. HD 195633 yıldızı için Python tabanlı arayüz ve sentetik tayf kütüphanesi yardımı ile hesaplanan model parametreleri.

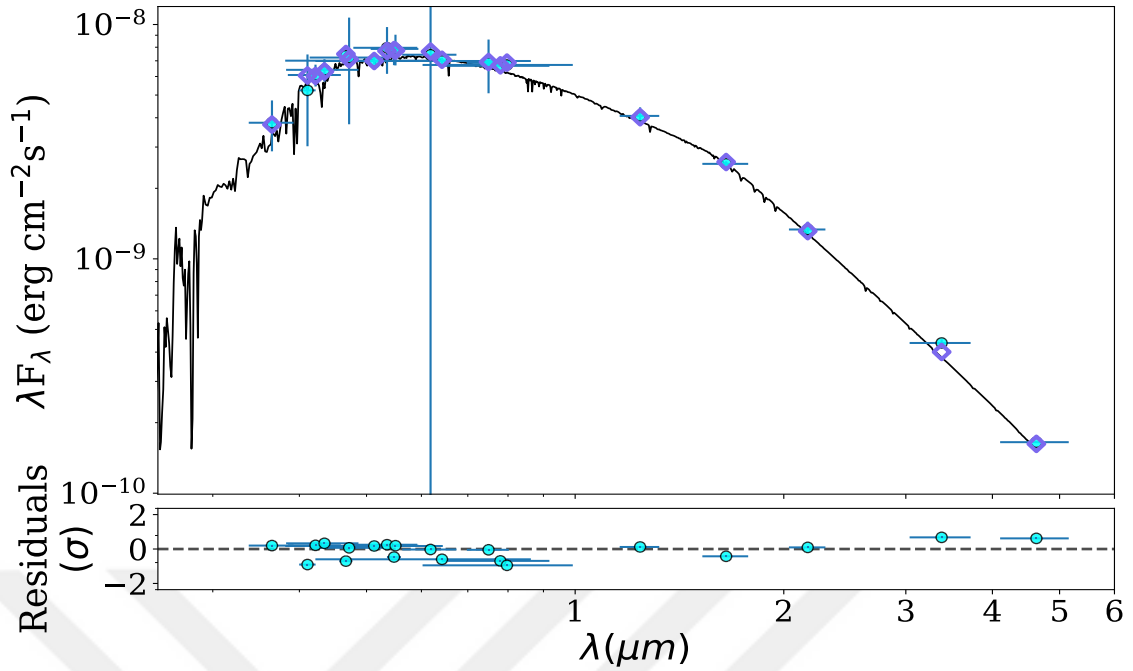
Yöntem	T_{eff}	$\log g$	[Fe/H]	ξ
	(K)	(cgs)	(dex)	(km/s)
MOOG Analizi	6100 $^{+195}_{-185}$	3.95 $^{+30}_{-35}$	-0.48 $^{+0.15}_{-0.15}$	1.26 $^{+0.50}_{-0.50}$
MARCS-GESv6-atom-hfs-480-680nm	5978 $^{+49}_{-49}$	3.72 $^{+0.08}_{-0.08}$	-0.67 $^{+0.04}_{-0.04}$	1.58 $^{+0.12}_{-0.12}$
ATLAS9 Castelli SPECTRUM 380-900nm	5940 $^{+54}_{-54}$	3.82 $^{+0.10}_{-0.10}$	-0.64 $^{+0.05}_{-0.05}$	1.36 $^{+0.14}_{-0.14}$
ATLAS9 Castelli-GESv6-atom-hfs-480-680nm	5983 $^{+53}_{-53}$	3.74 $^{+0.09}_{-0.09}$	-0.74 $^{+0.03}_{-0.03}$	1.58 $^{+0.13}_{-0.13}$

için 3D bolluk analizine gereksinim duyulmamıştır.

Element bollukları üzerinde Non-LTE etkilerinin varlığı araştırılmıştır. Non-LTE bollukların elde edilmesi aşamasında online olarak hizmet veren INSPECT Lind vd. (2012) arayüzünden yararlanılmıştır. HD 195633 için Fe elementi üzerinde elde edilen Non-LTE bolluk değerleri ile LTE bolluk değerleri arasındaki farkın 0.02 dex olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Fe çizgilerinin analizde kullanılmasından kaynaklanan olası non-LTE etkileri, model parametrelerine olan etkileri göz ardı edilebilecek kadar küçüktür.

HD 195633 için model grid yöntemiyle belirlenen model parametreler, klasik tayfsal analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.15). Bu üç sentetik tayf kütüphanesi içerisinde HD 195633 için klasik tayfsal analiz çalışmasına en yakın değeri veren sentetik tayf kütüphanesinin ATLAS9 Castelli-GESv6-atom-hfs-480-680nm model gridi olduğu görülmektedir.

HD 195633 için ARIADNE kodu ile elde edilen SED eğrisi Şekil 4.46'da gösterilmektedir. HD 195633 için ARIADNE kodu yardımı ile oluşturulmuş Corner plot Şekil 4.47'de temsili olarak içerilmiştir. Klasik tayfsal analiz sonuçları ile kıyaslandığında etkin sıcaklık $\log g$ ve [Fe/H] değerlerinde uyum görülmektedir. Tablo 4.5'de ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonuçları, klasik tayfsal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.48 de kod tarafından belirlenen kütle parametresi HR diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Klasik tayfsal analiz sonuçları ile kıyaslandığında etkin sıcaklık $\log g$ ve [Fe/H] değerlerinde uyum görülmektedir.

