ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİFT ÇİZGİLİ AYRIK TAYFSAL ÇİFT YILDIZLARIN KİMYASAL BOLLUKLARININ KOMPOZİT TAYF MODELLEME YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Merve AYDIN

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2020

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİFT ÇİZGİLİ AYRIK TAYFSAL ÇİFT YILDIZLARIN KİMYASAL BOLLUKLARININ KOMPOZİT TAYF MODELLEME YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Merve AYDIN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tolgahan KILIÇOĞLU

Bu yüksek lisans tez çalışmasında çift çizgili tayfsal çift (SB2) türü Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268 ve HD 23642 yıldızlarının tayfları Haute-Provence Gözlemevi'ndeki (OHP, Paris, Fransa) ~42000 çözünürlüğe sahip 3850-6800 Å dalgaboyu aralığında veri sağlayan ELODIE tayfçekeri veritabanından ve Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi'ndeki T40 Kreiken Teleskobu'na bağlı ~14000 çözünürlüğe sahip 4380-7350 Å dalgaboyu aralığında veri sağlayan Shelyak/eShel tayfçekeriyle gerçekleştirilen gözlemlerden elde edildi. Teorik evrim yolları yardımıyla yıldızların yaşları ve kütleleri tahmin edildi. Tayfsal ve fotometrik analizlerle yıldızların renk artıkları, bileşenlerinin dikine hızları ve izdüşüm ekvatoryel dönme hızları belirlendi. Literatürde bileşenlerine ilişkin ayrıntılı kimyasal bolluk çalışmaları mevcut olmayan bu 10 adet SB2 bileşeninin gözlemsel tayflarının kuramsal kompozit tayflarla modellenmesiyle etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve mikrotürbülans hızları belirlendi ve kimyasal bolluk analizleri gerçekleştirilerek C, O, Na, Mg, Si, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y ve Ba elementlerinin bollukları bulundu. Kimyasal bollukların belirsizlikleri etkin sıcaklıklar, yüzey çekim ivmeleri ve mikrotürbülans hızlarındaki sistematik hatalar da göz önünde bulundurularak elde edildi. Analiz sonucunda, bileşenlerin kimyasal bolluk dağılımları incelenerek Mizar A yıldızının birinci bileşeniyle 47 And yıldızının bileşenlerinin CP1 (AmFm) yıldızlarına benzer kimyasal tuhaflıklar sergilediği gözlendi. Kompozit tayf modelleme yönteminin çift yıldızlara uygulanabildiği görülmekle birlikte hata sınırının (~0.1-0.5 dex) tek yıldızlar için gerçekleştirilen bolluk analizlerine göre benzer veya bir miktar fazla olduğu; ancak bu hata sınırının yıldızların kimyasal tuhaf olup olmadıklarının tespit edilmesinde çoğunlukla yeterli olabildiği görüldü. Yöntemin sağlıklı çalışabilmesi için yıldızların özellikle log g parametresinin iyi belirlenmesine ihtiyaç duyulduğu sonucuna varıldı.

Temmuz 2020, 122 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çift Yıldızlar, SB2, Atmosfer parametreleri, Kompozit Tayf, Kimyasal Bolluk Analizi, Kimyasal Tuhaf Yıldızlar, Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268, HD 23642

ABSTRACT

Master Thesis

CHEMICAL ABUNDANCE ANALYSIS FOR DOUBLE-LINED SPECTROSCOPIC BİNARİES BY COMPOSITE SPECTRUM MODELLING

Merve AYDIN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tolgahan KILIÇOĞLU

In this master thesis, the spectra of the double-lined spectroscopic binaries (SB2) Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268, and HD 23642 retrieved from ELODIE spectrograph archive (R~42000 for 3850-6800 Å) at Haute-Provence Observatory (OHP, Paris, France) and obtained with Shelyak/eShel spectrograph (R~14000 for 4380-7350 Å) attacted to T40 Kreiken Telescope at Ankara University Kreiken Observatory. The ages and masses of the stars were estimated using theoretical isochrones. The color excesses, radial velocities, rotational velocities, effective temperatures, surface gravities, and microturbulence of the ten components were derived with photometric calibrations and/or spectroscopic analysis. The photospheric chemical abundances of C, O, Na, Mg, Si, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y and Ba elements were derived with composite spectrum modelling for the components which are lack of detailed abundance analysis in the literature. Uncertainties in the abundances were calculated considering the systematical errors in effective temperatures, surface gravities and microturbulence velocities. According to the chemical abundance pattern of the components, the primary component of Mizar A and the both components of 47 And exhibited some chemical peculiarities similar to the CP1 (AmFm) type stars. We concluded that the composite spectrum modelling is applicable for binary stars to derive their chemical abundances. The uncertainties (~0.1-0.5 dex) are similar or slightly larger than those of single stars. However, the method is often sufficient to reveal whether the components are chemical peculiar. In order for the method to work properly, log *g* parameters of the stars should be accurately known.

July 2020, 122 pages

Key Words: Binary Stars, SB2, Atmosferic Parameters, Composite Spectrum, Chemical Abundance Analysis, Chemically Peculiar Stars, Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268, HD 23642

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Öncelikle çok küçük yaşlarımdan beri hayalini kurduğum, tek hedefim olan Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nde lisans eğitimimde temelimi oluşturmada önemli katkıları olan, ilk dönemi zorlu ve üzücü olan yüksek lisans dönemimin ikinci yarısında güncel ve gerçekten kendisinin de çalışmak istediği bir konuyu benimle tez konusu olarak paylaşan, çalışmalarımı yönlendiren, bana bu yüksek lisans tezi kapsamındaki programlama dilini, yöntemi, tayfsal analizi, tez içeriğindeki önemli tüm adımları öğreten, yazma becerilerimi geliştirmede büyük katkı sağlayan, tez çalışmasının bir proje dahilinde olmasına ve maddi destek almam konusunda vesile olan, vaktini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Tolgahan KILIÇOĞLU'na (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yoğun çalışmaları sırasında sorduğum soruları ilgiyle yanıtlayan, hem lisans hem yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgileriyle aydınlatan, akademik olarak gelişmeme katkıda bulunan ve yol gösteren Prof. Dr. Selim O. SELAM'a (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), Prof. Dr. Hakan Volkan ŞENAVCI'ya (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), Doç. Dr. Özgür BAŞTÜRK'e (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), Prof. Dr. Fehmi EKMEKÇİ'ye (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), mütevazılığına hayran olduğum bana her zaman bir abi ve iyi bir arkadaş gibi yaklaşan Arş. Gör. Dr. Doğuş ÖZUYAR (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) ile güzel ailesine ve diğer tüm değerli bölüm hocalarıma da çok teşekkür ederim.

Her zaman destekçim olan, üzüntümle üzülüp sevincimle sevinen, bana hep yakın bir arkadaş olan, bu süreçte çok zorlu zamanlar atlatan güçlü ve güzel kadın anneme, manevi ve maddi desteklerini hiç esirgemeyen ve haklarını ödeyemeyeceğim tekrar annem ile babama, beni hem güldürerek moral veren hem de sanatla ve müzikle tezime güzel minik molalar vermemi sağlayan kardeşime çok teşekkür ederim.

Bu uzun ve zorlu tez sürecinde beni sürekli olumlu düşünmeye teşvik eden, bana her daim inanıp güvenen, mücadele etmeye devam etmem gerektiğini unutturmayan, pes etmeme izin vermeyen, hayal ve hedeflerimiz doğrultusunda atacağımız adımlarda hep iyiye ve güzele motive eden, beni her düştüğümde ayağa kaldıran, en ufak olumsuz düşüncemi bile huzura ve mutluluğa dönüştürerek tezimin her aşamasında desteğini sonuna kadar hissettiren ve her zaman yanımda olan Muhammed Ali Üzümcü'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım konusundaki teknik yardımları için Arş. Gör. Engin Bahar'a (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), Yahya Nasolo'ya ve Naim Bağıran'a, hem paylaştıkları önemli bilgiler hem de manevi destekleri için Burak Keten'e, Şeyma Torun'a, Şengül Yalgın'a ve bana inanan destekleyip motive eden diğer tüm arkadaşlarıma da çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında SIMBAD, ADS, ELODIE, SOPHIE, VALD ve NIST veri tabanları kullanılmıştır.

Bu tez çalışması 119F197 numaralı TÜBİTAK 1002 projesi tarafından desteklenmiştir.

Merve AYDIN
Ankara, Temmuz 2020

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iv
KISALTMALAR DİZİNİ viii
SİMGELER DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
1.1 Tayfsal Analiz 2
1.2 Tayf Çizgileri ile Kimyasal Bolluğun İlişkisi 3
1.3 Kimyasal Tuhaf Yıldızlar 6
2. KAYNAK ÖZETLERİ 11
2.1 Çift Yıldızlara İlişkin Kimyasal Bolluk Çalışmaları 11
2.2 Mizar A (HD 116656) 21
2.3 47 And (HD 8374) 29
2.4 HD 42083 (HR 2172) 32
2.5 HD 169268 (HR 6890) 34
2.6 HD 23642 (V1229 Tau) 36
3. MATERYAL VE YÖNTEM 42
3.1 Gözlemsel Veri 42
3.2 Tayfların Normalizasyonu 46
3.3 Yıldızların Atmosfer Parametrelerinin Belirlenmesi için Yöntemler 47
3.4 Model Atmosferler ve Kuramsal Tayflar 52
3.5 Çift Yıldızlar için Kuramsal Tayflar 56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 59
4.1 Yıldızların Atmosfer Parametrelerini Belirlemeye Yönelik İlk Tahminler 59
4.2 Çift Yıldızların Bileşenlerinin Dönme ve Dikine Hızlarının Elde Edilmesi 60
4.3 Bileşenlerin Atmosfer Parametrelerinin Ayrı Ayrı Tespit Edilmesi 62
4.4 Çift Yıldızların Kimyasal Bolluk Analizi 71

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 81
5.1 Mizar A 81
5.2 47 And 84
5.3 HD 42083 86
5.4 HD 169268 88
5.5 HD 23642 89
5.6 Procyon Yıldızı ile Karşılaştırma 90
5.7 Kompozit Tayf Modelleme ile Kimyasal Bolluk Analizinin Sınırları 91
KAYNAKLAR 95
EKLER 114
EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri ... 115
ÖZGEÇMİŞ 122

KISALTMALAR DİZİNİ

AUKR	Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi
IDL	Interactive Data Language
GDL	GNU Data Language
S/G	Sinyal/Gürültü
VALD	The Vienna Atomic Line Database
YTD	Yerel Termodinamik Denge
YYTG	Yarı yükseklikteki tam genişlik (İng., Full Width Half Maximum)
CCD	Charged-Coupled Device
HJD	Günmerkezli Jülyen Günü
JD	Jülyen Günü
ADS	Astrophysics Data System
SOPHIE	Spectrographe pour l'Observation des Phénomènes des Intérieurs stellaires et des Exoplanètes
CP	Kimyasal Tuhaf Yıldız
CP1	Metalik Çizgili Kimyasal Tuhaf Yıldız
CP2	Bp-Ap Türü Kimyasal Tuhaf Yıldız
CP3	Kimyasal Tuhaf Civa-Mangan Yıldızı
CP4	Helyumca Fakir Kimyasal Tuhaf Yıldız
NIST	National Institude of Standards and Technology
ODF	Opacity Distribution Function
OS	Opacity Sampling
RMS	Root Mean Square

SİMGELER DİZİNİ

T_e	Etkin sıcaklık
$\log g$	Yüzey çekim ivmesinin logaritması (cgs)
ξ	Mikrotürbülans hızı
SB2	Çift çizgili tayfsal çift yıldız
$v\sin i$	İzdüşüm ekvatoryel dönme hızı
v_r	Dikine (radyal) hız
Å	Angström
K	Kelvin derece
P	Dönem
a	Yarı-büyük eksen uzunluğu
M	Kütle
R	Yarıçap
H_β	Hidrojen Balmer beta çizgisi
H_α	Hidrojen Balmer alfa çizgisi
H_γ	Hidrojen Balmer gamma çizgisi
H_δ	Hidrojen Balmer delta çizgisi
λ	Dalgaboyu
$\odot$	Güneş
$M_\odot$	Güneş'in kütlesi
L	Toplam ışınım gücü
[X/H]	X elementinin Güneş'e göre kimyasal bolluğu
$\log gf$	Osilatör şiddeti
Z	Ağır element bolluğu
pc	Parsek
km s^{-1}	kilometre/saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Newton'un Işık Teorisi 2
Şekil 3.1 Hedef yıldızların ELODIE tayflarının sürekliliğe normalize edilmiş H_β bölgeleri ve tayf çizgilerinin ayrı ayrı görülebilmesine imkan veren gözlem zamanlarına ilişkin örtme-örtülme evreleri 47
Şekil 3. 2 Sıcaklık ve renk ölçeklerine yapılan polinom fiti 51
Şekil 3. 3 Yıldızların mikrotürbülans hızlarını karşı etkin sıcaklıkları 52
Şekil 4.1 Mizar A yıldızının kuramsal tayfının gözlemsel tayfına modellenmesine ilişkin Fe II bölgesine ait bir örneği 62
Şekil 4.2 Hedef yıldızların kuramsal kompozit tayflarının gözlemsel ELODIE tayflarındaki H_β çizgisine modellenmesi 64
Şekil 4.3 Hedef yıldızların kuramsal kompozit tayflarının gözlemsel AUKR tayflarındaki H_β çizgisine modellenmesi 65
Şekil 4.4 HD 42083 yıldızının teorik evrim yolu 67
Şekil 4.5 Literatürden toplanan A ve F yıldızlarıyla T08 verilerinin sıcaklığa karşı gözlemsel mikrotürbülans değerleri 69
Şekil 4.6 Bileşenlerin mikrotürbülans hızlarının belirlenmesi 71
Şekil 5.1 Mizar A yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri 82
Şekil 5.2 Mizar A yıldızının her iki bileşeninde de gözlenen Ba elementindeki bolluk fazlalığını ve O elementindeki bolluk azlığını temsil eden 6135-6160 Å dalgaboyu aralığındaki tayf bölgesi 84
Şekil 5.3 47 And yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri 85
Şekil 5.4 6425-6450 Å dalgaboyu aralığı bölgesindeki 47 And yıldızının iki bileşeninde de gözlenen Ca elementindeki bolluk azlığı 86
Şekil 5.5 HD 42083 yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri 87
Şekil 5.6 HD 169268 yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri 88
Şekil 5.7 HD 23642 yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Anakolda bulunan kimyasal tuhaf yıldızlar 6
Çizelge 2.1 Literatür verilerinin bu tez çalışmasında kullanılan yıldızlar için verilen dönem (P), kütle (M), yarı-büyük eksen uzunluğu (a), etkin sıcaklık (T_e) ve yüzey çekim ivmelerinin (log g) ortalamaları ve standart sapmaları 41
Çizelge 3.1 Hedef yıldızların gözlem zamanları ve evreleri 44
Çizelge 3. 2 Yıldızların Jonhson V bandı parlaklıkları, gözlem tarihleri, poz süreleri (saniye), tekrar sayıları, toplam sayım ve S/G değerleri (AUKR) 45
Çizelge 4.1 Hedef yıldızların renk artıkları ile fotometrik sistemlerden ve kalibrasyonlardan belirlenen T_e ve log g değerleri, ortalamaları ve standart sapmaları 60
Çizelge 4.2 Hedef yıldızların bileşenlerine ilişkin elde edilen dikine hızlar ve izdüşüm ekvatoryel dönme hızları 62
Çizelge 4.3 Yıldızların yaşları ile bileşenlerin kütleleri ve atmosfer parametreleri 67
Çizelge 4.4 Mizar A yıldızının bileşenlerine ilişkin tayfta çizgi gösteren atomik türler, atomik türlerin çizgi sayıları, birinci ve ikinci bileşenin kimyasal element bolluklarıyla standart sapmaları, ikinci bileşenin kimyasal bolluğunun birinci bileşenin kimyasal bolluğundan farkı ve toplam standart sapmalar 73
Çizelge 4.5 47 And yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri 73
Çizelge 4.6 HD 42083 yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri 74
Çizelge 4.7 HD 169268 yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri 74
Çizelge 4.8 HD 23642 yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri 75
Çizelge 4.9 Mizar Aa bileşenine ilişkin mevcut atomik türlerin etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızları üzerine etki eden sistematik belirsizlikleri, standart hataları ve toplam belirsizlikleri 76
Çizelge 4.10 Mizar Ab bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 77
Çizelge 4.11 47 And a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 77
Çizelge 4.12 47 And b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 78
Çizelge 4.13 HD 42083a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 78
Çizelge 4.14 HD 42083b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 79
Çizelge 4.15 HD 169268a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 79
Çizelge 4.16 HD 169268b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 80
Çizelge 4.17 HD 23642a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 80
Çizelge 4.18 HD 23642b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri 80

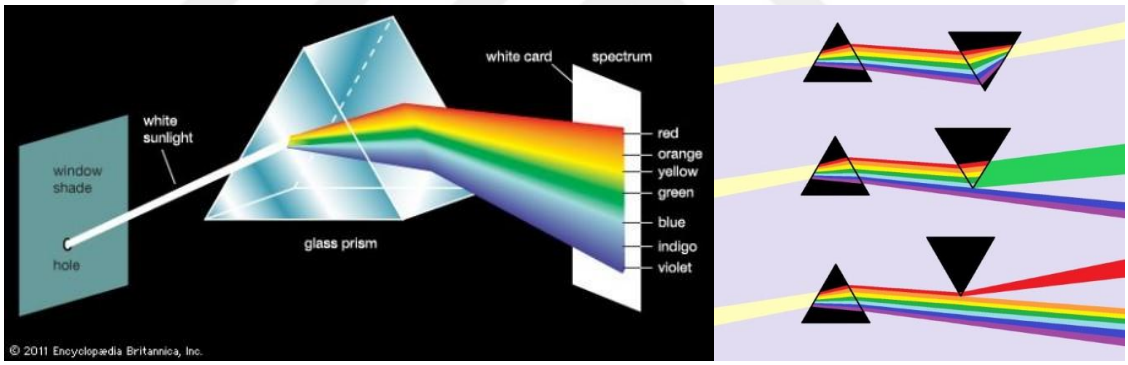
1. GİRİŞ

Kimyasal bolluk analizi, yıldızın atmosferindeki elementlerin hidrojene göre miktarlarının oransal olarak belirlenmesini sağlar. Yıldızların yüksek çözünürlüklü ve yüksek Sinyal/Gürültü (S/G)'ye sahip tayfları elde edilerek yapılan analizler, yıldızların atomosferlerine ilişkin en önemli parametreleri olan etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızının elde edilmesini sağlar. Yıldızların atmosferindeki kimyasal bileşimin belirlenmesine imkan tanıyan ayrıntılı kimyasal bolluk çalışmaları, aynı zamanda onların evrim durumları hakkında da bilgi vermektedir. Güneş'in atmosferindeki kimyasal bileşimin belirlenmesi, diğer yıldızların yapısının, oluşumunun ve evrendeki maddenin içeriğinin de anlaşılmasını sağlamıştır. Aynı yıldızlararası gaz ve tozdan oluşan çift yıldızların başlangıçta aynı kimyasal bileşime sahip olduğu varsayılabilir. Bu durumda, aynı sistemde yer alan bileşen yıldızların arasındaki kimyasal farkların kütlelerinin farklı olması ile birlikte dönme hızı veya manyetik alan gibi diğer faktörlerden de ileri gelebileceği düşünülmektedir. Çift yıldızlara ilişkin yapılan kimyasal bolluk çalışmaları, bileşen yıldızların atmosferlerindeki element miktarları arasındaki farkların ve bu farklara sebep olan süreçler ile mevcut teorilerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacak en önemli kaynaklardır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında literatürde bileşenlerine ilişkin ayrıntılı kimyasal element bollukları mevcut olmayan; Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268 ve HD 23642 çift çizgili tayfsal çift yıldızlarının (SB2) bileşenlerinin atmosfer parametleri ve kimyasal element bollukları SYNPLOTBIN arayüzüyle (Kılıçoğlu ve Monier 2018) kompozit tayf modelleme yöntemi kullanılarak belirlendi. Tez çalışmasının sonucunda, analiz edilen beş SB2 yıldızının yaşı, örtme-örtülme durumları ve renk artıkları ile bu yıldızların bileşenlerine ilişkin kütleleri, izdüşüm ekvatoryal dönme hızları ($v\sin i$), dikine hızları, etkin sıcaklıkları (T_e), yüzey çekim ivmeleri ($\log g$) ve mikrotürbülans hızları (ξ) elde edildi. SB2 bileşen yıldızlarının tayfta çizgi gösteren belirlenebilecek tüm atomik türlerinin ayrı ayrı kimyasal element bollukları elde edilerek belirsizlikleriyle birlikte sunuldu.