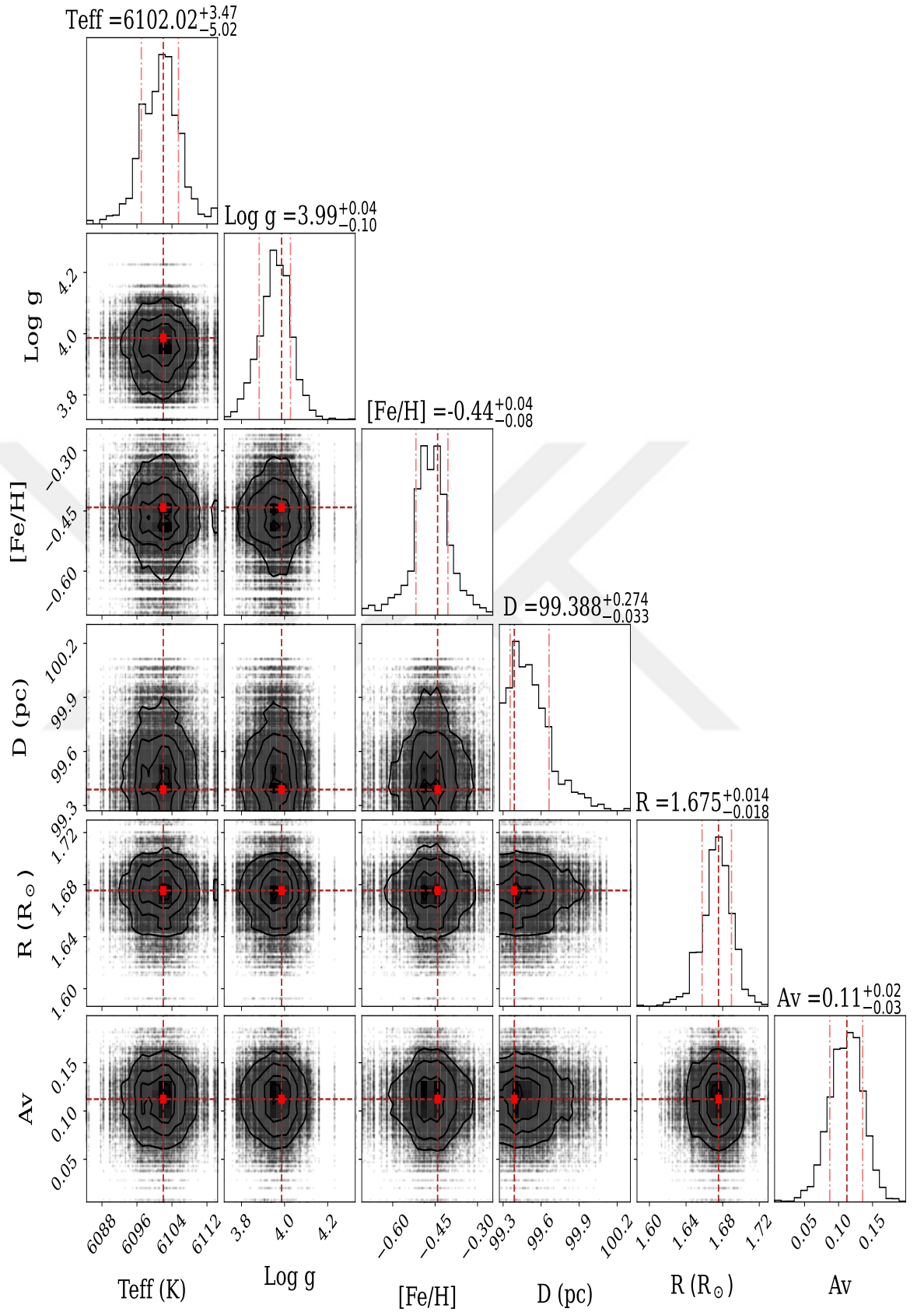


Şekil 4.46. HD 195633 yıldızı için Castelli&Kurucz eşleşen (bestfit) SED eğrisi (üst panel) ve model ile gözlemsel veriler arasındaki farklar (alt panel). Mavi daire sembolü gözlemsel parlaklıklardan hesaplanan akıları, mor elmas sembolü ise sentetik akı değerleri göstermektedir.

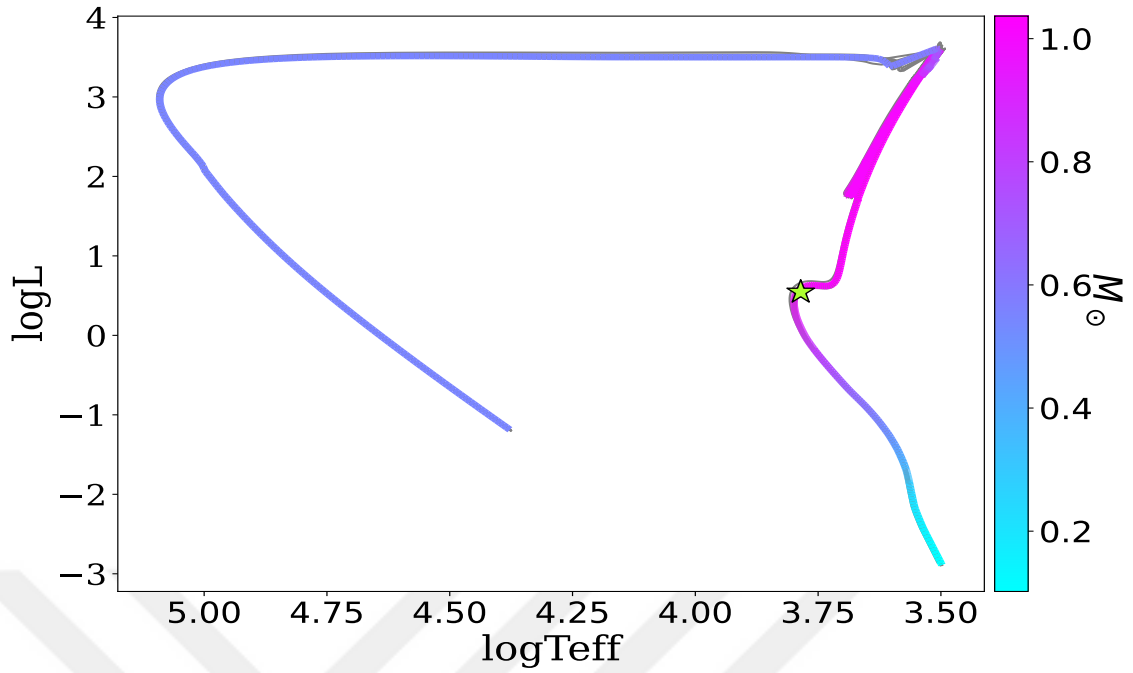
4.3.2. Bayes Yaş Tayini

Tayfsal analizleri gerçekleştirilen ve klasik tayfsal analiz yöntemi ile model parametreleri elde edilen HD 195633 yıldızının yaş hesabı, Jorgensen ve Lindegren (2005) tarafından geliştirilen Bayes istatistiğine dayalı yöntem ile PARSEC (Bressan vd. 2012) yıldız evrim modeliyle karşılaştırılması sonucu tespit edilmiştir. HD 195633 yıldızının kiel diyagramı ($\log g - T_{\text{eff}}$) üzerindeki konumları ve Bayes istatistiğine en uygun PARSEC (Bressan vd. 2012) eş-yaş eğrileri ve Bayes istatistiğiyle hesaplanan en olası yaşlara ait G dağılımları Şekil 4.29’de gösterilmiştir. Kiel diyagramındaki konumu incelendiğinde HD 195633’ün anakolun dönüm noktasının üstünde bulunduğu görülmektedir. Jorgensen ve Lindegren (2005)’nin yöntemine göre yıldız yaşının tayininde en büyük G değerine karşılık gelen yaş, yıldızın en olası yıldız yaşı olarak kabul edilmektedir. Bayes istatistiğine göre HD 195633 yıldızının en olası yaşı, 8.15 ± 1.40 Gyl olarak tespit edilmiştir.

Literatürde Nordström vd. (2004) HD 195633 için yaşı 7.8 Gyl olarak hesaplamıştır.



Şekil 4.47. HD 195633 yıldızının Castelli&Kurucz (1993) model gridi hesaplanan T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, d , R ve A_v parametreleri ve bu parametrelerin diğer parametrelerle olan ilişkilerini gösterir corner plot.



Şekil 4.48. HD 195633 yıldızı için Castelli&Kurucz modeliyle yıldız kütesinin belirlenmesi.

Zhang ve Zhao (2006) ise HD 195633 için yaşı 6.2 Gyl olarak rapor etmiştir. Feltzing vd. (2001) tarafından rapor edilen yaş değeri ise 5.86 ± 1.95 'dir. ARIADNE kodu HD 195633 yıldızı için yaş değerini 7.05 Gyl olarak hesaplamıştır.

4.3.3. Kinematik Analiz

HD 195633 yıldızı için uzay hızı, Johnson ve Soderblom (1987)'un geliştirdikleri yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Uzay hızı hesabı için gerekli olan parametreler ($\alpha, \delta, \mu_{\alpha}, \mu_{\delta}, \varpi$ ve d) Gaia işbirliği (2022)'den alınmıştır (Tablo 4.7). Uzay hızı değerlerinin belirlenmesi aşamasında diferansiyel dönme (dU, dV) ve yerel durağanlık standardı (LSR) dikkate alınmıştır. HD 195633 için diferansiyel dönme (3.59, -0.94) km/sn olarak hesaplanmıştır. HD 195633 yıldızının toplam uzay hızı (S) yıldızların uzay hız bileşenlerinin karelerinin toplamalarının karekökü alınarak hesaplanmıştır. Tablo 4.8'da HD 195633 için hesaplanan uzay hızı değerleri verilmektedir. Tez kapsamında elde edilen uzay hızı parametrelerinin literatürde sunulan değerler ile karşılaştırılması Tablo 4.16'de verilmektedir.

Bu tez çalışmasında sadece kinematik analiz kaynaklı galaksi popülasyon üyelikleri de incelenmiştir. Sadece kinematik bulgular ışığında HD 195633'ün ince disk popülasyo-

Tablo 4.16. HD 195633 için hesaplanan uzay hızı bileşenleri (U , W , V) ve galaktik yörünge parametrelerinin literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılması.