1.1 Tayfsal Analiz

Isaac Newton 1666'da karanlık bir odada dairesel küçük bir delikten gelen Güneş ışığını cam bir prizmayla ayrıştırarak bu ışığın karşı duvarında dikdörtgen biçimli şimdiki bildiğimiz gökkuşağı renklerini oluşturduğunu gözlemledi (Newton 1927). Bir sonraki yaklaşımında ise birincisine özdeş ikinci bir prizma alıp diğer prizmaya bitişik yerleştirdi ve dairesel küçük delikten gelen ve ilk prizmadan geçerek renklerine ayrılan Güneş ışığının ikinci prizmadan geçtikten sonra dağılmak yerine ilk ışınla aynı olarak çıktığını gördü (Şekil 1.1). 1672'ye kadar gerçekleştirdiği çeşitli optik deneyler sonucunda bu olayın prizmanın kenarına dik yönde gelen farklı ışık renklerinin farklı açılarda kırılan sonsuz sayıda dairesel görüntünün toplamı olduğu ve rengin ışığa özgü bir özellik olduğu sonucuna vardı. 6 Şubat 1672 tarihli ilk yayınında ışığın ve renklerin teorisi olarak bilinen keşiflerini anlatmasıyla tayfın temelleri atılmış oldu (Anonymous 2015).



Şekil 1.1 Newton'un Işık Teorisi (Anonymous 2015, Klus 2017)

1814'de Alman fizikçi Joseph von Fraunhofer, bir İngiliz fizikçi olan William Wollaston tarafından yapılan deneyi daha dikkatli şekilde tekrarlayarak Güneş'in elektromanyetik tayfında birçok karanlık çizgi olduğunu keşfetti (Anonymous 2018). Bir kısmı Fraunhofer tarafından tanımlanan bu çizgiler, yıldız ışığında belirli dalgaboylarında olan soğurma kaynaklı kayıplardır ve soğurma çizgileri olarak bilinir. Anatilik spektroskopinin temeli ise, 1859'da Alman fizikçi Gustav R. Kirchhoff'un her bir saf maddenin kendi karakteristik tayfa sahip olduğunu keşfetmesiyle atıldı. 18. ve 19. yüzyıllarda birçok bilim insanı ısıtılan gazın tayfını inceledi ve yayılan ışıkta süreklilik

üzerinde sadece belirli dalgaboylarında çok sayıda parlak çizgi mevcut olduğunu gördü. Her kimyasal elementin kendine özgü bir tayfa sahip olduğu çok kez düşünülmüş olsa da ilk çalışmalar saf maddeler elde etmenin zorluğu nedeniyle yapılamamıştır. Kirchhoff dikkatlice saflaştırdığı örneklerden karakteristik tayflar elde etmiş ve tayfsal analiz tekniğini başlatmıştır. 1861'de Kirchhoff ve Alman kimyager Robert W. Bunsen, Güneş'in elektromanyetik tayf analizini gerçekleştirerek Güneş'teki kimyasal elementlerin tanımlanmasını sağladılar (Anonymous 2018).

1.2 Tayf Çizgileri ile Kimyasal Bolluğun İlişkisi

Yıldız tayflarında gözlenen sürekli tayf, salma çizgileri ve soğurma çizgileri olarak bilinen üç temel yapının oluşumunu Kirchhoff yasaları açıklar. Kirchhoff'un üçüncü yasasına göre, eğer sıcaklığı kaynağınkinden düşük olan bir gaz kaynağın önüne geçerse kaynağın sürekli tayfı üzerinde soğurma çizgileri oluşturur. Bu yasada sıcaklığı kaynaktan düşük olan gaz, yıldız atmosferini temsil eder. Yıldızların dış katmanları iç katmanlarına göre daha az yoğun ve daha soğuk olduklarından sürekli ışınım üzerinde soğurma çizgileri oluşturur. Yıldızlardaki soğurma ve salma çizgilerinin oluşumu atomlardaki elektron geçişleriyle mümkündür.

Bir elementin bünyesinde bulunan elektronların yörüngeleri kuantumludur, yani elektronların çekirdek etrafında bulunma olasılıkları her yerde eşit değildir ve elektronların sahip olabileceği belirli enerji seviyeleri mevcuttur. Bir elektron yüksek enerjili bir yörüngeden daha düşük enerjili bir başka yörüngeye inerse söz konusu iki enerji düzeyi arasındaki farka eşit bir enerji yayınlar ve dolayısıyla bir salma çizgisi oluşur. Elektronun bir foton soğurarak daha yüksek enerjili bir seviyeye geçmesiyle de bir soğurma çizgisi oluşmaktadır. Bir element sadece salabildiği fotonları soğurabilir. Bu nedenle her elementin kendine has bir tayf çizgisi yapısı vardır. Böylece tayftaki bir çizginin dalgaboyu belirlenebilirse hangi elemente ait olduğu bulunabilir ve cisimde o elementin bulunduğuna ilişkin kesin bir yargıya varılır. Yıldız atmosferinde mevcut herhangi bir kimyasal elemente ilişkin tayf çizgisinin şiddeti yıldızın atmosfer parametrelerinin yanında ilgili elementin yıldız atmosferinde ne kadar bol veya az olduğuyla ilişkilidir ve çizgi şiddetini meydana getiren soğurucu atomların sayısına

bağlıdır. Saha ve Boltzmann kanunlarına göre termodinamik denge koşulu altında, bir elementin belli bir iyonlaşma ve belli bir uyartılma enerjisine karşılık gelen bir frekansta soğurabilen atomların sayısı, elektron basıncına ve sıcaklığa bağlıdır. Yıldızlardaki elementlerin atomlarından sadece belirli bir yüzdesi çizginin oluşturduğu frekansta soğurma yapabilir. İyonlaşmış durumda bulunan bu atomlardan sadece çizginin oluştuğu geçişin alt düzeyinde bulunan atomlar o çizgide soğurma yapabilirler. Bu atomların yüzdesini, yani bir ortamdaki b uyartılma seviyesindeki bir elementin a uyartılma seviyesindekilere oranını Boltzmann Kanunu verir:

$$\frac{N_b}{N_a} = \frac{g_b}{g_a} e^{-\frac{\chi\, uyartılma}{kT}}$$

Burada N_a a uyartılma seviyesindeki atomların sayısı, N_b b uyartılma seviyesindeki atomların sayısı, g_a a seviyesi için istatistiksel ağırlık, g_b b seviyesi için istatistiksel ağırlık, k Boltzmann sabiti, T ise ortamın sıcaklığıdır. Uyartılma potansiyeli ($\chi_{\text{uyartılma}}$), $\Delta E = E_b - E_a$ şeklinde b seviyesinin enerjisiyle a seviyesinin enerjisi arasındaki fark olarak verilir ve elektronun temel seviyeden, ilgili uyartılma seviyesine geçmesi için gereken enerjiyi ifade eder. Denklemde, b uyarılma durumundaki atomların yüzdesi, sıcaklık ne kadar yüksek ve uyartılma potansiyeli ne kadar düşükse o kadar daha büyük olacaktır.

Saha Kanunu ise çizgiye ait iyonlaşmış durumdaki atomların yüzdesini, yani bir ortamdaki i+1 kez iyonlaşmış bir elementin i kez iyonlaşmış uyartılma seviyesindekilere oranını verir. İdeal gaz kanunu $P_e = n_e kT$ olmak üzere:

$$\frac{N_{i+1}}{N_i} = \frac{2kTU_{i+1}}{P_e U_i} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{3/2} e^{-\frac{\chi iyonlaşma}{kT}}$$

Burada N_i i iyonlaşma seviyesindeki atomların sayısı, N_{i+1} i+1 iyonlaşma seviyesindeki atomların sayısı, U bölümleme fonksiyonu, h Planck sabiti, m_e elektronun kütlesi, P_e ise elektron basıncıdır. Sıcaklık ne kadar yüksekse ve elektron basıncıyla iyonlaşma potansiyeli de ne kadar düşükse, i+1 defa iyonlaşmış atomların sayısının i defa iyonlaşmış atomların sayısına oranı o kadar daha büyük olacaktır.

İngiliz astronom Cecilia Payne-Gaposchkin 1925'de tamamladığı doktora tezinde (Payne 1925) Saha iyonizasyon kanununu uygulayarak yıldızların tayf sınıflarını gerçek sıcaklıklarıyla ilişkilendirdi. Yıldızların tayflarındaki soğurma çizgilerindeki büyük değişimlerin farklı sıcaklıklarda farklı miktarlarda iyonizasyondan kaynaklandığını gösterdi. Güneş'in tayfında gözlenen Silikon (Si), Karbon (C) ve diğer metallerin miktarlarının Dünya'dakiyle yaklaşık aynı olduğunu ve yıldızların Dünya ile benzer temel bileşime sahip olduğunu tespit etti. Yıldızların kimyasal element bolluklarını hesaplayarak tayf türünden bağımsız olarak yıldızların hepsinde Hidrojen (H) ve Helyum (He) bolluğunun diğer elementlere göre çok daha fazla olduğunu ve sonuç olarak evrende en bol bulunan elementin Hidrojen olduğunu belirledi. Bu keşfi aracılığıyla astronomlar yıldız nükleosenteziyle üretilen H ve He elementlerinden daha ağır elementlerin tamamını metaller olarak adlandırdı (Anonymous 2011).

Güneş'in kimyasal bileşimi, diğer yıldızların da oluşumunu, yapısını ve evrimini anlamamızı sağlayan önemli bir referanstır. Yıldız bileşimi genellikle *X*, *Y* ve *Z* parametreleriyle tanımlanır. Burada *X*, hidrojenin kütlesinin sistemin toplam kimyasal bileşiminin kütlesine oranıdır, yani hidrojenin kütle kesridir, *Y* helyumun kütle kesridir, *Z* ise geri kalan tüm ağır elementlerin kütle olarak oranıdır veya metalisitedir. Yıldız atmosferleri için bu üç niceliğin toplamı $X+Y+Z=1$ olarak ifade edilir. Güneş'in yüzeyi için bu parametreler Asplund vd. (2009) tarafından $X_{\odot}=0.7381$, $Y_{\odot}=0.2485$ ve $Z_{\odot}=0.0134$ şeklinde hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, Güneş'in atmosferinin kimyasal bileşiminin kütle olarak yaklaşık %74'i H, %25'u He ve %1'i ağır elementlerdir. Diğer tüm yıldızların atmosferlerindeki kimyasal elementlerin bolluk miktarları logaritmik ölçekte Güneş'tekine göre [X/H] şeklinde verilir. Örneğin, bir yıldızdaki Fe elementinin bolluk miktarı [Fe/H] şeklinde gösterilir:

$$[Fe/H] = log\,\frac{(Fe/H)_*}{(Fe/H)_{\odot}} = log\,(Fe/H)_* - log\,(Fe/H)_{\odot}$$

[Fe/H] genel olarak metal bolluğu olarak da bilinir. Genellikle galaktik diskte bulunan, metalce en zengin ve genç Pop I yıldızlarının metalisitesi [Fe/H] ~ +0.45 (McWilliam ve Rich 1994) iken galaktik haloda bulunan, metalce en fakir ve yaşlı Pop II-III yıldızlarının metalisitesi ise [Fe/H] ~ -4.5 (Frebel ve Norris 2013) olarak verilmiştir.

Yapılan kimyasal bolluk çalışmaları yıldız atmosferlerinde bulunan bazı elementlerin daha bol veya daha az olmasıyla ilişkili olarak tuhaflıklar sergilediğini göstermiştir. Bir sonraki bölümde bu türden yıldızlarla ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir.

1.3 Kimyasal Tuhaf Yıldızlar

Kimyasal tuhaf yıldızlar (CP), yüzey kimyasal bileşimleri normal yıldızlardan farklı olan, Güneş fotosferinin kimyasal bileşimine göre bazı elementlerin bolluklarında anormallikler gösteren ve standart tayfsal sınıflamaya uymayan yıldızlardır. Wolf-Rayet yıldızlarından Karbon ve S-türü yıldızlara kadar neredeyse her etkin sıcaklıkta ve tüm evrim aşamasında, HR diyagramındaki tüm anakol boyunca birçok CP türü vardır (Smith 1996). Çizelge 1.1'de verildiği üzere, CP yıldızları tayfsal kimyasal karakteristiklerine göre etkin sıcaklık, manyetik alan ve bazı elementlerin zayıf veya şiddetli olma durumlarıyla ilişkili olarak altı grupta sınıflandırabilir (Preston 1974, Kurtz 2000).

Çizelge 1.1 Anakolda bulunan kimyasal tuhaf yıldızlar

İsim	Grup	Kriter	Tayf Türü	T_e (K)
λ Boo	-	Zayıf Mg II ve zayıf metal bolluğu	B9.5-F0	7500-9000
Am-Fm	CP1	Zayıf Ca II ve/veya Sc II bolluğu, metal bolluğu fazlalığı	A0-F4	7000-10000
Bp-Ap	CP2	Sr, Cr, Eu ve/veya Si yüksek bolluğu	B6-F4	7000-16000
HgMn	CP3	Hg II ve/veya Mn II yüksek bolluğu	B6-A0	10500-16000
He-zayıf	CP4	Zayıf He I, yüksek Si, Sr-Ti, P-Ga bollukları	B2-B8	14000-20000
He-şiddetli	-	He I yüksek bolluğu	B2	20000-25000

λ Bootis (λ Boo) yıldızları, tayflarında oldukça zayıf Mg II λ4481 çizgisiyle karakterize edilen, diğer metal çizgilerinde de bolluk azlığı (Sc, Fe, Si, Ca, Zn, Sr ve Ba) gösteren, hafif elementlerin (C, N, O ve S) yaklaşık Güneş bolluğunda olduğu, B9.5-F0 tayf türleri arasındaki ve manyetik özellikli olmayan Pop I yıldızlarıdır. H Balmer çizgilerinin kökleri dar fakat kanatları geniş bir yapı gösterir (Gray 1991, Paunzen 2004). Bu yıldızlar ilk olarak Morgan, Keenan & Kellman (1943) tarafından tanımlandı ve daha sonra Sargent (1967) sadece yedi cismin λ Boo karakterine benzer karakter

sergilediğini belirledi. Ayrıca λ Boo (F0V-kA1-mA1.5) örneğindeki gibi, H Balmer çizgilerinden belirlenen tayf türünün (A0-F0), Ca II K çizgilerinden (A0 veya biraz geç) ve metal çizgilerinden belirlenen tayf türünden daha geç tayf türü verdiği gözlemlendi. Venn ve Lambert (1990), λ Boo yıldızlarının bolluk özelliklerindeki metalce fakir olma durumunun yıldızlararası ortamla olan (ISM) benzerliğini fark ederek yıldızı gaz ve toz taneleriyle saran bir kabuk modelini önerdi. Waters vd. (1992) de benzer şekilde, λ Boo yıldızının etrafına ISM'den metalce tükenmiş gaz biriktiren bir disk olduğu senaryo üzerinde çalıştı. Bu senaryo, yıldız yaygın yıldızlararası bir buluttan geçer geçmez yıldız evriminin herhangi bir aşamasında çalışır. Yıldızlararası toz taneleri yıldızın ışınım basıncıyla sürüklenirken, tükenmiş yıldızlararası gaz yıldız etrafına birikir. Yaygın bulutun yoğunluğuna ve yıldızla bulut arasındaki bağıl hıza bağlı olarak tipik gaz birikme oranları 10^{-14} ile 10^{-10} $M_{\odot}$ yr^{-1} arasındadır. Bu model için üst sıcaklık sınırı $T_e > 12000$ K olan yıldızlar için güçlü yıldız rüzgarlarından kaynaklanırken, alt sınır biriken malzemenin yıldız yüzeyinde ortaya çıkmasını önleyen konveksiyonla tanımlanır (Paunzen 2004).

Metalik çizgili olarak da bilinen Am-Fm yıldızları, güçlü manyetik alanı olmayan, yavaş dönen, çoğunlukla kısa dönemli çift yıldız sistemlerinde bulunan, atmosferlerinde Ca ve Sc elementlerinde aşırı bolluk azlığı ve Fe komşuluğu ve daha ağır elementlerde aşırı bolluk fazlalığı sergileyen yıldızlardır (Kunzli ve North 1998, Gebran vd. 2008). Dönemleri 1-10 gün aralığında olan Am yıldızlarının neredeyse tamamı çift sistemlere aittir. Normal A yıldızları 250-300 km s^{-1}'lik izdüşüm dönme hızlarına sahip olabilirken Am yıldızlarının izdüşüm ekvatoryel dönme hızları $v\sin i \leq 125$ km s^{-1}'dir (Kurtz 2000). İlk olarak Titus ve Morgan'ın (1940) farklı bir sınıf olarak tanıttığı ve Roman vd. (1948) tarafından MK sınıflandırma sistemine getirilen Am yıldızlarının tayflarındaki Ca II K çizgilerinin normal yıldızlara nispeten zayıf ve metal çizgilerinin de Balmer çizgileri tarafından belirlenen tayf türüyle karşılaştırıldığında oldukça güçlü olduğu belirlendi. Bu durum Am yıldızlarına, normal yıldızlara göre daha zayıf çizgi özelliği gösteren ve bu nedenle de daha erken bir tayf türü veren Ca II K çizgisine göre veya tam tersi normal yıldızlara göre daha şiddetli gözlenen ve daha geç tayf türü veren metal çizgilerine göre ve H Balmer çizgilerine göre olmak üzere üç kritere dayanan bir sınıflandırma getirdi (Smith 1996). Bu üç tayf türü sınıflandırması arasındaki ilişkiyi

ifade eden ölçüt Roman vd. (1948) tarafından *Tayf Türü (K çizgisi) < Tayf Türü (H çizgisi) < Tayf Türü (metal çizgileri)* şeklinde metalik çizgili yıldızların klasik tanımı olarak verilmiştir. Ca II K çizgisinden belirlenen tayf türünün metal çizgilerinden elde edilen tayf türünden beş tayf sınıfından daha erken olması durumu klasik Am yıldızlarını tanımlarken, bu farkın beş tayf türünden daha az tayfsal sınıf aralığında olması, yani *Tayf Türü (K) – Tayf Türü (metal çizgileri)* < 5 olması durumu marjinal (İng., marginal veya mild) Am yıldızlarını tanımlar (Khokhlova 1981). Klasik Am yıldızlarının H çizgilerinden belirlenen tayf türü A3-F1 aralığındadır. Conti (1970) Am yıldızlarının bu anormalliklerden sadece birine sahip olması gerektiğini belirterek Am sınıfını A0 tayf türünden bir Am yıldızı olan Sirius yıldızını da içerecek şekilde A0-A3 aralığında sıcak Am yıldızları adı verilen bir grup daha tanımlayarak genişletti. δ Del yıldızları olarak bilinen bazı geç A ve erken F tayf türünden dev veya altdev ışınım sınıflarından yıldızlar da farklı K çizgisi ve metal çizgileri sergilerler. Bu yıldızların Am yıldızlarının yüzey bolluklarıyla benzerlikler göstermesi onların evrimleşmiş Am yıldızları olduğu fikrini ortaya çıkarmıştır. İlk olarak Michigan Tayfsal Kataloğu'nda (Houk ve Cowley 1975) tanımlanan bu yıldızların homojen olmadığı belirlendi ve daha sonra Gray ve Garrison (1989) geç A ve orta F türünden evrimleşmiş parlak Am yıldızlarını ρ Pup prototipini önererek yeniden sınıflandırdı.

Bp-Ap yıldızları genellikle güçlü manyetik alana sahiptirler. Yüzeylerinde gözlemlenen manyetik alanlar onlarca kG olabilir ve fosil manyetik alanlar olarak kabul edilir (Alecian vd. 2016). Sınıflandırma açısından bakıldığında çeşitli tayfsal tuhaflıklara sahip en az iki alt grubun birleşimini içerir. Daha soğuk olan grup (T_e < 10000 K), 4200 Å'daki Si elementinde, Si-Cr-Eu ve Sr-Cr-Eu elementlerinde bolluk fazlalığı ve bazen kısa süreli hızlı salınımlar (roAp yıldızları) gösterir (Jaschek ve Jaschek 1958). Si'nin aşırı bolluğununun gözlendiği grup ise daha sıcak olanlardır (örn., bkz., Ryabchikova vd. 1999, Kochukhov vd. 2006). Gomez vd. (1998), Bp-Ap yıldızlarını He-şiddetli, He-zayıf, HgMn, Si, Si^+ ve SrCrEu olmak üzere altı gruba ayırmıştır. Manyetik olmayan HgMn yıldızları da bazen Bp-Ap olarak tanımlanabilmektedir (Smith 1996).

HgMn yıldızları, ilk olarak Morgan (1931) tarafından α And prototipinin tayfına benzer 13 yıldız belirlendiğinde ayrı bir sınıf olarak tanıtıldı. Jaschek ve Jaschek (1987), bu

yıldızları tayflarındaki güçlü Hg II 3984 ve/veya Mn II çizgilerinin varlığıyla tanımladılar. Manyetik alanın olmadığı veya tespit edilmediği bilinse de (Aurieri vd. 2005) atmosferlerinde manyetik alanın varlığı tartışmaya açıktır. Bu yıldızlar Güneş'e göre Fe komşuluğu elementlerinin ve nadir toprak elementlerinin aşırı bolluklarını gösterebilirler (Ghazaryan vd. 2018). HgMn yıldızlarının en sıcak Am-Fm yıldızlarına evrimleştiği düşünülmektedir (örn., Alecian vd. 2009).

He-zayıf yıldızları, Bidelman (1960) 3 Cen A yıldızının tuhaf tayfını tanıtana kadar sıcak HgMn ve manyetik Bp yıldızları olarak bilindiler. B5 tayf türündeki bu yıldızın tayfında zayıf He I ve birçok keskin P II ve Ga II çizgileri gözlendi. Daha sonra B4 tayf türünden α Sc1 yıldızının tayfında aşırı zayıf He I çizgisi, Cr II, Ti II ve hatta daha önce bu kadar erken bir tayf türünde rastlanmayan Sr II çizgileri gözlendi (Jugaku ve Sargent 1961). Bu sıradışı yıldız kimyasal tuhaf He-zayıf sınıfının keşfine sebep oldu. Bu sınıfın P-Ga olarak anılan, 3 Cen A'nın prototipi olduğu fosfor yıldızları alt grubu ve Si türü/helyum fakiri mavi yıldızlar olarak tanılan iki diğer alt grubu ile birlikte toplamda en az üç alt grubu bulunur (Smith 1996).

He bakımından zengin yıldızlar CP'lerin içinde en büyük kütleli olan, B2 tayf türünden anakol yıldızlarıdır. Tayflarında çok şiddetli He çizgisi gözlenmesine ek olarak çoğu Ap-Si ve SrCrEu yıldızları gibi manyetiktir fakat manyetik alanları CP2 yıldızlarından yaklaşık üç kat daha güçlüdür (Bohlender vd. 1987). İlk keşfedilen He-şiddetli yıldız σ Ori E dir (Berger 1956) ve bu CP grubunun varlığını Osmer ve Peterson (1974) tanımıştır. Bu yıldızların % 99.5 kadarı 130 km s^{-1} dönme hızının altında bir hıza sahiptir (Zboril ve North 2000). Vauclair (1975), atmosferde He biriktirmek için rüzgarın gerektiğini olduğunu aksi takdirde He elementinin gravitasyonel çekim etkisiyle yüzeyden daha derin katmanlara batacağını göstererek bu yıldızların bolluk anormalliklerini yıldız rüzgarlarının varlığında difüzyon mekanizmasına bağlayarak yorumlamaktadır.

CP yıldızlarının gözlenen tüm özelliklerini açıklayan evrensel olarak kabul edilmiş bir model yoktur. Fe komşuluğunda bulunan elementlerdeki bolluk fazlalığını ve Am yıldızlarındaki Ca, Sc, C ve He elementlerindeki bolluk azlığını açıklayabilen en

başarılı model olan difüzyon hipotezi, araştırmacıların çoğu tarafından tercih edilen teorik modeldir (Kurtz 2000). Difüzyon hipotezine göre, bir yıldızda türbülans hareketi nedeniyle olan karışıma karşı kararlı katmanlar varsa H'den daha ağır elementler gravitasyonel olarak batma eğilimi gösterirler ve bu durumda sıcaklık gradyentinden ileri gelen akı yoğunluğundaki asimetri iyonların yukarıdan aşağıya daha fazla ışınım soğurmasıyla sonuçlanır ve dolayısıyla radyal olarak yüzeye yönlendirilir. Bu iki rakip etki olan radyatif kuvvet ve gravitasyonel çekim bazı elementlerin batmasına diğerlerinin de yüzeye yükselmesine sebep olarak tuhaf atmosfer bollukları üretebilir (Michaud 1970, Kurtz 2000). T_e < 6000 K olan yıldızlarda derin karışım hareketleri yüzey kimyasıyla iç bölgelerin kimyasını benzer tutarken T_e > 20000 K olan yıldızlarda hızlı kütle kaybı iç kimyayı diğer süreçlerden daha hızlı değiştirerek yüzeye getirir. A ve B tayf türünden anakol yıldızlarında ancak konveksiyon katmanları, büyük ölçekli karışım/türbülans hareketleri ve kütle kaybı kimyasal sonuçları değiştirir. Michaud ve Charland (1986), yıldızların kütle kaybını da hesaba katmak için difüzyon teorisini değiştirerek yeniden düzenledi. Am-Fm yıldızlarında gözlenen bolluk anormalliklerini, He iyonizasyonuyla ilişkili dış konvektif katmanın ortadan kalkmasıyla ve yavaş dönmeden dolayı meridyonel karışım hareketlerinin olamamasıyla açıkladılar (Paunzen 2004). Vauclair vd. (1978), elementleri radyal homojen olmayan denge dağılımlarına zorlayan difüzyon süreçleriyle homojen kimyasal bileşimi geri kazandıran türbülans hareketleri arasındaki soruna bir türbülanslı difüzyon katsayısı ekleyerek yeni bir yaklaşım sundu. Am, HgMn ve Ap yıldızlarının yalnızca difüzyon hipotezine göre modellenmesiyle tahmin edilen bolluk anormalliklerinin gözlenenlerden daha güçlü olduğunu belirledi ve bu durumun atomik difüzyonun etkisini azaltacak başka süreçlerle dengelenmesini gerektiğini belirtti. Teori ve formüllerin doğrulanana kadar, daha çok veriyle tüm elementler için doğru ışınım kuvvetlerinin hesaplanmasına ve modelin daha da geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu rapor etti. Paunzen (2004) ise difüzyon katsayıları ve konveksiyon bölgesinin sınırları gibi bilinmeyen birçok parametrenin göz önüne alınmasıyla sergilenen tuhaflıkların modellerle daha iyi uyum göstereceğini belirtti.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Çift Yıldızlara İlişkin Kimyasal Bolluk Çalışmaları

Literatürde kimyasal bolluk çalışması yapılmış olan çift çizgili tayfsal çift yıldızların araştırılması için NASA/ADS'den "double lined spectroscopic binary", "abundance analysis" ve "SB2" anahtar kelimeleri yardımıyla bu tez çalışmasının konusuyla ilgili olabilecek yayınlar tarandı ve konuyla doğrudan ilişkili 24 makalenin olduğu tespit edildi. Bu makaleler, III ve V ışınım sınıfı aralığında 66 tane SB2 bileşeni içermekte olup bu cisimlerden tayf türü iki bileşen için de belirlenenlerden dokuzu B, dördü A ve üçü F tayf türlerindendir. Bileşenlerinin tayf türlerinin ayrı ayrı belirlenmediği görülen 25 SB2 yıldızının da onbiri A, on tanesi B, üçü F ve biri G tayf türlerindendir. Bu bölümde, belirlenen yayınlara ilişkin bilgi ve bulgular paylaşıldı.

Yushchenko vd. (1999), R≈3600 çözünürlüğüne, 4385-6695 Å dalgaboyu aralığına ve 100 den az olmayan Sinyal/Gürültü oranına (S/G) sahip eşel tayflar kullanarak neredeyse eşit kütlelerde bileşenlere sahip (M_A/M_B = 0.97) ve kimyasal tuhaf (CP) bir SB2 olan 66 Eri sisteminin atmosferik kimyasal bileşimini belirledi. Yıldızın atmosfer parametrelerini 0.1 ile 1 μm dalgaboyu aralığındaki tayfsal enerji dağılımına yapılan teorik modellerle elde etti. Çalışmada kuramsal tayf yöntemini kullanarak He, C, O, Ne, Mg, Al, Si, S, Ca, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Y, Zr, Ba, La, Ce, Yb, Hf, W, Pt, Au, Hg elementlerinin bolluklarını irdeledi. Kuramsal tayfları üretmek için SYNTHE (Kurucz 1993a), bolluk hesabı için de WIDTH9 (Kurucz 1993a) programlarını kullandı. Kuramsal tayfları gözlemsel tayfa URAN programı (Yushchenko 1998) kullanarak otomatik olarak fit etti. Bileşenlerin tayfsal enerji dağılımıyla karşılaştırılmak üzere teorik modellerinin üretilmesi için gerekli etkin sıcaklık, log g ve mikrotürbülans parametreleri mevcut tüm fotometrik ve spektrofotometrik verilerin analiziyle ve Fe çizgilerinin eşdeğer genişlikleriyle tahmin edildi. A ve B bileşenleri için etkin sıcaklıklar, yüzey çekim ivmeleri, mikrotürbülans hızları ve dönme hızları sırasıyla, $T_{e,A}$ = 11100 K, $T_{e,B}$ = 10900 K, log g_A = 4.25, log g_B= 4.25, ξ_A = 0.9 km s^{-1}, ξ_B = 0.7 km s^{-1} ve $v\sin i_{A,B}$ = 17 km s^{-1} olarak belirlendi. Çalışmanın sonucunda bileşenlerin atmosferik kimyasal bolluklarında belirgin farklılıkların olduğu tespit edildi. B bileşeninin HgMn

grubunun tipik bir özelliği olan He ve Al elementlerinde bolluk azlığı veya P ve Ga elementlerinde aşırı bolluk gibi bir kimyasal tuhaflık göstermediği belirlendi. Analiz sonucunda bu bileşenin Güneş'e göre kimyasal element bollukları [Ti/H] = 0.92, [Cr/H] = 0.67, [Mn/H] = 1.01, [Ni/H] = 0.37, [Zn/H] = 1.29, [Y/H] = 2.97, [Zr/H] = 1.59, [Hf/H] = 3.49, [W/H] = 3.23, [Pt/H] = 4.95, [Au/H] = 5.65, [Hg/H] = 5.31 olarak elde edildi. A bileşeninin atmosferinde ise Mn ve Ba elementlerinin orta derecede bolluk fazlalıkları gösterdiği ([Mn/H] = 0.61, [Ba/H] = 1.28), ancak yıldızın tayfında diğer ağır element çizgilerinin bulunmadığı görüldü.

Griffin (2002), *o* Leo çift yıldızının Mount Wilson coude tayfçekeri ve Dominion Astrofizik Gözlemevi'nden (Dominion Astrophysical Observatory, DAO) alınan tayflarını kullandı. Bileşenlerin kimyasal bolluklarını analiz etmek için 3875–4557 Å dalgaboyları arasındaki, yüksek S/G ve R≈30000 çözünürlüğüne sahip tayflara FDBINARY (Ilijic vd. 2002) programıyla tayfsal ayrıştırma yöntemini uyguladı. *o* Leo A'nın kütlesini M_A = 2.12±0.3 $M_\odot$, yarıçapını R_A = 5.7±0.9 $R_\odot$ olarak kabul etti. Bileşenlerin tayflarını ayırdıktan sonra her ikisini de benzer sıcaklıktaki yıldızların tayflarıyla karşılaştırdı. Tayf türü F9 III olan baş bileşenin atmosfer parametreleri $T_{e,A}$ = 6100±200 ve log g = 3.25 olarak bulundu ve yıldızın soğuk evrimleşen bir dev olmasına rağmen Am özelliği gösterdiğini belirledi. Kütlesi M_B = 1.85±0.2 $M_\odot$, yarıçapı R_B = 2.6±0.1 $R_\odot$, etkin sıcaklığı $T_{e,B}$ = 7600±200 olarak bulduğu *o* Leo B'nin ise Am yıldızlarının tayfında görülen Ca II çizgi zayıflığı ve nadir-toprak çizgilerinin şiddetli olması durumlarının mevcut olduğunu rapor etti. *o* Leo A'nın Ca bolluğunu Güneş'e göre 0.45 dex az, iyonize olmuş nadir toprak elementlerinin (Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd ve Eu) ise Güneş'e göre 0.67 dex fazla olduğunu tespit etti. Çalışmada Am olarak sınıflanan *o* Leo A'yı δ Del yıldızlarının ile AmFm devlerinin kütleleriyle, çift olma özellikleriyle, evrim durumlarıyla ve dönme hızlarıyla karşılaştırdı. Bunun sonucunda, *o* Leo A gibi soğuk bir Am yıldızının difüzyon teorilerine uymadığı görüldü. Baş bileşenin Ca ve Sc bolluğunun klasik Am yıldızlarındaki gibi az olduğu ve bu nedenle evrimleşmiş Am yıldızları olarak tanımlanan δ Del yıldızı da olmadığını, baş bileşenin bu sıradışı durumunun ya hızlı evrim durumuna veya tayfsal olarak tanımlanması zor olan normal Am/AmFm yıldız evrimiyle ilgili olduğunu öne sürdü.

Ayrıca, iki bileşen için de bulunan yüksek mikrotürbülans değerlerinin (4-5 $km\,s^{-1}$) soğuk devlerin değil Am yıldızlarının özelliği olduğuna dikkat çekti.

Pavlovski ve Southworth'un (2009), incelediği tutulma gösteren ve çift çizgili tayfsal çift yıldız olan V453 Cyg, erken B tayf türünden iki yıldız içerir. Yıldızın iki bileşenine ilişkin 4533-4730 Å dalgaboyları arasında S/G 140-220 olan ve 4340-4840 Å dalgaboyları arasında S/G 100-450 olan tayfları kullanılarak tayfsal ayrıştırma tekniğiyle (İng., spectral disentangling) ayrı ayrı elde edildi. Ayrıştırılmış tayftaki H balmer çizgilerine yerel termodinamik denge kabulü olmaksızın (İng., non-LTE) hesaplanan teorik çizgi profillerini fit ederek bileşenlerin etkin sıcaklıklarını baş ve yoldaş bileşen için sırasıyla, 27900±400 K ve 26200±500 K olarak elde etti. Bu etkin sıcaklık ve yüksek hassasiyetli olarak elde edilen yüzey çekim ivmeleriyle (log g_A = 3.731±0.012 ve log g_B = 4.005±0.015) He, C, N, O, Mg, Si ve Al elementlerin bollukları elde edildi. Baş bileşen için He bolluğu iki farklı yaklaşımla hesaplandı. Mikrotürbülans hızı serbest parametre olarak tutulduğunda elementin bolluğunun fazla olduğu literatürde ölçülen değerler de göz önünde bulundurularak O II çizgilerinden elde edilen ξ = 2 km s^{-1} değeri verilerek hesaplandığında ise normal Güneş bolluğunda olduğu görülmektedir. Element bollukları sonucunda TAMS da bulunan büyük kütleli yıldızın fotosferinde CNO çevrimiyle üretilen metaryele dair bir gösterge olmadığı gözlendi. Yoldaş bileşenin element bollukları benzer özelliklere sahip bir yıldızın şablon tayfına karşı yapılan diferansiyel bir çalışmayla türetildi. İki bileşenin de bulunan tüm elementlerine ait bollukların galaktik OB yıldızlarında gözlenen temel element bolluklarını gösterdiği belirlendi.