Yıldız	Referans	U	V	W	$Z_{\max}$	R_a	R_p	e
		(km/sn)			(kpc)			
HD 195633	Tez çalışması	-46.97 ± 0.11	-9.19 ± 0.12	-1.67 ± 0.07	0.03	9.02	6.47	0.16
	1	74	-34	0				0.22
	2	151	-3	-70				
	3	49.2	15.5	5.4	0.08	9.48	6.61	0.18
	4	49.0	16.2	3.8				
	5	-53	-23	-8	0.03	8.57	6.40	
	6	-49.6	-17.2	-2.9	0.0	9.5	6.6	0.18
	7	63	194	3	0.0	9.5	6.0	0.22

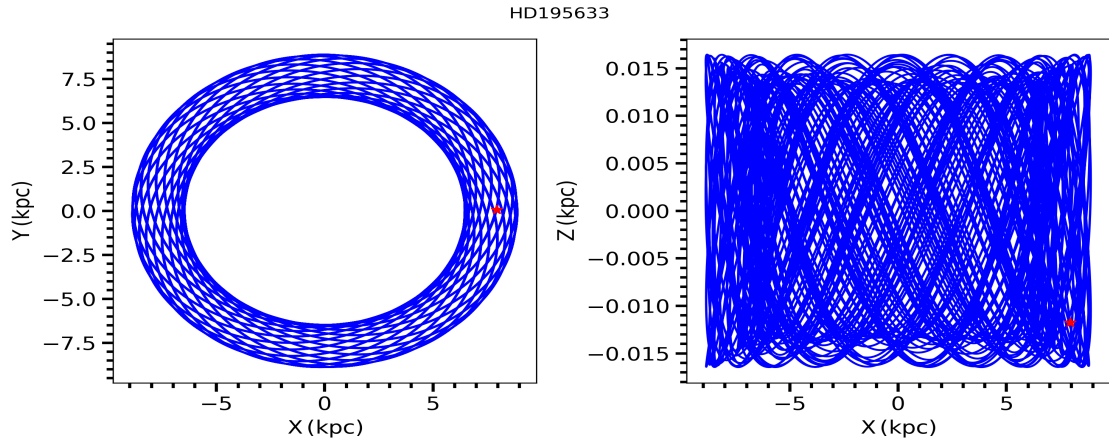
1: Bond (1970), 2: Norris (1986), 3: Mishenina vd. (2002), 4: Qiu vd. (2002), 5: Nordström vd. (2004), 6: Zhang ve Zhao (2006), 7:Roederer (2009)

nuna ait olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 4.9).

4.3.4. Dinamik Yörünge Analizi ve Galaktik Köken

Bu tez çalışması kapsamında HD 195633 için tespit edilen yörünge parametreleri Tablo 4.9'da sunulmuştur. Bu tez çalışmasında tespit edilen yörünge parametre değerleri ile literatürde rapor edilen yörünge parametre değerleri Tablo 4.16'da yer almaktadır. Tablo 4.16 da verilen değerler, R_a için Şekil 4.30; R_p için Şekil 4.31 ve $Z_{\max}$ için ise Şekil 4.32'de görselleştirilmiştir.

Galaktik kökeni aşamaları ve yörünge dinamiği analizine ilişkin ayrıntılar HD 8724 yıldızı için belirtildiği üzere HD 195633 yıldızı için de uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda HD 195633 yıldızı da kopma senaryosu çerçevesinde incelenmiş fakat herhangi bir küme ile kesişme bulunamamıştır. HD 195633 için hesaplanan Galaktik yörünge'nin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemlerindeki konumları Şekil 4.49'de gösterilmektedir.



Şekil 4.49. HD 195633 Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin $Y - X$ ve $Z - X$ uzaklık düzlemleri üzerindeki konumları. Kırmızı daireler, yıldızların bugünkü konumunu göstermektedir.

Tez yıldızları: Evrim Durumları

Bir gök cisminin tüm dalga boylarında kadir biriminde ölçülen parlaklığı bolometrik parlaklık olarak tanımlanır. Nitekim bolometrik parlaklıkları doğrudan doğruya gözlem yoluyla elde etmek olanaksızdır. Bu durumun altında yatan en temel sebep elektromanyetik tayfta yer alan bazı enerji bölgelerinin yer atmosferi tarafından engelleniyor olmasıdır. Bu nedenle bolometrik parlaklıklar teorik hesaplamalarla elde edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenen yıldızlar için söz konusu yıldızlara ait bolometrik parlaklıklar hesaplanmıştır. Bu amaç ile Eker ve Bakış (2023) çalışması esas alınmış ve belirtilen çalışmada yer alan denklemler kullanılmıştır ve $L_{\odot} = 3.8275 \times 10^{26} \text{ W}$, $T_{\odot} = 5772 \text{ K}$ olarak alınmıştır. (Denklem 4.29 - 4.30).

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L/L_{\odot}}{(T_{eff}/T_{\odot})^4}} \quad (4.29)$$

$$M_{Bol} = -2.5 \log L + 71.197425... \quad (4.30)$$

4.29 denkleminde kullanılan T_{eff} , tez kapsamında her bir yıldız için tayfsal analizlerde elde edilen T_{eff} değeridir. İhtiyaç duyulan parametreler ise literatürden temin edilmiştir. Tez çalışması kapsamında HD 8724 ve HD 63791 yıldızları için M_v ve R_* ($R_{\odot}$ cinsinden) değerleri, Carney vd. (2008) çalışmasından alınmıştır. HD 195633 için ise M_v

Tablo 4.17. HD 8724, HD 63791 ve HD 195633 için hesaplanan ısıtma ve Bolometrik parlaklıklar.

Yıldız	$R/R_{\odot}$	$L_{*}/L_{\odot}$	M_{Bol} (Mag)	BC (V)
HD 8724	31.1	425.51	-1.83	-1.83
HD 63791	18.7	164.47	-0.80	-1.10
HD 195633	1.6	3.16	3.49	-0.04

ve güneş cinsinden ısıtması ($L_{*}/L_{\odot}$) Luck (2017)'un çalışmasından alınmıştır. Denklem 4.29 yardımıyla L değerleri elde edilmiştir ve 4.30 denkleminde kullanılarak yıldızlar için Bolometrik parlaklıklar hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında elde edilen Bolometrik parlaklıklar Tablo 4.17 de verilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., Allam, S. S., Anderson, K. S., Anderson, S. F., Annis, J., ... Zucker, D. B. (2006). The fourth data release of the sloan digital sky survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 162(1), 38.
- Adibekyan, V. Z., Santos, N. C., Sousa, S. G., Israelian, G., Mena, E. D., Hernández, J. G., ... Udry, S. (2012). Overabundance of α -elements in exoplanet-hosting stars. *Astronomy Astrophysics*, 543, A89.
- Adibekyan, V. Z., Sousa, S. G., Santos, N. C., Mena, E. D., Hernández, J. G., Israelian, G., ... Khachatryan, G. (2012). Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS GTO planet search program-Galactic stellar populations and planets. *Astronomy Astrophysics*, 545, A32.
- Adibekyan, V. Z., Mena, E. D., Sousa, S. G., Santos, N. C., Israelian, G., Hernández, J. G., ... Hakobyan, A. A. (2012). Exploring the α -enhancement of metal-poor planet-hosting stars. The Kepler and HARPS samples. *Astronomy Astrophysics*, 547, A36.
- Aguilera-Gómez, C., Ramírez, I., Chanamé, J. (2018). Lithium abundance patterns of late-F stars: an in-depth analysis of the lithium desert. *Astronomy Astrophysics*, 614, A55.
- Allard, F. (2013). The BT-Settl model atmospheres for stars, brown dwarfs and planets. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 8(S299), 271-272.
- Alonso, A., Arribas, S., Martínez-Roger, C. (1999). The effective temperature scale of giant stars (F0–K5)-I. The effective temperature determination by means of the IRFM. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 139(2), 335-358.
- Arentsen, A., Prugniel, P., Gonneau, A., Lançon, A., Trager, S., Peletier, R., ... Vazdekis, A. (2019). Stellar atmospheric parameters for 754 spectra from the X-shooter Spectral Library. *Astronomy Astrophysics*, 627, A138.
- Arnaud, J., Meunier, N., Aurière, M. (2003). Stellar polarimetry with NARVAL. *European Astronomical Society Publications Series*, 9, 105-105.
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., Scott, P. (2009). The chemical composition of the Sun. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 47, 481-522.