Folsom vd. (2012), 3700-10500 Å dalgaboyu aralığındaki 65000 çözünürlüğe sahip Kanada-Fransa-Hawaii Teleskobu'ndaki (CFHT) Echelle Spectropolarimetric Device for the Observation of Stars (ESPaDOnS) ile 20 Herbig Ae/Be yıldızının kimyasal bolluk analizini gerçekleştirdi. Analizlerde 5000-5050 Å ve 6100-6200 Å dalgaboyu aralıklarını kullandı. Model atmosferleri ATLAS9 ve kuramsal tayfları ZEEMAN tayf sentezi programıyla (Landstreet 1988) oluşturdu. A Levenberg-Marquardt χ^2 istatistiğiyle (örn., Press vd. 1992) kuramsal tayfların gözlemsel tayflara olan en iyi uyumlarını elde etti. Çizgi listelerini Vienna Atomic Line Database (VALD, Kupka vd.

1999) kullanarak güncelledi. Balmer çizgi gözlemleri Very Large Telescope (VLT)'daki, Focal Reducer and Spectrograph 1 (FORS1) ile Wade vd. (2007) tarafından gerçekleştirildi. $T_{\rm e}$ ve log g parametreleri gözlemsel Balmer çizgilerine yapılan kuramsal fitlerden elde edildi. Sonuç olarak 20 yıldızın izdüşüm ekvatoryel dönme hızlarını, mikrotürbülans hızlarını, etkin sıcaklıklarını, yüzey çekim ivmelerini ve He, C, N, O, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Nd ve Eu elementlerinin bolluklarını elde etti. Yalnızca V380 Ori üçlü sisteminin iki bileşeni için bu parametreler belirlendi. V380 Ori A bileşeninde Fe, Mn, ve Ni elementlerinde aşırı bolluk ve Si elementinde hafif bolluk gözlenirken C, Ne, ve S elementlerinin Güneş bolluğunda olduğu rapor edildi. Böylece V380 Ori A yıldızının analiz yıldızları arasında tek olası zayıf manyetik özelliği olabilecek bir Bp yıldızı olduğu belirtildi. 11 yıldızın değişen derecelerde λ Boo kimyasal özellikleri taşıdığı, sadece bir yıldızın zayıf Ap/Bp özellikleri gösterdiği ve geri kalan tüm yıldızların kimyasal olarak normal olduğu rapor edildi.

Maceroni vd. (2013), SB2 olduğu ortaya çıkan ve γ Dor tipi zonklamaların net bir şekilde kanıtlandığı parlak örten CoRoT 102918586 (P=4.39 gün) sistemini inceledi. Çift olmanın doğasının getirdiği avantajlar, zonklamadan elde edilen bilgilerle CoRoT fotometrisinin potansiyelinden tam olarak yararlanmak amacıyla tayf bilgisiyle de birleştirildi ve R≈48000 çözünürlüklü, 3800-8500 Å aralığında, S/G~50 olan tayflar elde edildi. Hem dikine hız eğrileri hem de tayfın ayrıştırılmasından sonra etkin sıcaklıklar, metalisite ve tahmini dönme hızları elde edildi. Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenlerin tayf türleri A8-F2, Balmer çizgilerinden türetilen etkin sıcaklıkları $T_{\rm e,A}$=7380±90 K, $T_{\rm e,B}$=7144±110 K, kütleleri M_A=1.66±0.02 $M_\odot$, M_B=1.49±0.03 $M_\odot$, yarıçapları R_A=1.64±0.01 $R_\odot$, R_B=1.48±0.01 $R_\odot$, yüzey çekim ivmeleri log g_A = 4.23±0.01, log g_B = 4.27±0.01, Fe çizgilerinden elde edilen dönme hızları ve mikrotürbülans değerleri $v\sin i_A$=20.5±0.5 km s^{-1}, $v\sin i_B$=14.5±0.9 km s^{-1}, $\xi_{\rm A}$=1.8±0.1 km,s^{-1}, $\xi_{\rm B}$=1.0±0.1 km s^{-1} olarak belirlendi. Ayrıştırılmış tayftan C, Si, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni elementlerinin bollukları belirlendi. Baş bileşende neredeyse tüm elementler için az miktarda bolluk fazlalığı varken yoldaş bileşende tüm elementler için az miktarda bolluk azlığı gözlendi.

Kolbas vd. (2014), her iki bileşeni de B tayf türünden olan ve kütle aktarımı sergileyen Algol türü U Her çift sisteminin tayfını 3700-9200 Å dalgaboyu aralığında, çözünürlüğü R≈40000 olan bir tayfçekerle elde etti. İki bileşenin ayrı ayrı tayfları tayfsal ayrıştırma tekniğiyle elde edildi. Tayflarla Hipparcos fotometrik verilerinin analizi birleştirerek, U Her'in baş bileşeni (kütle kazanan yıldız) için M_A=7.88±0.26 $M_\odot$, R_A=4.93±0.15 $R_\odot$ ve $T_{e,A}$=21600±220 K, yoldaş bileşen için ise (kütle kaybeden yıldız) M_B=2.79±0.12 $M_\odot$, R_B=4.26±0.06 $R_\odot$ ve $T_{e,B}$=12600±550 K olarak belirlendi. Etkin sıcaklıklar ayrıştırılmış tayfların $H\gamma$ ve H_β çizgilerine kuramsal tayflar fit edilerek elde edildi. Baş bileşene ait C, N, O, He, Mg, Si, Al bollukları belirlendi. Baş bileşenin C bolluğunun Güneş'e göre biraz az, N bolluğunun da biraz fazla olduğu gözlendi. Baş bileşendeki C azlığı önemli ölçüde kütle transferi olduğuna kanıt olarak gösterilmektedir. Diğer elementlerin ise Güneş bolluğuna yakın olduğu tespit edildi. Yoldaş bileşenin çizgi şiddetleri ya çok az olduğu için veya diğer çizgilerle karıştığı için (blend) daha yüksek S/G oranına sahip tayflar gerektirdiğinden kimyasal bolluk analizi gerçekleştirilmedi. Baş bileşenin atmosferinin yerel termodinamik denge kabulü yapılmadan gerçekleştirilen analizi, CNO nükleosentez sürecine yönelik teorik beklentiler doğrultusunda azot ve karbon bolluklarının standart kozmik bolluk modelinden olan sapmaları ortaya koydu ([C/H]=−0.47±0.05, [N/H]=0.20±0.06). Baş bileşenin atmosferinin ayrıntılı bir bolluk analizi, evrimsel hesaplamaları destekleyen ve başlangıçta daha büyük kütleli olan yoldaş bileşenin erken evriminde güçlü bir karışım mekanizmasının işlediğini işaret eden C/N=0.9 oranını verdiği bulundu.

Gebran vd. (2015), yörünge dönemi 14.49 gün olan çift çizgili tayfsal çift *o* Leonis'in 3820-6930 Å dalgaboyu aralığında, S/G 170-310 olan yüksek çözünürlüklü (R≈75000) SOPHIE eşel tayflarını elde etti. Çift sistemin kompozit tayfından ayrı ayrı tayflarını elde etmek için Tomografik ayrıştrma ve Fourier ayrıştırma teknikleri kullanıldı. Atmosferik parametreler Griffin (2002) makalesinde verilen etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerlerine benzer şekilde baş bileşen için $T_{e,A}$ = 6100 K, log g_A = 3.25 ve yoldaş bileşen için $T_{e,B}$=7600K, log g_B = 4 olarak seçildi. Baş ve yoldaş bileşenin kütleleri, dönme hızları ve mikrotürbülans değerleri sırasıyla M_A=2.12 $M_\odot$, M_B=1.85 $M_\odot$, $v\sin i_A$=13.1 km s^{-1}, $v\sin i_B$=20.5±0.5 km s^{-1}, $\xi_{A,B}$=2 km s^{-1} olarak belirlendi. Seçilen Fe, Mg ve Ti çizgilerinin laboratuvar dalga boylarıyla en iyi eşleşen dikine hızı bulmak için

gözlemsel tayf, SYNSPEC (Hubeny ve Lanz 1992) ve SPECTRUM (Gray ve Corbally 1994) ile üretilen kuramsal tayfla karşılaştırıldı. *o* Leo sisteminin iki bileşeni için de 14 kimyasal elementin bolluğu elde edildi (Cl, Na, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr, Y, Zr). Ca ve Sc elementlerinde bolluk azlığının ($[Ca/H]_A$=−0.12±0.07, $[Ca/H]_B$=−0.63±0.25, $[Sc/H]_A$=−0.96±0.25) ve Fe komşuluğundaki ağır elementlerin aşırı bolluğunun (örn., $[Fe/H]_A$=0.38±0.25, $[Fe/H]_B$=0.75±0.21) her iki bileşeninin de Am özelliklerini işaret ettiği belirlendi. Diğer elementlerin bollukları ise $[C/H]_A$= −0.1±0.25, $[C/H]_B$= −0.54±0.25, $[Na/H]_A$= −0.02±0.24, $[Na/H]_B$= −0.42±0.19, $[Mg/H]_A$= −0.03±0.25, $[Mg/H]_B$= 0.12±0.15, $[Si/H]_A$= 0.18±0.18, $[Si/H]_B$= 0.05±0.24, $[Ti/H]_A$= 0.09±0.33, $[Ti/H]_B$= 0.91±0.29, $[Cr/H]_A$= 1.99±0.25, $[Cr/H]_B$= 0.55±0.25, $[Mn/H]_A$= 0.11±0.16, $[Mn/H]_B$=0.79±0.31, $[Ni/H]_A$= 0.4±0.19, $[Ni/H]_B$= 1.04±0.14, $[Sr/H]_A$= −0.03±0.25, $[Y/H]_A$= 1.87±0.17, $[Y/H]_B$= 1.09±0.04, $[Zr/H]_A$= 0.19±0.21, $[Zr/H]_B$= 1.93±0.16 olarak tespit edildi.

Kolbas vd.'nin (2015) incelediği Algol (β Persei) sisteminin çözünürlüğü R≈48000 olan tayfçekerle 3640–7360 Å dalgaboyu aralığında S/G 200-500 olan, çözünürlüğü R≈80000 olan tayfçekerle ise 3600–10200 Å dalgaboyu aralığında S/G 300-550 olan tayfsal gözlemleri yapıldı. Tayfsal ayrıştırma yöntemi üç bileşenin ayrı ayrı tayflarını, B ve V filtrelerinde bileşenler arasındaki akı oranlarını ve hem de ayrıntılı element bolluklarını içeren atmosferik parametrelerin belirlenmesini sağladı. Çalışmada, bileşenlerin kütleleri M_A = 3.39±0.06 $M_\odot$, M_B = 0.770±0.009 $M_\odot$, M_C = 1.58±0.09 $M_\odot$, etkin sıcaklıkları, $T_{e,A}$ = 12 550±120 K, $T_{e,B}$ = 4900±300 K, $T_{e,C}$ = 7550±250 K, yüzey çekim ivmeleri, log g_A = 4.05±0.01, log g_B = 3.254±0.006, log g_C = 4.18±0.16 ve öngörülen dönme hızları ise $v\sin i_A$ = 50.8±0.8 km s^{-1}, $v\sin i_B$ = 62±2 km s^{-1}, $v\sin i_C$ = 12.4±0.6 km s^{-1} olarak belirlendi. Çalışmalarının Algol'un ilk sistematik eşel tayfsal araştırması olduğu, Algol B için dönme hızının ilk kez bu çalışmada ölçüldüğü ve bu dönme hızının yörünge hareketiyle senkronize olduğu vurgulandı. Mikrotürbülans hızları, Algol A için ξ_A=0.4±0.2 ve Algol C için ξ_C=1.68±0.06 olarak bulundu. Algol A'nın geç B tayf türünden bir bileşen, Algol B'nin ise erken K türü manyetik bir altdev olup güçlü bir radyo ve X-ışın kaynağı olduğu belirtildi. Algol A için 13, Algol C için ise 20 elementin bolluğu bulundu (C, N, O, Mg, Si, P, S, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Na, Sc,

V, Co, Cu, Y, Zr, Ba, La, Ce, Nd). Ortalama metal bolluklarının $[M/H]_A = -0.03 \pm 0.08$ ve $[M/H]_C = 0.04 \pm 0.09$ olduğu ifade edildi. Güneş'e göre Algol A'nın karbonca noksan, azotça biraz fazla olmasıyla birlikte bu iki elementin bolluk oranlarının Güneş'inkinin yarısı kadar ($[C/N]_A=2.0\pm0.4$, $[C/N]_\odot = 4.0\pm0.7$) olduğu görüldü. Önceden Am olarak sınıflandırılan Algol C, Gebran vd. (2010) makalesinde türetilen normal Am yıldızının bolluk desenleriyle karşılaştırıldı. Algol C bileşeninin bolluk oranlarının Am yıldızlarının belirgin özelliklerini (Sc ve Ca elemenetlerinde bolluk azlığı, Fe grubu elementlerinde ise bolluk fazlalığı) göstermediği bulundu. Kütle aktarımının atmosferdeki karbon tükenmesini açıkladığı ve C ile N bollukları arasındaki oranın, CNO nükleosentezinin ve yıldız içindeki kütle transferi sırasındaki karışım süreçlerinin bir göstergesi olduğu yorumu yapıldı.

Torres vd. (2015), 7.02 günlük döneme sahip ayrık örten çift V501 Mon'un (A6m+F0) mutlak parametrelerinin hassas şekilde belirlenmesi için 3800-9100 Å aralığında, çözünürlüğü R≈40000 olan tayfsal verileri ve sistemin Johnson V filtresindeki diferansiyel fotometrik kadirlerini kullanarak inceledi. V501 Mon yıldızının kimyasal bolluk analizi için tayfsal ayrıştırma yöntemi kullanıldı. Bu yöntem için ihtiyaç duyulan yıldızların akı oranları sadece V filtresi ışık eğrisindeki akı oranlarından elde edildi. Diğer dalgaboylarındaki akı oranlarının tahmini için kuramsal tayflar kullanıldı. Dikine hız ölçümlerinden tayfsal yörünge çözümü, diferansiyel fotometriden de ışık eğrisi çözümü yapıldı. Kütle, yarıçap, yüzey çekim ivmesi, etkin sıcaklıklar ve mikrotürbülans hızları baş bileşen için $M_A = 1.6455 \pm 0.0043\ M_\odot$, $R_A=1.888\pm0.029\ R_\odot$, $\log g_A=4.103\pm0.013$, $T_{e,A} = 7510 \pm 100$ K, $\xi_A = 3.1 \pm 0.1$, yoldaş bileşen için ise $M_B=1.4588\pm0.0025\ M_\odot$, $R_B = 1.592 \pm 0.028\ R_\odot$, $\log g_B = 4.199 \pm 0.016$, $T_{e,B} = 7000 \pm 90$ K ve $\xi_B = 1.3 \pm 0.1$ olarak elde edildi. Na, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Y, Ba element bolluklarının en güvenilir log *gf* değeri kullanılarak tespit edildiği belirtildi. Baş bileşende Ca ve Sc elementlerindeki bolluk azlığının ($[Ca/H]=-0.49\pm0.09$, $[Sc/H]=-0.63\pm0.09$), Ba elementinin aşırı bolluğunun ($[Ba/H]=1.76\pm0.14$) ve Fe grubu elementlerinde bolluk fazlalığının ($[Fe/H]=0.30\pm0.09$) tipik Am türü yıldız doğasını yansıttığı belirlendi. Li elementi sadece yoldaş bileşende tespit edildi. Yoldaş bileşenin tüm element bolluklarının ise yaklaşık Güneş bolluğunda olduğu görülmektedir.

Alecian vd. (2016), dalgaboyu aralığı 3700-10480 Å ve çözünürlüğü R≈65000 olan tayfçeker kullanarak orta kütleli çift çizgili tayfsal çift sistem HD 5550'nin manyetik alanını inceledi. Ayrıştırılmış tayflar, 4150-5700 Å dalgaboyu aralığında olup bu aralıkta bulunan H_β çizgisi işlemlere dahil edilmemiştir. Bu çizginin profilin kırmızı kanadında bulunan belirgin yıldızlararası bant içermesi, gözlenen tayfın mavi kısmına doğru gidildikçe normalizasyonundaki belirsizliğin artması ve tayfın kırmızı tarafında ise tellürik çizgilerin katkısı bu kısımların dikkate alınmamasının sebebi olarak gösterildi. Öncelikle sistemin etkin sıcaklıkları, mikrotürbülans hızları, element bollukları ve ışık oranı kuramsal tayf kullanılarak gözle tahmin edildi ve daha kesin parametreler elde etmek için bir yarı-otomatik tayf sentezi yöntemi uygulandı. Bileşenleri temsil eden kuramsal tayflar da mutlak akılar kullanılarak hesaplandı, uygun dikine hızlara kaydırıldı ve belirtilen yarıçap oranının karesiyle ağırlıklandırılarak toplandı. Daha sonra kuramsal tayflar temsil ettikleri bileşenlerin yarıçap oranının karesiyle ağırlıklandırıldı ve yeniden normalize edildi. Bileşenlerin yarıçap oranları $R_A/R_B = 1.24^{+0.04}_{-0.23}$, etkin sıcaklıkları $T_{\rm e,A}$ = 11400 ± 300 K, $T_{\rm e,B} = 7800^{+170}_{-80}$ K, yüzey çekim ivmeleri log $g_{\rm A,B}$ = 4.0, 4.5, dönme hızları $v\sin i_{\rm A} = 4.7^{+1.3}_{-2.8}$ km s^{-1}, $v\sin i_{\rm B} = 3.2^{+0.3}_{-1.9}$ km s^{-1} ve mikrotürbülans hızları ise $\xi_{\rm A}$ = 0.0 km s^{-1}, $\xi_{\rm B} = 3.2^{+0.3}_{-1.9}$ km s^{-1} olarak belirlendi. Baş bileşenin tayfında Fe komşuluğundaki elementlerin (Cr hariç) Güneş'e göre biraz fazla olmasının (örn., log $N_{\rm Fe}/N_{\rm H}$ = –4.36), Cr ve nadir toprak elementlerinin aşırı bolluğunun (örn., log $N_{\rm Cr}/N_{\rm H}$ = –5.72, log $N_{\rm Nd}/N_{\rm H}$ = –8.01) tipik Ap tuhaflığı özelliği olduğu, yoldaş bileşendeki Fe komşuluğundaki elementlerin aşırı bolluğunun (log $N_{\rm Fe}/N_{\rm H}$ = –4.513, log $N_{\rm Ti}/N_{\rm H}$ = –6.83, log $N_{\rm Cr}/N_{\rm H}$ = –5.96), Ba elementinin belirgin aşırı bolluğunun (log $N_{\rm Ba}/N_{\rm H}$ = –8.84) ve Ca'da bolluk azlığının (log $N_{\rm Ca}/N_{\rm H}$ = –5.996) tipik Am doğası olduğu belirtildi. Çalışmada, gözlemlerin hiçbirinde yoldaş bileşende bir manyetik alan tespit edilmediği ve eğer Am yıldızının yüzeyinde iki kutuplu bir alan mevcutsa, kutupsal gücünün 40 G'nin altında olması gerektiği vurgulandı. Bu durum, güçlü manyetik alanların (>300 G) yalnızca Ap/Bp yıldızlarında mevcut olduğu ve Am yıldızlarının manyetik alanlarının olmadığı veya çok zayıf olduğu görüşüyle (örn., Shorlin vd. 2002, Blazère vd. 2015) uyuşmaktadır. Yıldız oluşum süreçlerinde çift sistemlerin zayıf manyetik alanın bulunduğu bulutlarda oluşurken sadece tek yıldızların güçlü manyetik alanın bulunduğu bulutlarda (yıldız oluşum bölgelerinde) oluşabileceğine; ancak, yakın çift sistemlerde yalnızca zayıf manyetik alanların

bulunması yorumundan emin olmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğuna dikkat çekti.

Kılıçoğlu ve Monier (2018), HR342, HR769, HR1284 ve HR8705 olmak üzere dört geç B tayf türünden yıldızın temel parametrelerini ve kimyasal bolluklarını belirlemek için 4380-7350 Å dalgaboyu aralığını kapsayan orta çözünürlüklü ($R \cong 14000$) tayflarını Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi'nde (AUKR) 40 cm çaplı teleskopta yer alan Shelyak eShel tayfçekerini kullanarak elde etti. Atmosfer parametrelerini Flower (1996) kalibrasyonlarını kullanarak, H_β çizgilerini modelleyerek ve teorik log g-T_e diyagramlarından tahmin etti. Tayf sentezi/kompozit tayf yöntemini kullanarak elementlerinin kimyasal bolluğunu elde etti. ATLAS12 (Kurucz 2005) model atmosferleri ve kuramsal tayfları oluşturmak için de SYNSPEC49/SYNPLOT programlarını (Hubeny & Lanz 1995) kullandı. Çizgi listelerini VALD ve NIST atomik veri tabanlarından güncelledi. Dört parlak yıldızın etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, kütle ve yaş parametrelerini elde etti ve belirsizliklerin ±0.10 ile ±0.25 aralığında olduğunu rapor etti. Analizler sırasında HR 1284 yıldızının tayfında yoldaş bileşen çizgisinin gözlenebildiğini dolayısıyla yeni bir SB2 yıldızı olabileceğini belirtti. Bu tez çalşımasında da kullanılan kompozit kuramsal tayfların her iki bileşen için de gözlemsel tayfla karşılaştırılmasını sağlayan çift yıldızların kompozit tayflarını modelleyebilmek için geliştirilen grafik arayüzü (SYNPLOTBIN) ilk kez burada test edilmiştir. HR 8705 ve HR 1284 yıldızlarının baş bileşenlerinin O, Mg, Al, Si ve Fe elementlerinde hafif bolluk fazlalığı olması dışında diğer yıldızların kimyasal bolluklarının Güneş bolluğundan çok sapmadığı belirlendi.

Kochukhov vd. (2018), örten ve çift çizgili tayfsal çift olan HD 66051 yıldızını inceledi. Erken tür manyetik yıldızların yakın çift yıldızların içinde çok nadir bulunduğunu ve önce bu cisme benzer bir örten çiftin olmadığını belirtti. 3700-10480 Å dalgaboyu aralığında, S/G 250 olan ve yüksek çözünürlüklü ($R \approx 65000$) tayfsal gözlemler kullanarak baş bileşende zayıf bir manyetik alanın olduğunu keşfetti. Çalışmada, bileşenlerin başlıca kütle ve yarıçaplarını (3.16 ve 1.75 $M_\odot$, 2.78 ve 1.39 $R_\odot$) % 1-3 hassasiyetle belirlemek için dikine hız ölçümleriyle fotometrik verileri birleştirildi. Ayrıca tahmini etkin sıcaklıklar baş bileşen için 13000 K, yoldaş bileşen için 9000 K

olarak elde edildi. Her iki bileşen için de ayrıştırılmış tayfların yardımıyla kimyasal bolluklar belirlendi. Baş bileşen daha önceki çalışmalarda HgMn olarak bulunduğu için bu çalışmada da yıldızın HgMn olup olmadığı denetlendi. Xe, Ga, Mn, Au, Pt, Hg gibi elementlerin aşırı bolluklarının HgMn yıldızlarının tipik özelliği olduğu fakat HD 66051'in baş bileşeninin son çalışmalarda önerildiği gibi bir HgMn yıldızı olmadığı, homojen olmayan yüzey bolluk dağılımına sahip tipik geç-B türünden manyetik bir kimyasal tuhaf yıldız olduğu kanıtlandı. Yoldaş bileşenin ise güçlü manyetik alana sahip olmayan bir Am yıldızı olduğu bulundu. Hafif elementlerin Güneş bolluğuna yakın olduğu ([O/H]=0.25, [Ca/H]=0.0, [Si/H]=0.3, [Mg/H]=0.3) tespit edilirken, C ve Sc elementlerindeki bolluk azlığının ([C/H]≤−0.5, [Sc/H]=−0.6), Fe komşuluğundaki elementlerde ve ağır elementlerdeki aşırı bolluk fazlalığının ([Ti/H]=1.0, [Cr/H]=1.2, [Fe/H]=0.9, [Y/H]=1.6, [Sr/H]=1.7, [Ba/H]=2.7) küresel manyetik alan eksikliğinin ve çizgi profili değişkenliğinin bir belirtisi olduğu kadar Am yıldızlarının da tipik özelliğiklerini olduğu belirtildi.

Pavloski vd. (2018), 10 $M_{\odot}$'den daha büyük kütleli bileşenlere sahip erken B tayf türünden dört örten çift sistemin (V478 Cyg, AH Cep, V453 Cyg, V578 Mon) fiziksel parametleri literatürdeki Strömgren *uvby* ve Johnson *UBV* fotometrik verilerinden elde edilen ışık eğrilerinin çözümleriyle belirledi. V478 Cyg, AH Cep ve V453 Cyg çift sistemlerinin tayflarını 3440-9700 Å dalgaboyları aralığında, çözünürlüğü R≈40000, S/G ~70-300 olan eşel tayflar kullanılarak tayfsal ayrıştırma yöntemiyle analiz etti. Çalışmada, arşivdeki ışık eğrileri tekrar analiz edilerek kütle ve yarıçap % 1.5-2.5, 1.0-1.9 hassasiyetle ölçüldü. Bu yıldızların bileşenleri için elde edilen kütle, yarıçap, etkin sıcaklık, dönme hızı ve mikrotürbülans değerleri; V478 Cyg A için, $M_{\rm A}$=15.40±0.38 $M_{\odot}$, $R_{\rm A}$=7.26±0.09 $R_{\odot}$, log $g_{\rm A}$=3.904±0.009, $T_{\rm e,A}$ = 32100±550 K, $v\sin i_{\rm A}$ = 129.1±3.6 km s^{-1} ve $\xi_{\rm A}$=5±1 km s^{-1} olarak belirlendi. A ve B bileşenlerinin parametrelerinin ikiz yıldız olacak kadar yakın olduğu vurgulandı. AH Cep A için, $M_{\rm A}$=16.14±0.26 $M_{\odot}$, $R_{\rm A}$=6.51±0.10 $R_{\odot}$, log $g_{\rm A}$= 4.019±0.012, $T_{\rm e,A}$ = 30700±550 K, $v\sin i_{\rm A}$ = 172.1±2.1 km s^{-1} ve $\xi_{\rm A}$ = 6±1 km s^{-1}, AH Cep B için ise, M_B = 13.69±0.21 $M_{\odot}$, R_B=5.64±0.11 $R_{\odot}$, log g_B=4.073±0.018, $T_{\rm e,B}$ = 28800±630 K, $v\sin i_B$ = 160.6±2.3 km s^{-1} ve $\xi_{\rm B}$ = 3±1 km s^{-1} parametreleri elde edildi. V453 Cyg A için, $M_{\rm A}$=13.90±0.23 $M_{\odot}$, $R_{\rm A}$=8.62±0.09 $R_{\odot}$, log $g_{\rm A}$ = 3.710±0.009 (cgs), $T_{\rm e,A}$ = 28800±500 K, $v\sin i_{\rm A}$=107.2±2.8 km s^{-1} ve $\xi_{\rm A}$ = 14±1 km

s^{-1}, V453 Cyg B için ise, M_B = 11.06±0.18 $M_\odot$, R_B = 5.45±0.08 $R_\odot$, log g_B = 4.010±0.012 (cgs), $T_{e,B}$ = 27700±600 K, $v\sin i_B$ = 98.3±3.7 km s^{-1} ve ξ_B = 3±1 km s^{-1} olarak elde edildi. Son olarak V578 Mon A için, M_A=14.54±0.08 $M_\odot$, R_A=5.41±0.04 $R_\odot$, log g_A = 4.133±0.018 (cgs), $T_{e,A}$ = 30000±500 K, $v\sin i_A$=123±5 km s^{-1} ve ξ_A = 4±1 km s^{-1}, V578 Mon B için ise, M_B = 10.29±0.06 $M_\odot$, R_B = 4.29±0.05 $R_\odot$, log g_B = 4.185±0.021 (cgs), $T_{e,B}$ = 25750±435 K, $v\sin i_B$ = 99±3 km s^{-1} ve ξ_B = 2±1 km s^{-1} olarak belirlendi. Bu parametrelere ilave olarak, ayrıntılı tayfsal analizle C, N, O, Mg ve Si bollukları tespit edildi. CNO bolluk oranları için ortalama değerler log(N/C)=−0.56±0.06 ve log(N/O)=−1.01±0.06 olarak bulundu. Burada analiz edilen büyük kütleli yıldızlarda ve geniş literatür sonuçlarını içeren bir örnekte tek OB yıldızlarının CNO bolluklarında bir eğilim bulunmadığı rapor edildi.

2.2 Mizar A (HD 116656)

Bugüne kadar birbirlerine bağlı altılı sistem (İng., sextuple) olarak bilinen Mizar (ζ Uma) ve Alkor (80 Uma) yıldızları astronomide en meşhur optik çift olma konusunda saygın bir yere sahiptir (Hamers ve Portegies Zwart 2016). Büyük Ayı takımyıldızının sapının ortasında yer alan Mizar ve Alkor 11′.8 ile ayrılmıştır. Pek çok kültürde bu çiftin çıplak gözle ayrı ayrı görülebilmesi görme testinde kullanılmasıyla ünlüdür (Allen 1899). Mizar'ın bir çift olarak keşfi sıklıkla 1650 yılı civarında Giovanni Battista Riccioli'ye atfedilir ancak Benedetto Castelli Galileo'ya 7 Ocak 1617 tarihinde yazdığı bir mektupta yıldızı çözümlendiğini bildirip ölçümlerini kaydetmiştir (Ondra 2004; Siebert 2005). Böylece, Mizar A, B ve Alkor, 27 Nisan 1857'de (Bond 1857) fotoğraflanan ilk çözülen çoklu yıldız sistemi oldu. Antonia Maury, Harvard College Gözlemevi'ndeki Henry Draper Memorial projesi üzerinde çalışırken Mizar A'yı ilk tayfsal çift olarak belirledi (Pickering 1890 tarafından rapor edilmektedir). Daha sonra Mizar B'nin, iki farklı çalışma tarafından tek çizgili tayfsal çift olduğu rapor edildi (Ludendorff 1908). Mizar A aynı zamanda optik interferometre kullanılarak çözülen ilk çift yıldızlardan biridir (Pease 1925).

Alkor'un ise Mamajek vd. (2010) ve Zimmerman vd. (2010) tarafından bir çift sistem olduğu bulunmuştur. Mizar'ın kütleçekimsel olarak Alkor'a muhtemelen bağlı olduğu

yine bu iki yayında tespit edilmiştir. Keşfedilen ilk tayfsal çift olan Mizar A (ζ^1 Ursae Majoris, HD 116656, HR 5054), çift çizgilidir (SB II; Pickering 1890). Tayfsal çift Mizar B'den yaklaşık 14″.4 ile ayrılmış bu yıldızla birlikte görsel çift olarak görülen Mizar dörtlü bir sistem oluşturur.

İlk olarak dikine hız eğrisi yöntemiyle Vogel (1901), Mizar için dönemi P = 20.6 gün, dış merkezliliği e = 0.502 ve $a\sin i$ = 35 milyon km olarak belirledi. Daha sonra Jordan (1916) aynı yöntemle P = 20.55 gün, e = 0.502 değerlerini elde ederken Fehrenbach ve Prevot (1961) ise P = 20.53860 gün, e = 0.537 ± 0.004, $a_1 \sin i = 16.5\times10^6$ km, $a_2 \sin i = 16.2\times10^6$ km, $M_1 \sin^3 i$ = 1.67 $M_\odot$, $M_2 \sin^3 i$ = 1.64 $M_\odot$ değerlerini belirledi.

Slettebak (1963), yıldızların tayflarını dönme hızları bilinen standart yıldızlarla kıyaslayarak görsel olarak tahmin etti ve Mizar A'nın bileşenlerinin dönme hızlarının <25 km s^{-1} ve ≤25 km s^{-1}, Mizar B'nin için ise 50 km s^{-1} olduğunu buldu.

Conti (1965), tayflardan görsel çıkarımlarla 29 yıldızdan Mizar A ile birlikte 9 yıldızda daha Sr/Sc değerinin birden küçük olduğunu rapor etti. Beş yıldızda bu oran birin çok altında olduğundan bu yıldızların Am türünün özelliklerin taşıdığını belirtti. Model atmosferler kullanılarak ayrıntılı bir analizin henüz yapılmadığını rapor etti.

Eggen (1965), Hyades, Pleiades ve Güneş-Sirius grupları için kütle-ışıtma gücü ve renk (B-V) mutlak parlaklık grafikleri üzerinde Mizar A'nın yerini tespit ederek evrim yolları ve kütle-ışıtma gücü bağıntısı aracılığıyla yıldızın kütlesini 2.45 $M_\odot$ olarak belirledi. Garcia (1968), büyüme eğrisi yöntemini kullanarak Mizar yıldızı için Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, La elementlerinin bolluklarını belirledi. Ancak yayında hangi bileşene ait olduğu belirtilmemektedir.

Fracassini ve Pasinetti (1968), spektrofotometrik yöntemlerle Mizar A'nın etkin sıcaklığını 8710 K olarak buldu.

Geary (1970), 2.13 metrelik bir teleskop kullanarak elde ettiği A/F tayf türünden yıldızların tayflarından Mg II 4481 ve Fe I 4071 çizgilerinin yarı genişlikleriyle

yıldızların dönme hızları arasında bir ilişkinin olduğunu ortaya koydu ve bu yöntemle Mizar A yıldızının her iki bileşeninin dönme hızını $v\sin i$ = 45 km s^{-1} olarak belirledi. Levato (1975), Cerro-Tololo Inter-American Gözlemevi'ndeki 91 ve 152 cm çaplı teleskopları ve Schmidt türü Cassegrain tayfçekeri ve Geary (1970)'ye benzer bir yöntemi kullanarak dönme hızlarını Mizar A'nın birinci bileşeni için 25 km s^{-1} ve ikinci bileşeni için 50 km s^{-1} olarak elde etti. Beckers (1981), diferansiyel speckle interferometri yöntemini kullanarak yakın tayfsal çift yıldızlarda 20 miliyaysaniyesine kadar açısal çözünürlük sağladığı çalışmasında tayf çizgilerindeki Doppler genişlemelerinden Mizar A için $v\sin i$ = 45 km s^{-1} değerini belirledi.

Hobbs (1985), program yıldızlarının başlangıç sıcaklıklarını belirlemek için The Bright Star Catalogue'dan (Hoffleit 1982) aldığı Johnson *B-V* değerlerini kullandı. S/G $\geq$ 100 olan tayflar McDonald Gözlemevi'ndeki 2.7 metrelik teleskobun coude tayfçekeriyle alındı ve 6703.57 ile 6705.12 Å daki Fe I, 6707.8 Å daki Li I ve 6717.69 Å daki Ca I çizgileri olmak üzere dört farklı çizgi profiline bir kuramsal tayf profili fit etti. Mizar A için etkin sıcaklık değeri 5800 K olarak belirlense de bileşenlerinin birbirlerinden ne kadar farklı olduğu bilinmediği için etkin sıcaklığın bu değerin 250 K üstünde bir değer de olabileceğini belirtildi. Yayında incelenen 5 yıldız için de log g = 4.44 ve ξ=1 km s^{-1} alındı.

Abt ve Morrell (1995), S/G 100-200 olan kuzey yarım küredeki 1700 A tayf türünden yıldızların coude tayflarından dönme hızlarını ve Bright Star Kataloğu'ndaki 2000 yıldızın geniş cassegrain tayflarına dayanan yeni MK sınıflamalarını yaptı. Çalışmada 4481 Å daki Mg II ve geç A tayf türleri için 4476 Å daki Fe I çizgilerine Gaussian profiller fit edilerek eşdeğer genişlikler ölçüldü ve dönme hızları belirlendi. Mizar A için tayf türü A1 IVs ve $v\sin i$ = 25 km s^{-1} olarak belirlendi.

Hummel vd. (1998), Navy Prototype Optical Interferometer (NPOI) ile elde ettiği gözlemlerle değişen yıldız olmayan, ayrık ve etkileşmeyen Mizar A ve Matar yıldızlarının yörünge parametrelerini belirledi. Ayrıca bu yıldızların literatürde yayınlanmış dikine hızlarını ve Hipparcos trigonometrik paralakslarını kullanarak kütle ve ışıtma güçlerini elde etti. Mizar A için sadece NPOI verilerinden yeni bir yörünge

hesapladı ve çift sistemin doğrudan kütlesini elde etmek için bu yörünge parametrelerini önceden gözlenmiş dikine hız verileriyle birleştirdi. Çalışmada fiziksel parametlerin ve yörünge elemanlarının doğrudan çözümü için interferometrik, tayfsal ve astrometrik veriler birlikte kullanıldı. Mizar A'nın A2V tayf türüne karşılık gelen etkin sıcaklık değeri Flower (1996) kalibrasyonlarından belirlendi. Mizar A'nın birinci ve ikinci bileşeni için sırasıyla kütleler $M_1 = 2.43 \pm 0.07$ $M_\odot$ ve $M_2 = 2.5 \pm 0.07$ $M_\odot$, sistemin periyodu P = 20.53835 ± 0.00005 gün, yörünge eğim açısı i = 60°.5 ± 0.3, dış merkezliliği e = 0.5354 ± 0.0025 ve uzaklığı d = 25.4 ± 0.3 pc şeklinde hesaplandı. Iki bileşen için de etkin sıcaklık T_e = 9000±200 K ve yarıçap 2.4±0.1 $R_\odot$ olarak bulundu.