- Battistini, C., Bensby, T. (2015). The origin and evolution of the odd-Z iron-peak elements Sc, V, Mn, and Co in the Milky Way stellar disk. *Astronomy Astrophysics*, 577, A9.
- Beers, T. C., Preston, G. W., Shectman, S. A., Doinidis, S. P., Griffin, K. E. (1992). Spectroscopy of hot stars in the Galactic halo. *The Astronomical Journal*, 103, 267-296.
- Beers, T. C., Chiba, M., Yoshii, Y., Platais, I., Hanson, R. B., Fuchs, B., Rossi, S. (2000). Kinematics of metal-poor stars in the galaxy. II. Proper motions for a large nonkinematically selected sample. *The Astronomical Journal*, 119(6), 2866.
- Beers, T. C., Christlieb, N. (2005). The discovery and analysis of very metal-poor stars in the galaxy. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 43, 531-580.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I. (2003). Elemental abundance trends in the Galactic thin and thick disks as traced by nearby F and G dwarf stars. *Astronomy Astrophysics*, 410(2), 527-551.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I. (2004). Oxygen trends in the Galactic thin and thick disks. *Astronomy Astrophysics*, 415(1), 155-170.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., Ilyin, I. (2005). -, r-, and s-process element trends in the Galactic thin and thick disks. *Astronomy Astrophysics*, 433(1), 185-203.
- Bensby, T., Feltzing, S., Oey, M. S. (2014). Exploring the Milky Way stellar disk-A detailed elemental abundance study of 714 F and G dwarf stars in the solar neighbourhood. *Astronomy Astrophysics*, 562, A71.
- Bergemann, M., Hansen, C. J., Bautista, M., Ruchti, G. (2012). NLTE analysis of Sr lines in spectra of late-type stars with new R-matrix atomic data. *Astronomy Astrophysics*, 546, A90.
- Blanco-Cuaresma, S., Soubiran, C., Heiter, U., Jofré, P. (2014). Determining stellar atmospheric parameters and chemical abundances of FGK stars with iSpec. *Astronomy Astrophysics*, 569, A111.
- Blaauw, A., Gum, C. S., Pawsey, J. L., Westerhout, G. (1960). The new IAU system of galactic coordinates (1958 revision). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 121(2), 123-131.

- Biemont, E., Godefroid, M. (1980). A reassessment of the zinc solar abundance. *Astronomy and Astrophysics*, 84, 361-363.
- Biemont, E., Grevesse, N., Hannaford, P., Lowe, R. M. (1981). Oscillator strengths for Zr I and Zr II and a new determination of the solar abundance of zirconium. *The Astrophysical Journal*, 248, 867-873.
- Boeche, C., Grebel, E. K. (2016). SP Ace: a new code to derive stellar parameters and elemental abundances. *Astronomy Astrophysics*, 587, A2.
- Boesgaard, A. M., Rich, J. A., Levesque, E. M., Bowler, B. P. (2011). Beryllium and alpha-element abundances in a large sample of metal-poor stars. *The Astrophysical Journal*, 743(2), 140.
- Bond, H. E. (1970). A search for metal-deficient stars. *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 22, p. 117 (1970), 22, 117.
- Bovy, J. (2015). galpy: A python Library for Galactic Dynamics. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 216(2), 29.
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S., Nanni, A. (2012). PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427(1), 127-145.
- Bromm, V., Coppi, P. S., Larson, R. B. (2002). The formation of the first stars. I. The primordial star-forming cloud. *The Astrophysical Journal*, 564(1), 23.
- Burris, D. L., Pilachowski, C. A., Armandroff, T. E., Sneden, C., Cowan, J. J., Roe, H. (2000). Neutron-capture elements in the early Galaxy: Insights from a large sample of metal-poor giants. *The Astrophysical Journal*, 544(1), 302.
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S. (1999). The new Basel high-latitude field star survey of the Galaxy. II. The thick disk component: density structure, luminosity function, and metallicity distribution. *Astronomy and Astrophysics*, v. 348, p. 98-112 (1999), 348, 98-112.
- Cabrera-Lavers, A., Garzón, F., Hammersley, P. L. (2005). The thick disc component of the Galaxy from near infrared colour-magnitude diagrams. *Astronomy Astrophysics*, 433(1), 173-183.

- Carney, B. W., Latham, D. W. (1986). The kinematics of halo red giants. *The Astronomical Journal*, 92, 60-71.
- Carney, B. W., Latham, D. W., Stefanik, R. P., Laird, J. B. (2007). Line broadening in field metal-poor red giant and red horizontal branch stars. *The Astronomical Journal*, 135(1), 196.
- Carrera, R., Pancino, E., Gallart, C., Del Pino, A. (2013). The near-infrared Ca ii triplet as a metallicity indicator–II. Extension to extremely metal-poor metallicity regimes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434(2), 1681-1691.
- Cenarro, A. J., Peletier, R. F., Sánchez-Blázquez, P., Selam, S. O., Toloba, E., Cardiel, N., ... Vazdekis, A. (2007). Medium-resolution Isaac Newton Telescope library of empirical spectra–II. The stellar atmospheric parameters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 374(2), 664-690.
- Casagrande, L., Schönrich, R., Asplund, M., Cassisi, S., Ramírez, I., Melendez, J., ... Feltzing, S. (2011). New constraints on the chemical evolution of the solar neighbourhood and Galactic disc (s)-Improved astrophysical parameters for the Geneva-Copenhagen Survey. *Astronomy Astrophysics*, 530, A138.
- Castelli, F., Kurucz, R. L. (2004). New grids of ATLAS9 model atmospheres. *arXiv preprint astro-ph/0405087*.
- Cenarro, A. J., Peletier, R. F., Sánchez-Blázquez, P., Selam, S. O., Toloba, E., Cardiel, N., ... Vazdekis, A. (2007). Medium-resolution Isaac Newton Telescope library of empirical spectra–II. The stellar atmospheric parameters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 374(2), 664-690.
- Chiba, M., Beers, T. C. (2000). Kinematics of metal-poor stars in the galaxy. III. Formation of the stellar halo and thick disk as revealed from a large sample of nonkinematically selected stars. *The Astronomical Journal*, 119(6), 2843.
- Chiba, M., Beers, T. C. (2001). Structure of the galactic stellar halo prior to disk formation. *The Astrophysical Journal*, 549(1), 325.
- Christlieb, N., Wisotzki, L., Reimers, D., Gehren, T., Reetz, J., Beers, T. C. (1998). An Automated Search for Metal-Poor Halo Stars in the Hamburg/ESO Objective-Prism Survey.

arXiv preprint astro-ph/9810183.

- Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Yaz, E., Gilmore, G., ... Zwitter, T. (2011). Local stellar kinematics from RAVE data—I. Local standard of rest. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412(2), 1237-1245.
- Das, P., Hawkins, K., Jofré, P. (2020). Ages and kinematics of chemically selected, accreted Milky Way halo stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493(4), 5195-5207.
- De Jong, J. T., Yanny, B., Rix, H.-W., Dolphin, A. E., Martin, N. F. Beers, T. C. (2010), ‘Mapping the stellar structure of the Milky Way thick disk and halo using SEGUE photometry’, *The Astrophysical Journal* 714(1), 663.
- Den Hartog, E. A., Lawler, J. E., Sneden, C., Cowan, J. J. (2003). Improved laboratory transition probabilities for Nd II and application to the neodymium abundances of the Sun and three metal-poor stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 148(2), 543.
- Den Hartog, E. A., Lawler, J. E., Sobeck, J. S., Sneden, C., Cowan, J. J. (2011). Improved log (gf) values of selected lines in Mn I and Mn II for abundance determinations in FGK dwarfs and giants. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 194(2), 35.
- Den Hartog, E. A., Lawler, J. E., Sneden, C., Cowan, J. J., Roederer, I. U., Sobeck, J. (2021). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 255(2), 27.
- Donati, J. F., Catala, C., Landstreet, J. D., Petit, P. (2006, December). ESPaDOnS: the new generation stellar spectro-polarimeter. Performances and first results. In *Solar Polarization 4* (Vol. 358, p. 362).
- Eggen, O. J., Lynden-Bell, D., Sandage, A. R. (1962). Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed. *The Astrophysical Journal*, 136, 748.
- Eggen, O. J. (1987). Luminosities, abundances, and motions of stars brighter than visual magnitude 15.1 and annual proper motions larger than one-half arcsecond. *The Astronomical Journal*, 93, 393-420.
- Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., Soyduğan, F. A. R. U. K., Steer, I., Soyduğan, E., ... Alpsoy, M. (2018). Interrelated main-sequence mass–luminosity, mass–radius, and mass–effective