Sokolov (1998), kimyasal tuhaf yıldızların etkin sıcaklıklarının belirlenmesi için etkin sıcaklığı iyi bilinen normal anakol yıldızları ve benzer etkin sıcaklığa sahip kimyasal tuhaf yıldızların Balmer düşmesi bölgesindeki Balmer sürekliliği enerji dağılımının şiddetlerinin aynı olmasına dayanan bir yöntem uyguladı. Elde ettiği sonuçların Geneva fotometrisi (B2-G) renk ölçeğinden ve literatürden bulunan etkin sıcaklıklarla uyum içinde olduğunu belirledi. Mizar yıldızı için T_e = 8760 ± 260 K olarak elde etti.

Gray vd. (2003), 1150-3200 Å dalgaboyu aralığındaki IUE (İng., International Ultraviolet Explorer) tayflarını ve 3800-5600 Å dalgaboyu aralığındaki Dark Sky Observatory (DSO) tayflarını kullandı. Etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve metalisite temel parametrelerini belirlemek için kuramsal tayfları gözlemsel tayflara fit etti ve minimum χ^2 istatistiğiyle kuramsal tayfın gözlemsel tayftan olan farklarını elde etti. Model atmosferler için ATLAS9, kuramsal tayflar için ise tayf sentezi programı SPECTRUM'u kullandı. Mizar sistemi için T_e = 9330 K, log g = 3.88, ξ = 2.0 km s^{-1} ve [M/H] = 0.16 olarak belirlendi.

Budovicová vd. (2004), Ondrejov Gözlemevi'ndeki 2 metrelik teleskopta yeralan 6300-6700 Å dalgaboyu aralığındaki coude tayfçekeriyle alınan tayfları kullandı. Fourier tayfsal ayrıştırma yöntemini KOREL kodu (Hadrava 1995) ile α Dra ve Mizar A yıldızlarına uyguladı ve yörünge parametrelerini yeniden belirledi. Mizar A için P = 20.53835 ± 0.00001 gün, e = 0.542 ± 0.004, M_2/M_1 (q) = 1.051 ± 0.006 olarak buldu ve sonuçlarının Hummel vd. (1998) ile neredeyse birebir aynı elde edildiğini vurguladı.

Glagolevskij vd. (2004), Mizar A bileşenlerinin manyetik alanlarını ve kimyasal bolluklarını analiz etmek için 4400-4640 Å dalgaboyu aralığındaki 1000'den büyük S/G oranına sahip 6 metrelik teleskopta yer alan Main Stellar tayfçekeriyle alınan tayflarını kullandı. Ölçümler için bu aralıkta blend olmamış 15 çizgi seçti. Çalışmada, Mizar A'nın her iki bileşeni için de manyetik alan kuvvetinin 20-30 G'yi geçmediği belirlendi. Bu nedenle, aslında bu sistemin tespit edilebilir bir manyetik alanı olmadığı kabul edildi. Ayrıca kuramsal tayf yöntemi kullanılarak Fe çizgilerinden belirlenen dönme hızları birinci bileşen için 31.7 km s^{-1}, ikinci bileşen için ise 37 km s^{-1} olarak tahmin edildi. Model atmosfer T_e = 9200 K, log g = 4 parametleriyle hesaplandı. Çizgi listesi VALD veritabanından (Ryabchikova vd. 1999) alındı. Mikrotürbülans hızı 2.5 km s^{-1} olarak belirlendi. İki bileşenin de kimyasal element bolluklarının neredeyse aynı miktarda olduğu ifade edilerek, [Mg/H]=0.16, [Si/H]=0.14, [Ca/H]= − 0.22, [Sc/H]= − 1.06, [Ti/H]=0.25, [Cr/H]=0.17, [Fe/H]=0.19, [Ni/H]=0.29, [Zr/H]=0.64, [Ba/H]=1.06 olarak belirlendi. Ca ve Sc elementlerinde bolluk azlığı, Fe elementinde bollukta bir miktar fazlalık ve Zr ve Ba elementlerinde aşırı bolluk fazlalığı olması sonucu yıldızların metalik çizgili (Am) türden olduğu rapor edildi.

Takeda vd. (2008), beş kadirden parlak, kütleleri 1.5-3 $M_\odot$ arasında 46 adet A tayf türünden alan yıldızının (Am yıldızları da dahil) 3700-10000 Å dalgaboyu aralığındaki, 300<S/G<500 olan ve 45000 çözünürlüğe sahip BOES (Bohyunsan Observatory Echelle Spectrograph) tayfçekeriyle elde edilen eşel tayflarını kullandı. Çalışmada analizler için 6140-6170 Å (O, Si, Ca, Fe ve Ba), 5375-5390 Å (C, Ti ve Fe) ve 7765-7785 Å (O ve Fe) olmak üzere üç farklı dalgaboyu bölgesine odaklanıldı. T_e ve log g parametreleri Strömgren *uvbyβ* fotometrik sistemini temel alan uvbybetanew programıyla (Napiwotzki vd. 1993) güncellenmiş versiyonu UVBYBETA (Moon 1985) ve TEFFLOGG koduyla Kurucz (1993b)'un ATLAS9 tabanlı modelle belirlendi. Mikrotürbülans ise sıcaklığın bir fonksiyonu olarak analitik bir bağıntı şeklinde ξ=4.0 exp{−[log(T_{eff}/8000)/A]^2} ve A ≡[log(10000/8000)]/$\sqrt{ln2}$ olarak ifade edildi. Mizar A'nın tayf türü A2V, T_e = 9317 K, log g = 4.1, ξ = 2.9 km s^{-1}, $v$sin$i$ = 62 km s^{-1} ve kimyasal bolluklar 6150 Å tayf bölgesi için [O/H]= − 0.48, [Si/H]= − 0.13, [Ca/H]=−0.14, [Fe/H]=−0.26, [Ba/H]=0.73, 5380 Å tayf bölgesi için [C/H]=−0.96, [Ti/H]=0.2, [Fe/H]=0.1 olarak belirlendi.

Zorec vd. (2009), erken tür süperdev yıldızların fotosferdeki iyonizasyon dengesi ve gaz basıncına karşı oldukça hassas, yıldızlararası sönümlemeden ve yıldız atmosfer modellerinden olabildiğince bağımsız olabilecek yeni bir kalibrasyon elde etmek için BCD (Barbier-Chalonge-Divan) spektrofotometrik yöntemini kullandı. Yöntem Balmer süreksizliği etrafındaki süreklilikten ölçülebilen dört niceliğe dayanan bir sınıflandırma sistemi olarak tanıtılmıştır. 217 yıldız için toplam yayılan enerji miktarından bolometrik-akı yöntemiyle (İng., The bolometric-flux method, BFM) türetilen etkin sıcaklıklar kullanılarak BCD yöntemindeki parametrelerin etkin sıcaklığa kalibrasyonu yapıldı. Mizar A yıldızı için ışınım sınıfı A1V, $E(B-V)$=0.033, BFM ile hesaplanan Te=9340±300 K, BCD kalibrasyonuyla elde edilen Te = 9980 K olarak hesaplandı.

Behr vd. (2011), Steward Gözlemevi'ndeki (Kitt Peak) 2.3 metrelik teleskopla altı tane çift çizgili tayfsal çift yıldızın (ι Pegasi, ω Draconis, 12 Boötis, V1143 Cygni, β Aurigae ve Mizar A) ve iki adet çift çizgili üçlü sistemin (κ Pegasi ve η Virginis) yörünge parametlerini interferometrik ve dağıtıcı elemanları birleştiren bir cihaz olan dFTS (Dispersed Fourier Transform Spectrograph) ile yapılan yüksek hassasiyete sahip dikine hız gözlemleriyle elde etti. Mizar A'nın yörünge parametrelerini ve bileşenlerinin kütle tahminlerini e = 0.5415 ± 0.0010, M_1 = 2.2224 ± 0.0221 $M_\odot$, M_2 = 2.2381 ± 0.0219 $M_\odot$ olarak belirledi ve dönemi Pourbaix (2000)'den aldığı P = 20.5385 ± 0.00013514 olarak kabul etti.

Ducati vd. (2011), tayfsal çift yıldızların başlangıç kütle fonksiyonlarını test etmek için SB9'dan (Ninth Catalogue of Spectroscopic Binaries) seçilen periyodu dört günden uzun, yedi kadirden parlak olan, baş bileşenleri anakolda bulunan ve kütle transferi yapmayan 249 sistem seçti. Gözlemsel parametrelerin Monte Carlo simulasyonlarını yaptı. Ayrıca, Kepler'in 3. yasasından türetilen f(m) kütle fonksiyonunun dikine hız, dönem ve sistemin dış merkezliliği kullanılarak bulunabildiğini gösteren bir ifade kullandı ve sadece birinci bileşenin kütlesini bilerek sistemin kütle fonksiyonunu hesapladı. Mizar A'nın birinci bileşeninin tayf türünü A2V, kütlesini 2.49 $M_\odot$, parlaklığını $2^m.27$ olarak buldu. Sistemin dönemini 20.52850 gün, dışmerkezliğini 0.53, birinci bileşenin dikine hızını 67.26 km s^{-1}, kütle fonksiyonu f(m)=0.3957 (bizim kullandığımız değerlerle 0.42) olarak buldu.

Wu vd. (2011), 3460-9464 Å dalgaboyu aralığında, yaklaşık 3000-6000 arasında çözünürlüğe sahip ve toplamda 1271 tayf içeren CFLIB (Coudé-feed library, Indo-US, Valdes vd. 2004) arşivini kullandı. Eşel tayfçekelerle gözlenmiş 42000 çözünürlüğünde ve 3900-6800 Å dalgaboyu aralığında 1962 tayf içeren ELODIE (Prugniel ve Soubiran 2001) arşivini referans olarak kullanarak ULySS programı (University of Lyon Spectroscopic analysis Software, Koleva vd. 2009) ile atmosfer parametrelerini elde etti. ELODIE 3.2 versiyonu kullanılarak kütüphanenin tüm yıldızları üzerinde yıldızın dönmesinden kaynaklı profil genişmelemelerinin ve T_e - log g - [Fe/H] parametrelerini içeren bir fonksiyonla interpolasyon uygulandı. OBA, FGK ve M tipi sıcaklık aralıkları için üç farklı polinom seti tanımlandı ve sonuçlar önceki çalışmalarla karşılaştırıldı. Yayında Mizar A'nın atmosfer parametreleri T_e = 9135±139 K, $\log g = 3.89 \pm 0.07$, [Fe/H] = -0.03 ± 0.08 olarak belirlendi.

Schulze-Hartung vd. (2012), potansiyel ötegezegen ve çift yıldızların astrometrik ve dikine hız ölçümlerinin birleşik veya ayrı Bayesian analizini yapmak amacıyla Markov Chain Monte Carlo (MCMC) tabanlı BASE (Bayesian astrometric and spectroscopic exoplanet detection and characterisation tool) programını geliştirdi. Çalışmada, Mizar A yıldızının Haute Provence Gözlemevi'ndeki Coudé tayflarından elde edilen dikine hızları (Prevot 1961), Mount Wilson Gözlemevi'ndeki Mark III ve NPOI interferometreleriyle ilk yüksek hassasiyetli astrometrik/açısal konum ölçümleri yapılan (Hummel vd. 1998) verileri kullanıldı. Programın ürettiği değerlerden Mizar A'nın kütlesi baş bileşen için 2.455±0.07 $M_\odot$, yoldaş bileşen için 2.517±0.07 $M_\odot$, yarı-büyük eksen uzunluğu 0.25017±0.00205 AB, dönemi 20.538335±0.00005 gün, yörünge eğim açısı 60º.315±0.0052 ve dışmerkezliği 0.5295±0.0025 olarak elde edildi. Bu sonuçların önceki literatür değerleriyle uyumluluk gösterdiği belirtildi.

Bermejo vd. (2013), yıldızların etkin sıcaklıklarını ilk önce Temel Bileşen Analizi (PCA) yaparak daha sonra da sıcaklıkları iyi bilinen yıldızlarla kalibre ederek belirledi. Tayfsal veriler ELODIE (Prugniel ve Soubiran 2001) ve S^4N (Spectroscopic Survey of Stars in the Solar Neighbourhood, Allende Prieto vd. 2004) arşivlerinden alındı. 4449-4907 Å, 5237-6134 Å ve 6368-6790 Å aralıklarındaki 29 yıldızın tayfı analiz edildi. Mizar A çiftinin 41 tayfından belirlenen etkin sıcaklığı 7649±34 K olarak verildi.

Gebran vd. (2016), normal A ve Am yıldızlarının T_e, log g, [Fe/H], $v$sin$i$ parameterlerini bulmak için Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemini uyguladığı çalışmasında SOPHIE ve ELODIE veritabanından alınan verilerle Mizar A çifti için T_e = 9700 K, log g = 4 cm s^{-2}, $v$sin$i$ = 80 km s^{-1}, [Fe/H] = 0.2 ve dikine hızı -50.8 km s^{-1} parametrelerini elde etti. Yöntemin belirsizliklerinin 150 K, 0.35 dex, 0.15 dex ve 2 km s^{-1} mertebesinde olduğu rapor etti.

Draper vd. (2018), metalisite ve ötegezegen sistemleri arasındaki ilişkiyi değerlenmek için, A0-F3 türünden 83 anakol yıldızının bolluğunu Herschel gözlemleri (DEBRIS survey) kullanak birikim diski özellikleriyle karşılaştırdı. Yıldızları Ap/Am veya λ Boo olarak sınıflamak için Mg II 4481, O I 6158, C I 5052, C I 7113 çizgilerindeki elementlerin bolluklarını elde etti. Kuzey yarımküredeki yıldızlar McDonald Gözlemevi'nde 2.7 metrelik Harlan J. Smith teleskobuna bağlı 60000 çözünürlüğe sahip, dalgaboyu aralığı 3800-9000 olan Robert G. Tull Coude 2D çapraz dağılmış eşel tayfçekerle gözlendi. T_e ve log g değerlerini belirlemek için Balmer çizgi profillerine kuramsal modeller fit edildi ve model atmosfer olarak ATLAS9 programı kullanıldı. Mikrotürbülans Takeda vd. (2008) ve Gebran vd. (2015) yayınlarındaki verilerden yararlanılarak 1-4 km s^{-1} arasında alındı ve 8000 K sıcaklığı için 3 km s^{-1} olarak kabul edildi. Mizar A çift yıldızı için sıcaklık 8526 K, log g = 3.9 olarak elde edildi. Yalnızca oksijen elementi için [O/H]=−0.41±0.05 olarak bulundu.

Takeda vd. (2018), 71 yıldızın literatür verilerini ve 29 yıldızın Okayama Astrofizik Gözlemevi'nin (Okayama Astrophysical Observatory, OAO) HIDES (High Dispersion Echelle Spectrograph) tayfçekerinden alınan verilerini kullanarak çoğunluğu A tayf türünden, 70000 ≤ T_e ≤ 11000 K aralığındaki ve dönme hızı 0 km s^{-1}<$v$sin$i$<100 km s^{-1} olan normal yıldızların ve manyetik olmayan kimyasal tuhaf yıldızların tayflarına kuramsal tayflar fit ederek CNO bolluklarını belirledi. Bu 100 yıldızın T_e ve log g değerlerini Strömgren *uvbyβ* fotometrilerinden, mikrotürbülansı da Takeda vd. (2008)'de verilen bağıntıyla belirledi. Model atmosfer olarak ATLAS9 kullandı. Kuramsal tayf gözlemsel tayfa otomatik olarak fit edildi. Fe bolluğu için ayrıca 6146-6163 A çizgisi de kullanıldı. Mizar A çiftinin tayf türü A2V, T_e = 9317 K, log g = 4.10, ξ

= 2.9 km s^{-1}, $v\sin i$ = 62.1 km s^{-1}, [Fe/H] = +0.28, [C/H] = −0.96, [N/H] = −0.25 ve [O/H] = −0.47 olarak elde edildi.

2.3 47 And (HD 8374)

47 And yıldızını ilk olarak Plaskett ve Young (1919) çift çizgili tayfsal çift olarak rapor etti. Osawa (1959), 47 And tayfını sırasıyla Ca II K, Hidrojen ve metal çizgileri için A3, F2 ve F5 tayf türlerinde, Abt ve Morrell (1995) ise bu üç çizgi grubu için A1, F1 ve F2 olarak sınıflandırdı.

Jose (1951), McDonald ve Yerkes Gözlemevlerinde yapılan gözlemler sonucu 47 And için ilk yörünge çözümünü dikine hız eğrisi yöntemiyle elde etti. Yıldızın dönemini P = 39.393 gün, e = 0.6 olarak belirledi.

Jaschek C. ve Jaschek M. (1960), 26 metalik çizgili yıldızı Mt. Wilson Gözlemevi'ndeki 1.5 metrelik teleskopta yer alan grating tayfçekerle 3800-4700 A dalgaboyu aralığında inceledi. Önceden spektrofotometrik analizi yapılan 15 Vul yıldızı referans olarak seçildi. Yıldızlardaki çizgi şiddeti tahminlerini eşdeğer genişliklere göre çizdirerek her element ve iyonizasyon seviyesi için 15 Vul'un eğrileriyle karşılaştırıldı. Çizgi şiddeti-eşdeğer genişlik grafiğinde yıldızın 15 Vul yıldızından sıcak olması durumunda Fe II eğrisinin Fe I'inkinin üstünden geçtiğini, yıldızın soğuk olması durumunda ise Fe I'inkinin altından geçtiğini rapor etti. 47 And da dahil olmak üzere yıldızlardaki elementlerin standart yıldızdan olan sapmalarını hesapladı. Hem tüm analiz yıldızları için hem de 47 And için en belirgin sapmaların sırasıyla Ca I, Sc II ve Cr II de eksik, Ni I, Sr II ve Y II de ise fazla olduğunu tespit etti.

Walker (1966), 0.9 metrelik Yapp teleskobunda yer alan Cassegrain tayfçekeriyle 40 tane metalik çizgili A tayf türünden yıldızları inceledi. Tayf türlerini Ca II K ve hidrojenin Balmer çizgilerinin şiddetlerinden (47 And için A2V) belirledi. 47 And için 50±25 km s^{-1} olarak tahmin ettiği izdüşüm dönme hızlarını Slettebak (1949) çalışmasından yararlanarak elde etti. Ayrıca (B-V) değerlerinin tayf türlerinden olan farkını hesap ederek en çok farkın 47 And yıldızında olduğunu tespit etti (B-V) değerine

karşılık gelen tayf türü A9)ve büyüme eğrisi yöntemiyle tekrar incelenmesini önerdi.Babu ve Rautela (1978), Ap, Am ve normal A yıldızlarının etkin sıcaklıklarını, yarıçaplarını ve bolometrik parlaklıklarını, 4780-6800 Å dalgaboyu arasındaki tayfsal enerji dağılımına yapılan teorik eğrilerden hesapladı. Tüm Am yıldızlarında ve bir Ap yıldızında (*B*-*V*) renk ölçeklerinin her durumda çizgi örtmesinden (İng., line blanketing) etkilendiği rapor edildi. 47 And için yarıçap 2.3 $R_{\odot}$, sıcaklık ise 8400 K olarak elde edildi.

Beavers ve Eitter (1986), Fick Gözlemevi'ndeki fotoelektrik dikine hız tayfçekeriyle sekiz yılda gerçekleştirilmiş yaklaşık 16000 dikine hızın gözlemini raporladı. Mizar A ve 47 And için dörder çizgiden de farklı sonuçlar elde edildiği için bulunan dikine hızların güvenilir olmadığını belirtti.

Lanz ve Mathys (1993), 18 Am yıldızını Haute-Provence Gözlemevi'ndeki 1.52 metrelik teleskopta yer alan 75 Å luk bir dalgaboyu aralığını kapsayan (merkezi 6150 Å), R ≈ 60000 ve S/G ≅ 150 ye sahip AURELIE coude tayfçekeriyle gözledi. ATLAS (Kurucz 1986) model atmosferini kullanmak üzere parametre aralığını tanımlamak için Strömgren *uvby* fotometrisini (Hauck ve Mermilliod 1990) ve Moon ve Dworetsky (1985)'nin kalibrasyonlarını kullandı. Yıldızların Te ve log *g* parametrelerini yerel termodinamik denge (YTD) tayf senteziyle belirledi. 47 And için T_e = 7830 K, log *g* = 4.33 olarak buldu. Fe II çizgilerinden yıldızın dikine hızını 5.6 km s^{-1} ve tayf türünü A1-F3m olarak belirledi.

Drake vd. (1994), 23 Am/HgMn yıldızının radyo gözlemlerini VLA-NRAO (The Very Large Array, National Radio Astronomy Observatory) ile gerçekleştirdi. Çalışmada radyo ışınım gücünün etkin sıcaklık ve manyetik alan gücüne bağlı olduğunu gösteren Linsky vd. (1992)'nin elde ettiği bir ifadeden T_e hesaplandı. 47 And yıldızı için tayf türü F2m+F2m, uzaklık 51 pc ve etkin sıcaklık 7525 K olarak belirlendi. Çalışmada yıldızda manyetik alana rastlanmadığı belirtildi.

Abt ve Morrell (1995), 47 And için tayf türünü Am (A1/F1/F2) ve dönme hızını $v\sin i$ = 33 km s^{-1} olarak belirledi (çalışmanın ayrıntıları için bkz., Bölüm 2.2).

Masana vd. (2006), V band ve 2MASS (JHK) kızılöte fotometriye dayanan popülasyon I ve II FGK tipi yıldızlar için etkin sıcaklık, açısal yarıçap ve bolometrik düzeltme parametrelerini yıldızın tayfsal enerji dağılımına optikden kızılöte bölgeye kadar model atmosfer temelli kuramsal fotometriyle modelledi. Yöntemi Hipparcos kataloğundaki 10999 cüce örneğine uygulayarak, K bandı bolometrik düzeltme kalibrasyonlarının, sıcaklığın (V-K), [m/H] ve log *g*'nin bir fonksiyonu olarak tanımlanmasını sağladı. Ayrıca V ve K bantlarındaki bolometrik düzeltmeleri T_e, [m/H] ve log *g*'nin bir fonksiyonu olarak da verildi. 47 And için etkin sıcaklık 7370±76 K olarak belirlendi. Sonuçların literatürde verilen değerlerle uyumlu olduğu belirtildi.

Fekel vd. (2011), çift çizgili tayfsal çift olan üç sistemin yörünge parametrelerini ve dikine hızlarını hassas şekilde belirledi. 47 And için Fairborn, McDonald ve Kitt Peak Ulusal Gözlemevi'nden (KPNO) her iki bileşenin de görülebildiği orta/yüksek çözünürlüklü toplam 76 tayf elde edildi ve dikine hız eğrisi oluşturularak yörünge çözümü yapıldı. Yıldızın dönemi P = 35.36815±0.00015 gün, dış merkezliliği e = 0.64781±0.00090,
$m_1\sin^3 i$ = 0.4172±0.0020 $M_\odot$, $m_2\sin^3 i$ = 0.4043±0.0020 $M_\odot$, $a_1 \sin i$ (10^6 km) =14.530±0.032, $a_2 \sin i$ (10^6 km) = 14.993±0.031 olarak belirlendi. Daha önce Am olarak sınıflandırılan (Abt ve Morrell 1995) 47 And yıldızının tayfı 6400 ile 6430 Å sınırlı dalgaboyu aralığında çalışıldığı için bolluğu ve sıcaklığı hakkında bir bilgi elde edilemedi. Yıldızlar Hertzsprung-Russell (HR) diyagramına Güneş bolluklu evrim yollarıyla (Girardi vd. 2000) birlikte çizdirildi ve 47 And yıldızının birinci bileşenin kütlesi 1.65 $M_\odot$ olarak belirlendi. Böylece hassas şekilde bulunan $m_1\sin^3 i$ değerinden yola çıkılarak yörünge eğim açısı i=39° olarak hesaplandı. Buna ek olarak, $v\sin i$ iki bileşen için de 15±2 km s^{-1} olarak belirlendi.

Ducati vd. (2011), HD 8374 tayfsal çiftinin birinci bileşeni için tayf türünü F2m, kütleyi M_1=1.54 $M_\odot$, V parlaklığını $5^m.58$, sistemin dönemini P=35.37100, dışmerkezliğini e=0.63, birinci bileşenin dikine hızını v_r=39.00 km s^{-1} ve kütle fonksiyonunu f(m)=0.1020544 olarak belirledi (yayına ilişkin ayrıntıları için bkz., Bölüm 2.2).

McDonald vd. (2012), 107619 Hipparcos yıldızının sıcaklık ve ışıtma gücü parametlerini Hipparcos, Tycho, Sloan Digital Sky Survey, DENIS, Two Micron All Sky Survey, MSX, AKARI, IRAS ve Wide-field Infrared Survey Explorer verilerinden oluşturulan tayfsal enerji dağılımına yapılan teorik modellerle elde etti. 47 And yıldızının etkin sıcaklığını 7275 K, ışınım gücünü 17.99 $L_{\odot}$ ve uzaklığını ise paralaksı yardımıyla 63.860 pc olarak belirledi.

Gebran vd. (2016), 47 And için T_e = 7200 K, log g = 3.1 cm s^{-2}, $v$sin$i$ = 30 km s^{-1}, [Fe/H] = 0.1 ve dikine hızı 13.1 km s^{-1} olarak belirlendi ve sonuçların literatürle uyumlu olduğunu belirtti. Çalışmada kullanılan yönteme ilişkin ayrıntılar Bölüm 2.2'de sunulmaktadır.

2.4 HD 42083 (HR 2172)

Van't Veer-Menneret ve Coupry (1976), HD 42083 tayfsal çiftinin dikine hız eğrisini elde ederek P=106±1 gün, e=0.63, dikine hız 13.5±1 km s^{-1}, $M_1\sin^3 i$=1.55 $M_{\odot}$, $M_2\sin^3 i$=1.45 $M_{\odot}$, M_1/M_2=1.065, $a_1\sin i$=45.84×10^6 km, $a_2\sin i$ =49.05×10^6 km olarak belirledi. İki bileşen için de $v$sin$i$=30 km s^{-1} olarak rapor edildi. Kütle ışınım gücü (McClusky ve Kondo 1972) bağıntısını kullanarak L_2/L_1=0.78±0.08, R_2/R_1=0.97±0.015, $T_{e,2}/T_{e,1}$=0.96±0.02 şeklinde elde etti ve sin$i$=0.92 olarak tahmin etti. Yıldızın atmosferik parametrelerini belirmek için diferansiyel büyüme eğrisi yöntemini kullandı. Birinci ve ikinci bileşenin etkin sıcaklıklarını $T_{e,1}$=8250±0.02 K, $T_{e,2}$=8130±0.02 K olarak tespit etti ve iki bileşen için de log g=4.2 olarak belirledi. Nötr ve iyonize elementler için mikrotürbülans hızlarını sırasıyla 5±0.5 km s^{-1} ve 5.5±0.5 km s^{-1} olarak türetti elde etti. Elementlerin bolluklarını Güneş ve Am tayf türünden olan 15 Vul yıldızıyla karşılaştırdı. Conti'nin (1970) Am özelliklerini tanımlamak için kullandığı ScII/SrII çizgi şiddeti oranlarının <1 olması kriterini de dikkate alarak bu oranın HD 42083 yıldızının baş bileşeni için 0.98, yoldaş bileşeni için 0.93 ve tek çizgili tayfından 1.02 olarak bulunduğu belirtti. Eşdeğer genişlik ölçümlerindeki küçük bir hatanın bollukta çok büyük sapmalar vereceğini belirtilerek sadece iki çizgiden yapılan tahminler sonucu Sr ve Sc bollukları normal olarak belirledi. Ca elementinin özellikle baş bileşende daha az olma eğiliminde olduğunu rapor etti. Y ve Zr elementlerinin bolluklarının Güneş'e

kıyasla biraz fazla olduğu fakat ölçümde çok az çizgi olduğu için büyüme eğrisinin deneysel noktalarının çok dağıldığını rapor etti. Çalışmada, Strömgren bağıntısıyla [Fe/H] = 0.5 olarak bulunsa da deneysel hatanın sınırında olduğu belirtildi. Nadir toprak elementleri için yine çizgi sayısının az olması ve zayıf olması sebebiyle sadece bolluğun üst limitlerinin belirlenebildiği belirtildi. 106 günlük dönemin Am yıldızları için üst limit olduğunu ve tüm bu tahminlere göre yıldızın deneysel hatalar aralığında Am eğilimi olan normal bir yıldız olarak tanımlandı ve bir geçiş aşamasında olabileceği sonucuna varıldı.

Abt ve Morrell (1995), HD 42083'in tayf türünü A5 III ve dönme hızını $v\sin i$=25 km s^{-1} olarak belirledi (yayına ilişkin ayrıntıları için bkz., Bölüm 2.2).

Royer vd. (2002), B8-F2 tayf türleri arasında yedi kadirden parlak 249 yıldızın Haute-Provence (OHP) Gözlemevi'ndeki AURELIE tayfçekerinden alınan tayflarını kullanarak $v\sin i$ ölçümlerini gerçekleştirdi. Çalışmada 4110-4610 Å dalgaboyu aralığı 200 Å luk üç bölgeye ayrıldı ve toplam 23 çizgi belirlendi. İlk bölgede belirlenen Si II, Sr II ve Sc II çizgilerinden eşdeğer genişlik ölçümleri, ikinci bölgede kuramsal tayf için Hγ çizgi profilinden etkin sıcaklık tahminleri ve üçüncü bölgede ise seçilen çizgilerden özellikle de 4481 Å da bulunan Mg II çizgisinden dönme hızları elde edildi. Kurucz (1993b) model atmosferi kullanılarak üç farklı $v\sin i$ ve dört farklı T_e değeri için kuramsal tayflar üretildi. Dönme hızı tespiti için çizgi profillerine Fourier dönüşüm algoritması uygulandı ve teorik dönme profilleriyle karşılaştırıldı. Ayrıca elde edilen verilerle literatürde verilen değerler arasında doğrusal bir bağıntı oluşturuldu. Dönme hızları yaklaşık % 5'lik bir hassasiyetle elde edildi. HD 42083 için $v\sin i$ = 33 km s^{-1} olarak tespit edildi.

Ducati vd. (2011), HD 42083 tayfsal çiftinin birinci bileşeninin tayf türünü A2m, kütlesini 2.49 $M_\odot$, V parlaklığını $6^m.17$, sistemin dönemini 106.0 gün, dışmerkezliğini 0.63, birinci bileşenin dikine hızını 40.50 km s^{-1}, kütle fonksiyonunu f(m)=0.3425007 olarak elde etti (yayına ilişkin ayrıntılar için bkz., Bölüm 2.2).

McDonald vd. (2012), HD 42083 yıldızının etkin sıcaklığını 8266 K, ışınım gücünü 25.44 $L_{\odot}$ ve uzaklığını 102.99 pc olarak belirledi (yayına ilişkin ayrıntılar için bkz., Bölüm 2.3).

2.5 HD 169268 (HR 6890)

Danziger ve Faber (1972), A5-F9 tayf türleri arasında her ışınım sınıfından 579 yıldızın izdüşüm dönme hızlarını standart yıldızların tayfları yardımıyla yapılan modellemelerle belirledi. HD 169268 tayfsal çifti için $v\sin i$ = 35 km s^{-1} değerini elde etti.

Nordstroem vd. (2004), F ve G tayf türünden yaklaşık 14000 yıldızın Strömgren *uvbyβ* fotometrilerini farklı kataloglardan birleştirdi. Benz ve Mayor (1984) kalibrasyonlarını ve çapraz kolerasyon tekniklerini kullanarak dönme hızlarını tahmin etti. Etkin sıcaklıkları Alonso vd. (1996)'nin Strömgren kalibrasyonlarından elde etti ve sonuçların literatürden bulunan etkin sıcaklıklarla çok iyi bir uyum içinde olduğunu belirtti. Metalisiteyi yine Strömgren indislerinden Schuster ve Nissen (1989) ve Edvardsson vd. (1993)'nin kalibrasyonları veya kendi oluşturduğu yeni bir kalibrasyon yardımıyla belirledi. Yıldızların yaşını ve kütlesini teorik evrim yollarından hesapladı. HD 169268 için T_e = 6870±684 K, $v\sin i$=13 km s^{-1}, [Fe/H]= −0.27 olduğunu bularak uzaklığını 66 pc, mutlak parlaklığını $2^m.26$, V parlaklığını $6^m.6362$, ortalama dikine hızını -18.6±41.2, kütle oranını q=0.88±0.015, yaşını 1.6 Gyr ve kütlesini 1.6 $M_{\odot}$ olarak elde etti.

Griffin (2005), F tayf türünden yedi kadirden daha parlak üç çift çizgili ve bir tek çizgili tayfsal çift yıldızların dikine hız eğrilerini ve yörünge parametrelerini elde etti. Danziger ve Faber'in (1972) HD 169268 yıldızı için 35 km s^{-1} olarak elde ettiği izdüşüm dönme hızının açıkça yanlış olduğunu, Wolff ve Simon'un (1997) da Danziger ve Faber'in (1972) tahminlerini kullanarak bu değeri 26 km s^{-1} olarak düzelttiğini ve son olarak Poretti vd.'nin (2003) 20 km s^{-1} olarak belirlediğini rapor etti. Çift çizgili tayfsal çift yıldız olan HD 169268'in dikine hız eğrisi CORAVEL gözlemlerinden elde edildi. Yörünge parametreleri P=10.37026±0.0012 gün, M_1/M_2=1.099±0.005, e=0.4307±0.0017, $a_1\sin i(10^6)$=9.45±0.04 km, $a_2\sin i(10^6)$=10.38±0.03 km, $M_1\sin^3 i$=1.516±0.012 $M_{\odot}$, $M_2\sin^3 i$=1.38±0.013 $M_{\odot}$ olarak belirlendi ve $i<89°$ olarak

rapor edildi. Birinci ve ikinci bileşenin tahmini izdüşüm dönme hızları $v_1 \sin i$=15 km s^{-1}, $v_2 \sin i$=10 km s^{-1}, tahmini yarıçapları R_1=1.3 $R_\odot$, R_2=0.9 $R_\odot$ ve sistemin ortalama dikine hızı −18.6±0.6 km s^{-1} olarak elde edildi.

Casagrande vd. (2011), Geneva-Copenhagen araştırmalarında (Nordström vd. 2004, Holmberg vd. 2007, 2009) *uvby* fotometrik sistemiyle (Strömgren 1963) elde edilen etkin sıcaklık ve metalisite parametrelerini doğruluklarını artırmak için kızılötesi akı yöntemini ve Casagrande vd. (2010) renk kalibrasyonlarını kullanarak tekrar analiz etti. Yıldızların yaşlarını ve kütlelerini tahmin etmek için Bayesian analizden yararlandı ve log(T_e), M_V, [M/H] bilgilerini BASTI (Pietrinferni vd. 2004) ve Padova (Bertelli vd. 2008) izokronlarında kullandı. Yüzey çekim ivmesini kütle, etkin sıcaklık ve bolometrik akıyı içeren temel bir bağıntıdan elde etti: $\log(g/g_\odot)=\log(M/M_\odot)+4\log(Te/T_\odot)-\log(L/L_\odot)$. HD 169268 yıldızının log g=3.99, T_e=6886 K, [Fe/H]=−0.19, Padova eş-yaş eğrilerinden yaşını 1.76 Gyr ve kütlesini 1.55 $M_\odot$, BASTI eş-yaş eğrilerinden yaşını 1.30 Gyr ve kütlesini 1.58 $M_\odot$ olarak belirledi.

McDonald vd. (2012), HD 169268 yıldızının etkin sıcaklığını 6855 K, ışınım gücünü 8.63 $L_\odot$ ve uzaklığını 61.92 pc olarak belirledi. Bermejo vd. (2013), HD 169268 yıldızının etkin sıcaklığını 6838±2 K olarak belirledi (bu iki yayına ilişkin ayrıntılar için bkz., Bölüm 2.2-2.3).

David ve Hillenbrand (2015), doğrudan görüntülenen ötegezegen adaylarını da içeren B, A ve F tayf türünden 3493 alan yıldızının yaş tahminlerini yaptı. Atmosfer parametrelerini *uvbyβ* fotometrisinden belirledi. Hızlı dönen yıldızların ölçülen *uvbyβ* indekslerine olan etkisini ve dolayısıyla erken tür yıldızların izokron yaşları üzerindeki etkisini incelemek için Figueras ve Blasi (1998) ifadesini kullandı. Yıldızların yaşlarını ve kütlelerini Bressan vd. (2012) evrim modelleriyle belirledi. HD 169268 yıldızının etkin sıcaklığını T_e=7089±241 K, log g=4.39, yaşını 1.009 Gyr ve kütlesini ise 2.07 $M_\odot$ olarak elde etti.

Boeche ve Grebel (2016) çok sayıda yıldızın literatürden elde edilmiş tayflarından atmosfer parametrelerini ve kimyasal bolluklarını otomatik bir prosedürle belirleyen

SP_Ace (Stellar Parameters And Chemical abundances Estimator) kodunu geliştirdi. Kuramsal tayfları parametreleri iyi bilinen yıldızların VALD çizgi listelerindeki osilatör şiddetleriyle kalibre ederek oluşturdu ve aynı zamanda yıldızların eşdeğer genişliklerini de kullandı. Kuramsal tayfı gözlemsel tayfla karşılaştırarak χ^2 istatistiğiyle en iyi uyan fiti elde etti. HD 169268 yıldızının ELODIE tayfından T_e=6716 K, log g=3.68, [Fe/H]= − 0.92, [Mg/H]= − 1.30, [Si/H]= − 0.59, [Ca/H]= − 1.07, [Sc/H]= − 0.98, [Ti/H]=−0.4, [Cr/H]=−0.73 ve [Ni/H]=−1.1 olarak elde edildi.