- temperature relations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479(4), 5491-5511.
- Eker, Z., Bakış, V. (2023). Testing multiband (G, G BP, G RP, B, V, and TESS) standard bolometric corrections by recovering luminosity and radii of 341 host stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 523(2), 2440-2452.
- Erika Böhm, 1993. *Introduction to Stellar Astrophysics - Volume 2 Stellar Atmospheres*, Cambridge University Press.
- Eissner, W., Nussbaumer, H. (1969). A programme for calculating atomic structures. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, 2(10), 1028.
- Feltzing, S., Holmberg, J., Hurley, J. R. (2001). The solar neighbourhood age-metallicity relation-Does it exist?. *Astronomy Astrophysics*, 377(3), 911-924.
- Feltzing, S., Bensby, T., Lundström, I. (2003). Signatures of SN Ia in the galactic thick disk-Observational evidence from α -elements in 67 dwarf stars in the solar neighbourhood. *Astronomy Astrophysics*, 397(1), L1-L4.
- Frebel, A. (2010). Stellar archaeology: Exploring the Universe with metal-poor stars. *Astronomische Nachrichten*, 331(5), 474-488.
- Freeman, K., Bland-Hawthorn, J. (2002). The new galaxy: Signatures of its formation. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40(1), 487-537.
- Friel, E. D. (1987). A spectroscopic survey of high-latitude fields and comparison to Galaxy models. *The Astronomical Journal*, 93, 1388-1438. ISO 690.
- Fuhr, J. R., Wiese, W. L. (2006). A critical compilation of atomic transition probabilities for neutral and singly ionized iron. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 35(4), 1669-1809.
- Fuhrmann, K., Pfeiffer, M., Frank, C., Reetz, J., Gehren, T. (1997). The surface gravities of cool dwarf stars revisited. *Astronomy and Astrophysics*, v. 323, p. 909-922, 323, 909-922.
- Fuhrmann, K. (1998). Nearby stars of the Galactic disk and halo. *Astronomy and Astrophysics*, 338, 161-183.
- Fulbright, J. P. (2000). Abundances and kinematics of field halo and disk stars. I. Observational data and abundance analysis. *The Astronomical Journal*, 120(4), 1841.

- Gilmore, G., Reid, N. (1983). New light on faint stars–III. Galactic structure towards the South Pole and the Galactic thick disc. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 202(4), 1025-1047.
- Gilmore, G., Wyse, R. F., Kuijken, K. (1989). Kinematics, chemistry, and structure of the Galaxy. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 27(1), 555-627.
- Gonzalez, G., Lambert, D. L. (1996). A Fine Abundance Analysis of Four Stars in the gamma Per Cluster-a Cautionary Tale. *Astronomical Journal* v. 111, p. 424, 111, 424.
- Gratton, R. G., Ortolani, S. (1984). Metal abundances in 26 halo stars. *Astronomy and Astrophysics*, 137, 6-16.
- Gratton R. G., Carretta E., Matteucci F., Sneden C., 1996, in Morrison H., Sarajedini A., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 92, Formation of the Galactic Halo ... inside and out. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 307.
- Gratton, R. G., Carretta, E., Claudi, R., Lucatello, S., Barbieri, M. (2003). Abundances for metal-poor stars with accurate parallaxes-I. basic data. *Astronomy Astrophysics*, 404(1), 187-210.
- Gilroy, K. K., Sneden, C., Pilachowski, C. A., Cowan, J. J. (1988). Abundances of neutron capture elements in Population II stars. *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 327, April 1, 1988, p. 298-320., 327, 298-320.
- Gratton, R. G., Carretta, E., Castelli, F. (1996). Abundances of light elements in metal-poor stars. I. Atmospheric parameters and a new Teff scale. arXiv preprint astro-ph/9603011.
- Gray, R. O. (2009). Documentation for SPECTRUM v2. 76. Appalachian State University.
- Gustafsson, B., Edvardsson, B., Eriksson, K., Jørgensen, U.G., Nordlund, Å., and Plez, B., 2008, A grid of MARCS model atmospheres for late-type stars. I. Methods and general properties, *AA*, 486, 951–970, doi:10.1051/0004-6361:200809724.
- Hannaford, P., Lowe, R. M., Grevesse, N., Biemont, E., Whaling, W. (1982). Oscillator strengths for Y I and Y II and the solar abundance of yttrium. *The Astrophysical Journal*, 261, 736-746.
- Hansen, C. J., Bergemann, M., Cescutti, G., Francois, P., Arcones, A., Karakas, A. I., ... Chiappini, C. (2013). LTE or non-LTE, that is the question-The NLTE chemical evolution of

- strontium in extremely metal-poor stars. *Astronomy Astrophysics*, 551, A57.
- Hanson, R. B., Sneden, C., Kraft, R. P., Fulbright, J. (1998). On the Use of [Na/Fe] and [Fe] Ratios and Hipparcos-based (U, V, W) Velocities as Age Indicators among Low-Metallicity Halo Field Giants. *The Astronomical Journal*, 116(3), 1286.
- Hauschildt, P. H., Allard, F., Baron, E. (1999). The NEXTGEN model atmosphere grid for 3000 Teff 10,000 K. *The Astrophysical Journal*, 512(1), 377.
- Hayden, M. R., Bovy, J., Holtzman, J. A., Nidever, D. L., Bird, J. C., Weinberg, D. H., ... Zasowski, G. (2015). Chemical cartography with APOGEE: metallicity distribution functions and the chemical structure of the Milky Way disk. *The Astrophysical Journal*, 808(2), 132.
- Hayes, C. R., Majewski, S. R., Shetrone, M., Fernández-Alvar, E., Prieto, C. A., Schuster, W. J., ... Zamora, O. (2018). Disentangling the Galactic halo with APOGEE. I. Chemical and kinematical investigation of distinct metal-poor populations. *The Astrophysical Journal*, 852(1), 49.
- Hernández, J. G., Bonifacio, P. (2009). A new implementation of the infrared flux method using the 2MASS catalogue. *Astronomy Astrophysics*, 497(2), 497-509.
- Hibbert, A. (1975). CIV3—A general program to calculate configuration interaction wave functions and electric-dipole oscillator strengths. *Computer Physics Communications*, 9(3), 141-172.
- Husser, T. O., Wende-von Berg, S., Dreizler, S., Homeier, D., Reiners, A., Barman, T., Hauschildt, P. H. (2013). A new extensive library of PHOENIX stellar atmospheres and synthetic spectra. *Astronomy Astrophysics*, 553, A6.
- Ibata, R. A., Gilmore, G., Irwin, M. J. (1994). A dwarf satellite galaxy in Sagittarius. *Nature*, 370(6486), 194-196.
- Irwin, J. A., Sarazin, C. L. (1996). X-Ray Evidence for the Interaction of the Giant Elliptical Galaxy NGC 4472 with Its Virgo Cluster Environment. *The Astrophysical Journal*, 471(2), 683.
- Ivarsson, A. S., Litzén, U., Wahlgren, G. M. (2001). Accurate wavelengths, oscillator strengths and hyperfine structure in selected praseodymium lines of astrophysical interest. *Physica*

- Scripta, 64(5), 455.
- Jensen, K. S., Olsen, E. H. (1979). HD 63791: a probable metal-poor halo G giant in the general field. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 91(543), 664. ISO 690.
- John C. E. St., C. E. Moore, L. M. Ware, E. F. Adams, H. D. Babcock, Carnegie Inst. Wash. Publ. No. 396; Papers Mt. Wilson Obs. Ill, 238 pp. (1928).
- Johnson, J. A. (2002). Abundances of 30 elements in 23 metal-poor stars. The Astrophysical Journal Supplement Series, 139(1), 219. ISO 690.
- Johnson, D. R., Soderblom, D. R. (1987). Calculating galactic space velocities and their uncertainties, with an application to the Ursa Major group. The Astronomical Journal, 93, 864-867.
- Jørgensen, B. R., Lindegren, L. (2005). Determination of stellar ages from isochrones: Bayesian estimation versus isochrone fitting. Astronomy Astrophysics, 436(1), 127-143.
- Jönsson, H., Holtzman, J. A., Prieto, C. A., Cunha, K., García-Hernández, D. A., Hasselquist, S., ... Sobeck, J. (2020). APOGEE data and spectral analysis from SDSS Data Release 16: seven years of observations including first results from APOGEE-South. The Astronomical Journal, 160(3), 120.
- Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., Lupton, R. H., Schlegel, D., Finkbeiner, D., ... York, D. G. (2008). The Milky Way tomography with SDSS. I. Stellar number density distribution. The Astrophysical Journal, 673(2), 864.
- Karaali, S., Yaz Gökçe, E., Bilir, S. (2016). Photometric calibration of the $[\text{Fe}/\text{Fe}]$ element: I. Calibration with UBV photometry. Astrophysics and Space Science, 361, 1-14.
- Karaali, S., Bilir, S., Gökçe, E. Y., Plevne, O. (2019). Analysis of the disc components of our galaxy via kinematic and spectroscopic procedures. Publications of the Astronomical Society of Australia, 36, e040.
- Gaia Dr2Katz, D., Antoja, T., Romero-Gómez, M., Drimmel, R., Reylé, C., Seabroke, G. M., ... Bassilana, J. L. (2018). Gaia data release 2-mapping the milky way disc kinematics. Astronomy astrophysics, 616, A11.
- Kelleher, D. E., Podobedova, L. I. (2008). Atomic transition probabilities of sodium and magnesium. A critical compilation. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 37(1),

267-706.

- Kelleher, D. E., Podobedova, L. I. (2008). Atomic transition probabilities of silicon. A critical compilation. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 37(3), 1285-1501.
- Klose, J. Z., Fuhr, J. R., Wiese, W. L. (2002). Critically evaluated atomic transition probabilities for Ba I and Ba II. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 31(1), 217-230.
- Koleva, M., Vazdekis, A. (2012). Stellar population models in the UV-I. Characterisation of the New Generation Stellar Library. *Astronomy Astrophysics*, 538, A143.
- Kordopatis, G., Gilmore, G., Steinmetz, M., Boeche, C., Seabroke, G. M., Siebert, A., ... Žerjal, M. (2013). The radial velocity experiment (RAVE): fourth data release. *The Astronomical Journal*, 146(5), 134.
- Koppelman, H. H., Helmi, A., Massari, D., Price-Whelan, A. M., Starkenburg, T. K. (2019), 'Multiple retrograde substructures in the Galactic halo: A shattered view of Galactic history', *Astronomy Astrophysics* 631, L9.
- Kraft, R. P., Sneden, C., Langer, G. E., Prosser, C. F. (1992). Oxygen abundances in halo giants. II-Giants in the globular clusters M13 and M3 and the intermediately metal-poor halo field. *The Astronomical Journal*, 104, 645-668.
- KURUCZ, R. L. (1993). ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2km/s grid. Kurucz CD-Rom, 13.
- Kurucz 1984 Petro, L. D., Foukal, P. V., Rosen, W. A., Kurucz, R. L., Pierce, A. K. (1984). A study of solar photospheric limb-darkening variations. *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 283, Aug. 1, 1984, p. 426-438., 283, 426-438.
- Lawler, J. E., Bonvallet, G., Sneden, C. (2001). Experimental radiative lifetimes, branching fractions, and oscillator strengths for La II and a new determination of the solar lanthanum abundance. *The Astrophysical Journal*, 556(1), 452.
- Lawler, J. E., Den Hartog, E. A., Sneden, C., Cowan, J. J. (2006). Improved laboratory transition probabilities for Sm II and application to the samarium abundances of the Sun and three r-process-rich, metal-poor Stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 162(1), 227.

- Lawler, J. E., Sneden, C., Cowan, J. J., Ivans, I. I., Den Hartog, E. A. (2009). Improved laboratory transition probabilities for Ce II, application to the cerium abundances of the Sun and five r-process-rich, metal-poor stars, and rare Earth lab data summary. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 182(1), 51.
- Lawler, J. E., Guzman, A., Wood, M. P., Sneden, C., Cowan, J. J. (2013). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 205(2), 11.
- Lawler, J. E., Wood, M. P., Den Hartog, E. A., Feigenson, T., Sneden, C., Cowan, J. J. (2014). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 215(2), 20.
- Lawler, J. E., Sneden, C., Cowan, J. J. (2015). Improved Co I log (gf) Values and Abundance Determinations in the Photospheres of the Sun and Metal-poor Star HD 84937. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 220(1), 13.
- Lawler, J. E., Sneden, C., Nave, G., Den Hartog, E. A., Emrahoğlu, N., Cowan, J. J. (2017). Improved Cr II log (gf) values and abundance determinations in the photospheres of the Sun and metal-poor Star HD 84937. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 228(1), 10.
- Lawler, J. E., Sneden, C., Nave, G., Wood, M. P., Cowan, J. J. (2019). Transition probabilities of Sc I and Sc II and Scandium abundances in the Sun, Arcturus, and HD 84937. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 241(2), 21.
- Lee, Y. S., Beers, T. C., Prieto, C. A., Lai, D. K., Rockosi, C. M., Morrison, H. L., ... Yanny, B. (2011). The SEGUE stellar parameter pipeline. V. Estimation of alpha-element abundance ratios from low-resolution SDSS/SEGUE stellar spectra. *The Astronomical Journal*, 141(3), 90.
- Lind, K., Bergemann, M., Asplund, M. (2012). Non-LTE line formation of Fe in late-type stars—II. 1D spectroscopic stellar parameters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427(1), 50-60.
- Liu, L., Pang, X. (2019). A catalog of newly identified star clusters in Gaia DR2. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 245(2), 32.
- Luck, R. E. (2016). ABUNDANCES IN THE LOCAL REGION. II. F, G, AND K DWARFS AND SUBGIANTS. *The Astronomical Journal*, 153(1), 21.

- Magurno, D., Sneden, C., Bono, G., Braga, V. F., Mateo, M., Persson, S. E., ... Walker, A. R. (2019). Chemical Compositions of Field and Globular Cluster RR Lyrae Stars. II. Centauri. *The Astrophysical Journal*, 881(2), 104.
- Majewski, S. R., Munn, J. A., Hawley, S. L. (1994). Absolute proper motions to B approximately 22.5: Evidence for kinematical substructure in halo field stars. *The Astrophysical Journal*, 427, L37-L41.
- Mashonkina, L., Jablonka, P., Pakhomov, Y., Sitnova, T., North, P. (2017). The formation of the Milky Way halo and its dwarf satellites; a NLTE-1D abundance analysis-I. Homogeneous set of atmospheric parameters. *Astronomy Astrophysics*, 604, A129.
- Masana, E., Jordi, C., Ribas, I. (2006). Effective temperature scale and bolometric corrections from 2MASS photometry. *Astronomy Astrophysics*, 450(2), 735-746.
- Matrozis, E., Ryde, N., Dupree, A. K. (2013). Galactic chemical evolution of sulphur-Sulphur abundances from the [S i] 1082 nm line in giants. *Astronomy Astrophysics*, 559, A115.
- Melendez, J., Asplund, M., Alves-Brito, A., Cunha, K., Barbuy, B., Bessell, M. S., ... Yong, D. (2008). Chemical similarities between Galactic bulge and local thick disk red giant stars. *Astronomy Astrophysics*, 484(3), L21-L25.
- Mena, E. D., Tsantaki, M., Adibekyan, V. Z., Sousa, S. G., Santos, N. C., Hernández, J. G., Israelian, G. (2017). Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS GTO planet search program-II. Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, Ce, Nd, and Eu. *Astronomy Astrophysics*, 606, A94.
- Mihalas, D., Binney, J. (1981). *Galactic astronomy. Structure and kinematics*. San Francisco: Freeman.
- Milone, A. D. C., Sansom, A. E., Sanchez-Blazquez, P. (2011). Element abundances in the stars of the MILES spectral library: the Mg/Fe ratio. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 414(2), 1227-1252.
- Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V. (2001). Analysis of neutron capture elements in metal-poor stars. *Astronomy Astrophysics*, 370(3), 951-966.
- Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V., Soubiran, C., Travaglio, C., Busso, M. (2002). Abundances of Cu and Zn in metal-poor stars: Clues for Galaxy evolution. *Astronomy Astrophysics*,

396(1), 189-201.

- Mishenina, T. V., Soubiran, C., Kovtyukh, V. V., Korotin, S. A. (2004). On the correlation of elemental abundances with kinematics among galactic disk stars. *Astronomy Astrophysics*, 418(2), 551-562.
- Moore, C. E., Minnaert, M. G. J., Houtgast, J. (1966). The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å: Second Revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wavelengths (Vol. 61). National Bureau of Standards.
- Nissen, P. E., Schuster, W. J. (2011). Two distinct halo populations in the solar neighborhood-II. Evidence from stellar abundances of Mn, Cu, Zn, Y, and Ba. *Astronomy Astrophysics*, 530, A15.
- Nordström, B., Mayor, M., Andersen, J., Holmberg, J., Pont, F., Jørgensen, B. R., ... Mowlavi, N. (2004). The Geneva-Copenhagen survey of the Solar neighbourhood-Ages, metallicities, and kinematic properties of 14 000 F and G dwarfs. *Astronomy Astrophysics*, 418(3), 989-1019.
- Nissen, P. E., Primas, F., Asplund, M., Lambert, D. L. (2002). O/Fe in metal-poor main sequence and subgiant stars. *Astronomy Astrophysics*, 390(1), 235-251.
- Norris, J. (1986). Population studies. II-Kinematics as a function of abundance and galactocentric position for (Fe/H) of -0.6 or less. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 61, 667-698.
- Norris, J. E., Ryan, S. G., Beers, T. C. (2001). Extremely Metal-Poor Stars. VIII. High-Resolution, High Signal-to-Noise Ratio Analysis of Five Stars with [Fe/H] < -3.5. *The Astrophysical Journal*, 561(2), 1034.
- Ojha, D. K. (2001). Radial scalelengths of the galactic thin and thick disc with 2MASS data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 322(2), 426-432.
- Pagel, B. E. J., Patchett, B. E. (1975). Metal abundances in nearby stars and the chemical history of the solar neighbourhood. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 172(1), 13-40.
- Pilachowski, C. A., Sneden, C., Kraft, R. P. (1996). Sodium abundances in field metal-poor stars. *Astronomical Journal* v. 111, p. 1689, 111, 1689.

- Plevne, O., Taş, Ö. Ö., Bilir, S., Seabroke, G. M. (2020). Multiwavelength Absolute Magnitudes and Colors of Red Clump Stars in the Gaia Era. *The Astrophysical Journal*, 893(2), 108.
- Pereira, C. B., Drake, N. A., Roig, F. (2019). The s-process enriched star HD 55496: origin from a globular cluster or from the tidal disruption of a dwarf galaxy?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 488(1), 482-494.
- Prieto, C. A., Beers, T. C., Wilhelm, R., Newberg, H. J., Rockosi, C. M., Yanny, B., Lee, Y. S. (2006). A spectroscopic study of the ancient Milky Way: F-and G-type stars in the third data release of the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal*, 636(2), 804.
- Prochaska, J. X., Naumov, S. O., Carney, B. W., McWilliam, A., Wolfe, A. M. (2000). The Galactic thick disk stellar abundances. *The Astronomical Journal*, 120(5), 2513.
- Prugniel, P., Soubiran, C. (2001). A database of high and medium-resolution stellar spectra. *Astronomy Astrophysics*, 369(3), 1048-1057.
- Prugniel, P., Vauglin, I., Koleva, M. (2011). The atmospheric parameters and spectral interpolator for the MILES stars. *Astronomy Astrophysics*, 531, A165.
- Pont, F., Eyer, L. (2004). Isochrone ages for field dwarfs: method and application to the age-metallicity relation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 351(2), 487-504.
- Qiu, H. M., Zhao, G., Takada-Hidai, M., Chen, Y. Q., Takeda, Y., Noguchi, K., ... Aoki, W. (2002). Element Abundances in Mildly Metal-Poor Stars. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 54(1), 103-111.
- Ramírez, I., Meléndez, J. (2005). The effective temperature scale of FGK stars. I. Determination of temperatures and angular diameters with the infrared flux method. *The Astrophysical Journal*, 626(1), 446.
- Ryan, S. G., Norris, J. E., Bessell, M. S. (1991). Subdwarf studies. IV-Abundance ratios in extremely metal-deficient stars. *Astronomical Journal* (ISSN 0004-6256), vol. 102, July 1991, p. 303-322., 102, 303-322.
- Reddy, B. E., Tomkin, J., Lambert, D. L., Prieto, C. A. (2003). The chemical compositions of Galactic disc F and G dwarfs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 340(1), 304-340.

- Reddy, B. E., Lambert, D. L., Prieto, C. A. (2006). Elemental abundance survey of the Galactic thick disc. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367(4), 1329-1366. ISO 690
- Rebolo, R., Molaro, P., Beckman, J. E. (1988). Lithium abundances in metal-deficient dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* (ISSN 0004-6361), vol. 192, no. 1-2, March 1988, p. 192-205., 192, 192-205.
- Roederer, I. U. (2008). Chemical inhomogeneities in the milky way stellar halo. *The Astronomical Journal*, 137(1), 272. ISO 690.
- Sahin, T. (2008). An observational study of post-asymptotic-giant-branch stars. *The Observatory*, Vol. 128, p. 433-434, 128, 433-434.
- ŞAHİN, T. (2017). LIME: Semiautomated line measurement and identification from stellar spectra. *Turkish Journal of Physics*, 41(4), 367-376.
- Şahin, T., Bilir, S. (2020). On the Origin of Metal-poor Stars in the Solar Neighborhood. *The Astrophysical Journal*, 899(1), 41.
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M. (1998). Maps of dust infrared emission for use in estimation of reddening and cosmic microwave background radiation foregrounds. *The Astrophysical Journal*, 500(2), 525. ISO 690
- Searle, L., Zinn, R. (1978). Compositions of halo clusters and the formation of the galactic halo. *The Astrophysical Journal*, 225, 357-379.
- Shetrone, M. D. (1996). Al, Mg and Eu Abundances in Globular Cluster Giants. I. Tests of Deep Mixing. *The Astronomical Journal*, 112, 1517.
- Shetrone, M., Tayar, J., Johnson, J. A., Somers, G., Pinsonneault, M. H., Holtzman, J. A., ... García-Hernández, D. A. (2019). Constraining Metallicity-dependent Mixing and Extra Mixing Using [C/N] in Alpha-rich Field Giants. *The Astrophysical Journal*, 872(2), 137.
- Silva, A. C., Mena, E. D., Tsantaki, M. (2020). Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS-GTO planet search sample-III. Sulfur. *Astronomy Astrophysics*, 634, A136.
- Snedden, C. A. (1973). PhD thesis, Univ. Texas at Austin (Doctoral dissertation).

- Sommer-Larsen, J., Zhen, C. (1990). Armchair cartography—A map of the Galactic halo based on observations of local, metal-poor stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 242(1), 10-24. ISO 690.
- Soubiran, C., Bienaymé, O., Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V. (2008). Vertical distribution of Galactic disk stars-IV. AMR and AVR from clump giants. *Astronomy Astrophysics*, 480(1), 91-101.
- Soubiran, C., Le Campion, J. F., Brouillet, N., Chemin, L. (2016). The PASTEL catalogue: 2016 version. *Astronomy Astrophysics*, 591, A118.
- Sousa, S. G., Santos, N. C., Israelian, G., Lovis, C., Mayor, M., Silva, P. B., Udry, S. (2011). Spectroscopic characterization of a sample of metal-poor solar-type stars from the HARPS planet search program-Precise spectroscopic parameters and mass estimation. *Astronomy Astrophysics*, 526, A99.
- Spite, M., Bonifacio, P., Spite, F., Caffau, E., Sbordone, L., Gallagher, A. J. (2019). Be and O in the ultra metal-poor dwarf 2MASS J18082002-5104378: the Be–O correlation. *Astronomy Astrophysics*, 624, A44.
- Tomkin, J., Lambert, D. L. (1999). Rubidium in metal-deficient disk and halo stars. *The Astrophysical Journal*, 523(1), 234.
- Gaia Dr3 Vallenari, A., Brown, A. G. A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Arenou, F., Babusiaux, C., ... Bianchi, L. (2023). Gaia Data Release 3-Summary of the content and survey properties. *Astronomy Astrophysics*, 674, A1.
- Vines, J. I., Jenkins, J. S. (2022). ariadne: measuring accurate and precise stellar parameters through SED fitting. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 513(2), 2719-2731.
- Wallace, W. E. (2018). Mass spectra. NIST chemistry webbook, NIST standard reference database, (69), 20899.
- Wood, M. P., Lawler, J. E., Sneden, C., Cowan, J. J. (2013). Improved Ti II log (gf) values and abundance determinations in the photospheres of the sun and metal-poor star HD 84937. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(2), 27.
- Wyse, R. F., Gilmore, G. (1992). Formation and evolution of the Galactic bulge and spheroid-Where did the spheroid gas go?. *The Astronomical Journal*, 104, 144-153.

- Yi, S. K., Demarque, P., Kim, Y. C. (2004). The Y 2 Isochrones. *Astrophysics and Space Science*, 291, 261-262.
- Yolalan, G. (2019). Seçilmiş post-AGB türü yıldızlarda birinci iyonisasyon potansiyeli etkisinin araştırılması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- York, D. G., Adelman, J., Anderson Jr, J. E., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., ... Yasuda, N. (2000). The sloan digital sky survey: Technical summary. *The Astronomical Journal*, 120(3), 1579.
- Youakim K., Starkenburg E., Martin N. F., 2020, *MNRAS*, 492(4), 4986–5002.
- Zhang, H. W., Zhao, G. (2006). Chemical abundances of 32 mildly metal-poor stars. *Astronomy Astrophysics*, 449(1), 127-134.
- Zhang, Y., Li, W., Duan, W., Huang, Z., Yang, H. (2022). Echelle Grating Spectroscopic Technology for High-Resolution and Broadband Spectral Measurement. *Applied Sciences*, 12(21), 11042.

6. EKLER

Tablo 6.18. Bu çalışma kapsamında hazırlanan çizgi listesi için literatürden derlenen log gf değerlerine ilişkin referanslar.

Element	Referans	Element	Referans	Element	Referans
Si 1	Kelleher vd. (2008)	Fe 1	Fuhr and Wiese (2006)	Zr 2	Biemont vd. (1981)
Ca 1	Den Hartog vd. (2021)	Fe 2	Fuhr and Wiese (2006)	Ba 2	Klose vd. (2002)
Sc 2	Lawler vd. (2019)	Co 1	Lawler vd. (2015)	La 2	Lawler vd. (2001)
Ti 1	Lawler vd. (2013)	Ni 1	NIST	Ce 2	Lawler vd. (2009)
Ti 2	Wood vd. (2013)	Cu 1	NIST	Nd 2	Den Hartog vd. (2003)
V 1	Lawler vd. (2014)	Zn 1	Biemont and Godefroid (1980)	Sm 2	Lawler vd. (2006)
Cr 1	NIST	Sr 1	Hansen vd. (2013)	Dy 2	VALD
Cr 2	Lawler vd. (2017)	Sr 2	Hansen vd. (2013)	Gd 2	VALD
Mn 1	Den Hartog vd. (2011)	Y 2	Hannaford vd. (1992)	Pr 2	Ivarsson vd. 2010

Tablo 6.19. HD 8724 yıldızları için PASTEL kataloğunun (Saburan vd. 2016) 2020 yılı sürümü ve Simbad veritabanından derlenen model atmosfer parametreler.

HD 8724				
T_{eff} (K)	$\log g$ (cgs)	[Fe/H] (dex)	ξ (km/s)	Kaynak
4700±120	1.65±0.33	-1.54±0.15	1.49±0.5	Bu çalışma (2023)
4774	1.85	-1.54		Jönsson vd. (2020)
	1.88	-1.60		Shetrone vd.(2019)
4732±48	1.62±0.15	-1.68±0.07		Arentsen vd. (2019)
4754±50	1.69±0.15	-1.64±0.07		Arentsen vd.(2019)
4679				Gaia İşbirliği (2018)
4756	1.77	-1.53		Hayes vd. (2018)
4560±	1.29	-1.76±0.04	1.5	Mashonkina (2017)
4845	1.93	-1.58		Boeche ve Grebel (2016)
4790±30	1.66±0.12	-1.55±0.07	1.8	Matroziş vd. (2013)
4976	2.43	-1.43		Koleva ve Vazdekis (2012)
4772	1.69	-1.64		Prugniel vd. (2011)
4632±50				Hernández ve Bonifacio (2009)
4577±	1.49	-1.69		Melendez vd. (2008)
4574	1.34	-1.76		Soubiran vd. (2008)
4480	1.36	-2.01		Carney vd. (2007)
4688	1.49	-1.69		Cenarro vd. (2007)
4539±51				Ramirez ve Meléndez (2005)
4600±100	1.50±0.30	-1.65±0.15	1.5	Mishenina ve Kovtyukh (2001)
4625±40	1.20±0.60	-1.83±0.04		Fulbright (2000)
4500±100	1.02±0.20	-1.92±0.16	1.6	Tomkin ve Lambert (1999)
4500±	1.20	-1.84	1.6	Pilachowski vd. (1996)
4535±45				Alonso vd. (1999)
4800±	1.90	-1.52		Shetrone (1996)
4624±	1.50	-1.60	3.5	Gratton ve Ortolani (1984)

Tablo 6.20. HD 63791 yıldızları için PASTEL kataloğunun (Saburan vd. 2016) 2020 yılı sürümü ve Simbad veritabanından derlenen model atmosfer parametreler.

HD 63791				
T_{eff} (K)	$\log g$ (cgs)	[Fe/H] (dex)	ξ (km/s)	Kaynak
4770±135	1,90±0.35	-1.56±0.16	1.52±0.5	Bu Çalışma (2023)
4901	2.16	-1.57		Boeche ve Grebel (2016)
4750	1.60	-1.72		Carrera vd. (2013)
5015	2.57	-1.47		Koleva ve Vazdekis (2012)
4866	2.03	-1.55		Prugniel vd. (2011)
4629	1.76	-1.63		Milano vd. (2009)
4700	1.72	-1.70		Soubiran vd. (2008)
4629	1.76	-1.63		Cenarro vd. (2007)
4700	1.60	-1.60	1.70	Johnson (2002)
4625±100	1.75±0.30	-1.67 ±0.15	1.2	Mishenina ve Kovtyukh (2001)
4700±40	1.70±0.06	-1.81 ±0.04		Fulbright (2000)
4725	1.70	-1.68		Burris vd. (2000)
4637	1.64	-1.71		Gratton vd. (1996)
4725	1.70	-1.68	1.6	Pilachowski vd. (1996)
4750	1.80	-1.65		Kraft vd. (1992)
4800	1.90	-1.72	2.2	Gilroy vd. (1988)
4846	1.80	-1.50	3.0	Gratton ve Ortolani (1984)

Tablo 6.21. HD 195633 yıldızları için PASTEL kataloğunun (Saburan vd. 2016) 2020 yılı sürümü ve Simbad veritabanından derlenen model atmosfer parametreler.

HD 63791				
T_{eff} (K)	$\log g$ (cgs)	[Fe/H] (dex)	ξ (km/s)	Kaynak
6100±195	3.95±0.35	-0.48±0.15	1.26±0.5	Bu Çalışma (2023)
6154	4.11	-0.51		Silva (2020)
5986	3.89			Spite (2019)
6107	4.02	-0.54		Aguilera-Gómez (2018)
6154	4.25	-0.51		Mena (2017)
6024	3.99	-0.59		Luck (2017)
6097	3.93	-0.59		Boeche (2016)
6117	4.00	-0.58		Battistini-Bensby (2015)
6117± 49	3.98±0.08	-0.58± 0.03		Bensby (2014)
5442	3.22			Kordopatis-Gilmore (2013)
5956	3.84	-0.64		Lee (2011)
5956	3.87	-0.70		Lee (2011)
5986	3.89	-0.88		Boesgaard (2011)
6119	4.09	-0.52		Prugniel (2011)
6131±111				Casagrande (2011)
6154± 37	4.25±0.05	-0.51±0.03		Sousa (2011)
6000	3.78	-0.77		Cenarro (2007)
5990	3.79	-0.62		Zhang (2006)
6063±54				Masana (2006)
6000	3.80	-0.55		Mishenina (2003)
5936	3.76	-0.73		Gratton (2003)
5902	3.83	-0.50	1.24	Qui (2002)
5987± 50	3.95±0.15	-0.54± 0.08		Nissen (2002)
6000±100	3.80±0.30	-0.55± 0.15		Mishenina (2001)
6000±40	3.90±0.06	-0.65± 0.04		Fulbright (2000)
5793	3.80	-0.90		Rebolo (1988)

ÖZGEÇMİŞ

MAHMUT MARIŞMAK



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2020 - 2023	Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2015 - 2020	Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya

ESERLER:

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1 – Marışmak M., Şahin T., Bilir S. ve Plevne O. (2023), Seçilmiş G-Tayf Türü Metalce Fakir Yıldızların Galaktik Kökenleri Üzerine Bir İnceleme, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, (Yayın aşamasında)

2 – Çınar N., Şentürk S. A., Marışmak M. ve Şahin T., (2023), Güneş'in Y, J, H ve K-Bant Spektroskopisi: Alfa Element Bolluklarının Tespiti, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, (Yayın aşamasında)

3 – Şentürk S. A., Marışmak M. ve Şahin T., (2023), Kıtımızöte Bölgede FGK Türü Yıldızlar için Yeni bir Çizgi Listesi: HD76151 Yıldızının H-Band Tayfsal Analizi, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, (Yayın aşamasında)