2.6 HD 23642 (V1229 Tau)

HD 23642 örten çift yıldızı tayfında çift çizgi gösteren ilk Pleiades küme üyesidir (Batten vd. 1978). Pearce (1958) ve Abt (1958) tarafından yıldıza ilişkin benzer yörünge parametrelerinin belirlendiği fakat Pearce'in (1958) dairesel bir yörüngeyi varsayarak yıldızın dönemini biraz daha uzun bulduğunu ve bileşenleri A0 ve A1 olarak sınıflandırdığını, Abt'ın (1958) ise ikinci bileşeni Am olarak tahmin ettiği rapor edildi (Batten vd. 1978).

Abt (1958), HD 23642 yıldızının McDonald Gözlemevi'ndeki coude tayfçekerinden elde ettiği 15 tayfını kullanarak dikine hız ölçümlerini gerçekleştirdi. Dikine hız eğrisinden yıldızın yörünge parametrelerini P=2.46111 gün, e=0.018, $a_1 \sin i = 3.32\times10^6$ km, $a_2 \sin i = 4.76\times10^6$ km, $M_1 \sin^3 i$=2.05 $M_\odot$ ve $M_2 \sin^3 i$=1.43 $M_\odot$ şeklinde belirledi.

Abt ve Hunter (1962), Lacerta ve Orion oymaklarıyla α Persei ve Pleiades açık kümelerindeki parlak yıldızların dönme hızlarını elde etti. McDonald Gözlemevi'ndeki Coude tayfçekeriyle elde edilen gözlemleri literatürdeki tahminleriyle ve alan yıldızlarıyla karşılaştırarak küme ve oymakların ortalama dönme hızlarına karşılık tayf türlerini veya görsel parlaklıklarını HR diyagramlarına yerleştirdi. HD 23642 yıldızının tayf türünü A0 V ve birinci bileşenini temsil eden izdüşüm dönme hızını 30 km s^{-1} olarak tahmin etti.

Levato (1975), HD 23642 yıldızının dönme hızını 37 km s^{-1} olarak belirledi (çalışmanın ayrıntıları için bkz., Bölüm 2.2).

Millward ve Walker (1985), III-V ışınım sınıflarından O-A tayf türleri arasındaki yıldızların $W(H_\gamma)$-M_V (H_γ çizgisinin eşdeğer genişliği-Mutlak parlaklık) bağıntısını kalibre etmek için açık küme ve asosasyonların üye yıldızlarını, trigonometrik paralaksları iyi bilinen erken A tayf türünden yıldızları, görsel ve örten çift yıldızları kullandı. Tayfları 120-1400 S/G'ye sahip 4000-5000 Å dalgaboyu aralığındaki DAO coude tayfçekeriyle elde etti. İzdüşüm dönme hızlarını He ve Mg çizgilerinin YYTG (yarı yükseklikteki tam genişlik, (İng., Full Width Half Maximum) değerini ölçerek HD 23642 yıldızı için $v\sin i$=58 km s^{-1} olarak belirledi.

Griffin (1995), HD 23642 yıldızına ilişkin Smith ve Struve (1944), Abt (1958) ve Pearce (1958) tarafından gözlenen dikine hızları tekrar analiz ederek yörünge parametrelerini daha hassas şekilde P=2.461136 $\pm$ 000007 gün, $a_1\sin i(10^6$ km)=3.30±0.03 km, $a_2\sin i(10^6$ km)=4.81±0.13 km, $M_1\sin^3 i$=2.09±0.1 $M_\odot$, $M_2\sin^3 i$=1.43±0.06 $M_\odot$, M_1/M_2=1.46±0.4 ve dikine hızını 4.5±0.7 km s^{-1} olarak belirledi. Orijinal kaynağına ulaşılamayan Pearce'in (1958), HD 23642 yıldızına ilişkin belirlediği yörünge parametrelerini ise P=2.46399±000015 gün, $a_1\sin i(10^6$ km)=3.409±0.131 km, $a_2\sin i(10^6$ km)=5.045±0.171 km, $M_1\sin^3 i$=2.38±0.25 $M_\odot$, $M_2\sin^3 i$=1.61±0.16 $M_\odot$ ve dikine hızını 6.8±2.4 km s^{-1} şeklinde rapor etti (hatalar Griffin (1995) tarafından standart hatalara dönüştürülmüştür).

Giannuzi (1995), teorik evrim yollarıyla renk-mutlak parlaklık diyagramını ve Abt'ın (1958) elde ettiği yörünge parametlerini kullanarak Pleiades kümesinin dolayısıyla HD 23642'nın yaşını tayin etti. İki farklı izokron yaşı için bileşenlerin kütlesini 1.5×10^8 yıl yaşı için M_1=2.44 $M_\odot$ M_2=1.71 $M_\odot$, 3.0×10^8 yıl yaşı için M_1=2.46 $M_\odot$, M_2=1.72 $M_\odot$ olarak belirledi.

White vd. (2001), KPNO'da gözlemleri yapılan 23'ü Pleiades kümesine üye 36 yıldızın Na I çizgi profillerine (5896-5890 Å'daki Fraunhofer D ve 3303-3302 Å'daki UV dublet çizgileri) χ^2 istatistiğiyle Gauss fitleri yaparak HD 23642'nin dikine hızını 15.80 km s^{-1} ve uzaklığını 111 pc olarak belirledi.

Torres (2003), HD 23642 yıldızının dikine hızlarını 35000 çözünürlüğe sahip tayflardan elde etti (Oak Ridge Gözlemevi, Harvard). Dikine hız eğrisi çözümünden sistem için P = 2.46113329±0.00000066 gün, $a_1 \sin i$ (10^6 km) = 3.296±0.030 km, $a_2 \sin i$ (10^6 km) = 4.754±0.030 km, $M_1 \sin^3 i$ = 2.027±0.032 $M_\odot$, ve $M_2 \sin^3 i$ = 1.405±0.026 $M_\odot$ ve $q(M_2/M_1)$ = 0.6934±0.0077 olarak belirledi.

Munari vd. (2004), HD 23642 yıldızının Johnson B,V fotometrisini ve dikine hızlarını birleştirerek yörünge çözümünü ve fiziksel parametrelerini elde etti. Fotometrik gözlemi Cembra (Trento, İtalya) yakınlarındaki 28 cm lik bir Schmidt-Cassegrain türü bir teleskopla, tayf gözlemini ise ELODIE tayfçekeriyle gerçekleştirdi. Tayfsal gözlemden sadece iki bileşenin dikine hızlarını ölçüp tayfsal yörünge çözümünü elde etti. Sistem için P=2.46113400±0.00000034 gün, e=0.0±0.002, i=78°.10±0.21, a=11.956±0.030 $R_\odot$, $q(M_2/M_1)$=0.6966±0.0034 parametrelerini buldu ve uzaklığını 132±2 pc olarak belirledi. Baş bileşenin sıcaklığını belirlemek için HD 23642 yıldızının literatürde mevcut olan tüm fotometrik sistemlerdeki verilerini kullandı. Baş bileşen için yedi, yoldaş bileşen için 10 farklı sıcaklığın tüm olasılıklarını üç farklı log g değeri ve 11 farklı kızarma $E(B\text{-}V)$değerini kullanarak 2310 kuramsal tayf oluşturdu ($9000 \leq T_1 \leq 10500$ K, $6750 \leq T_2 \leq 9000$ K, log g= 4.0, 4.5, 5.0 ve $0.00 \leq E(B\text{-}V) \leq 0.10$). Daha sonra, her fotometrik sistemdeki gözlemlenen ve hesaplanan renklere en iyi uyum sergileyen sonuçları aradı. Yörünge çözümü ve çok bantlı fotometrinin ağırlıklı ortalamaları sonucu baş bileşenin sıcaklığını, yüzey çekim ivmesini ve kızarmasını T_1=9671±46 K, log g_1=4.17±0.13 ve $E(B\text{-}V)$=0.012±0.004 olarak elde etti. Yoldaş bileşenin sıcaklığını ve yüzey çekim ivmesini ise T_2=8023±544 K ve log g_2=4.28±0.016 olarak belirledi. Baş ve yoldaş bileşenlerin kütleleri ve yarıçaplarını M_1=2.24±0.017 $M_\odot$, R_1=1.81±0.030 $R_\odot$, M_2=1.56±0.014 $M_\odot$, R_2=1.50±0.026 $R_\odot$ olarak belirledi.

Southworth vd. (2005), Munari vd. (2004)'nin HD 23642 yıldızına ilişkin Johnson B ve V gözlemlerini kullanarak Monte-Carlo simülasyonlarıyla ışık eğrisi çözümünü yeniden analiz etti. HD 23642 yıldızına ilişkin literatürde elde edilen dikine hız gözlemlerini ve yörünge parametrelerini kendi değerleriyle birlikte kullandı. Bileşenlerin atmosfer parametrelerini belirlemek için Munari vd. (2004)'nin 4470-4505 Å dalgaboyu aralığında gözlemini yaptığı ELODIE tayflarına kuramsal fitler yaptı ve kuramsal fitler

için ATLAS9 model atmosferini (Kurucz 1993b) kullandı. Etkin sıcaklıkları Strömgren *uvbyβ* fotometrik renk ölçeklerini (TEFFLOGG programı, Moon 1985) ve kızılötesi akı yöntemini kullanarak ve toplam akılarla açısal çapların ve bilinen uzaklıkların birlikte kullanılması yoluyla da tahmin etti. Bileşenlerin etkin sıcaklıklarını, yüzey çekim ivmelerini, mikrotürbülans hızlarını ve dönme hızlarını birinci bileşen için $T_{e,A}$=9750±250 K, log g_A=4.254±0.014, ξ_A= 2 km s^{-1}, $v_A$sin$i$=37±2 km s^{-1} ve ikinci bileşen için $T_{e,B}$=7600±400 K, log g_B=4.249±0.025, ξ_B=4 km s^{-1}, $v_B$sin$i$=32±3 km s^{-1} olarak elde etti. Birinci bileşenin dikine hızını -58 km s^{-1}, ikinci bileşenin dikine hızını ise +160 km s^{-1} olarak belirledi. Kütle ve yarıçapları evrim modelleriyle karşılaştırarak birinci bileşen için M_1=2.193±0.022 $M_\odot$, R_1=1.831±0.029 $R_\odot$ ve ikinci bileşen için M_2=1.550±0.018 $M_\odot$, R_2=1.548±0.044 $R_\odot$ olarak elde etti. Pleiades açık kümesinin metal ve Helyum bolluklarını yaklaşık Güneş bolluğunda buldu. Örten çiftlerin uzaklıklarını bulmak için Kervella vd. (2004) tarafından verilen yüzey parlaklığına (K filtresi) karşı etkin sıcaklığın deneysel kalibrasyonlarının kullanıldığı yöntemle HD 23642 yıldızının ve dolayısıyla Pleiades açık kümesinin uzaklığını 139.1±3.5 pc olarak tespit etti. Bu uzaklığın teorik ve deneysel bolometrik düzeltmeler ve Hubble Uzay Teleskobu paralaksı kullanılarak elde edilen uzaklıklarla çok iyi uyum içerisinde olduğunu; ancak Hipparcos paralaksı kullanılarak bulunan uzaklıklarla tutarsız olduğunu belirtti. Bu uzaklık belirleme yöntemlerinin kızılötesi dalgaboylarında optik dalgaboylarına göre daha doğru ve kesin sonuç verdiğini rapor etti.

Groenewegen vd. (2007), HD 23642'nin fotometrik ve tayfsal verilerini elde ederek literatürdeki mevcut verilerle birlikte kullanıp yörünge çözümünü ve fiziksel parametrelerini belirledi. KOREL programıyla (Hadrava 2004a) tayfı ayrıştırarak (İng., disentangling) bileşenlerin tayflarını ayrı ayrı elde edip oluşturduğu kuramsal tayfları gözlemsel tayflara fit etti. Işık eğrisini ve dikine hız eğrisini FOTEL programıyla (Hadrava 2004b) analiz etti. Uzaklığı ve kızarma etkisini Geneva ile Strömgren renk indekslerini ve bileşenlerin (B-V) değerleriyle yüzey-parlaklık bağıntısını kullanarak elde etti. HD 23642 örten SBII sisteminin P=2.4611346±0.00000069 gün, e=0.0±0.002, i=77°.60±0.15, a=11.954±0.022 $R_\odot$, $q(M_2/M_1)$=0.7045±0.0026, $E(B\text{-}V)$=0.025±0.03, uzaklığını 138.0±1.5 pc ve hem izokronlardan hem de modelden [Fe/H]=0.06 olarak belirledi. Bileşenlere ilişkin parametreleri ise birinci bileşen için, $T_{e,A}$=9950 K, log

g_A=4.253±0.019, M_A=2.221±0.027 $M_\odot$, R_A=1.843±0.037 $R_\odot$ ve $v_A$sin$i$=36.5±0.8 km s^{-1}, ikinci bileşen için $T_{e,B}$=7640±40 K, log g_B=4.231±0.024, M_B=1.565±0.015 $M_\odot$, R_B=1.586±0.042 $R_\odot$ ve $v_B$sin$i$=31.9±1.2 km s^{-1} olarak buldu.

McDonald vd. (2012), HD 23642 yıldızının etkin sıcaklığını 8660 K, ışınım gücünü 17.35 $L_\odot$ ve uzaklığını 106.160 pc olarak belirledi. Bermejo vd. (2013), HD 23642 yıldızının etkin sıcaklığını 7513±64 K olarak belirledi (bu iki yayına ilişkin ayrıntılar için bkz., Bölüm 2.2-2.3).

David vd. (2016), Kepler'in K2 görevi gözlemlerini ve Keck/HIRES dikine hız gözlemlerini kullanarak Hyades ve Pleiades kümelerindeki dört örten çiftin yörünge çözümlerini gerçekleştirdi. JKTEBOP (Etzel 1981) programıyla ışık eğrilerinin modellenip 1000 Monte Carlo simülasyonu sonucu HD 23642'nin en uygun yörünge parametrelerini P=2.46113408±0.00000050 gün, e=0 (sabitlendi), i=78°.21±0.11, a=11.915±0.023 $R_\odot$, $q(M_2/M_1)$=0.7030±0.0027 pc şeklinde elde etti. Bileşenlere ilişkin parametleri ise log g_A=4.306±0.014, M_A=2.203±0.013 $M_\odot$ ve R_A=1.727±0.027 $R_\odot$, ikinci bileşen için log g_B=4.274±0.025, M_B=1.5488±0.0093 $M_\odot$ ve R_B=1.503±0.045 $R_\odot$ olarak belirledi.

Bochanski vd. (2018), Gaia gözlemlerini 2MASS ve Wide-Field Infrared Survey Explorer ile birleştirerek ve MIST izokronlarını kullanarak 9754 yıldızın kütle, yarıçap, [Fe/H], yaş ve uzaklık parametrelerini belirledi. HD 23642 sisteminin M=2.08 $M_\odot$, R=2.39 $R_\odot$, [Fe/H]=−0.05, yaşını 6.45×10^8 yıl, uzaklığını 134.2 pc olarak elde etti.

Yukarıda anlatılan tez yıldızlarının literatür verilerine ilişkin dönem, kütle, yarı-büyük eksen uzunluğu, etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi parametrelerinin ortalamaları ve standart sapmaları alınarak çizelge 2.1'de verilmektedir. Kütleleri ve yarı-büyük eksen uzunlukları verilmemiş olan kaynaklarda i açısı mevcut ise $M_1\sin^3 i$, $M_2\sin^3 i$ ve $a_1\sin i$, $a_2\sin i$ ifadelerinde yerine konularak kütleler ve yarı-büyük eksen uzunlukları hesaplanmıştır.

Çizelge 2.1 Literatür verilerinin bu tez çalışmasında kullanılan yıldızlar için verilen dönem (P), kütle (M), yarı-büyük eksen uzunluğu (a), etkin sıcaklık (T_e) ve yüzey çekim ivmelerinin ($\log g$) ortalamaları ve standart sapmaları

	P (gün)	M ($M_\odot$)	a (AB)	T_e (K)	$\log g$
Mizar A	20.53866±0.022	2.425±0.10 (A) 2.436±0.13 (B)	0.257±0.012	9000±530	4.04±0.18
47 And	36.71072±2.32	1.676±0.02 (A) 1.622±0.02 (B)	0.307±0.03	7600±450	3.715±0.87
HD 42083	106±1	1.99 (A) 1.86 (B)	0.37	8260±10 (A) 8130 (B)	4.2
HD 169268	10.37026±0.0012	1.516±0.012 (A) 1.38±0.013 (B)	0.133±0.03	6880±130	4.02±0.36
HD 23642	2.4615±0.001	2.288±0.14 (A) 1.593±0.09 (B)	0.0557±0.001	9790±140 (A) 7741±244 (B)	4.25±0.06 (A) 4.26±0.02 (B)

(A) birinci bileşeni, (B) ikinci bileşeni temsil etmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çift yıldızlar üzerine mevcut kimyasal bolluk çalışmaları genellikle örten çift yıldızlar üzerine olup, bollukların elde edilmesinde çoğunlukla tayfsal ayrıştırma yönteminin (ing., spectral disentangling) kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntem, bir çift yıldızın kompozit tayfına Fourier dönüşümü uygulanması yardımıyla bileşenlerin tayflarının ayrı ayrı elde edilmesini esas alır. Yöntemin uygulanabilmesi için ilgilenilen çift sistemin farklı evrelerinde gözlenmiş bir dizi tayfına ihtiyaç duyulur (bkz., Simon ve Sturm 1994, Hadrava 2012). Bu tez çalışmasında, SB2 yıldızlarının "kompozit tayf modelleme" yöntemiyle kimyasal bolluk analizleri gerçekleştirildi. Öyle ki, bu yöntemde bir çift yıldızın uygun evrede gözlenmiş tek bir tayfsal verisinin mevcut olması dahi analizlerin yapılmasına imkan tanımaktadır. Bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilen bolluk analizleri oldukça sınırlı sayıdadır (bkz., Adelman vd. 1997, Faraggiana ve Gerbaldi 2003, Folsom vd. 2012, Alecian vd. 2016, Kılıçoğlu ve Monier 2018). Bu yöntemin geliştirilmesi ve sınırlarının belirlenmesi, uzun dönemli tayfsal çift yıldızların atmosferik element bolluklarına ilişkin çalışmaların arttırılabilmesi ve bu konuda duyulan eksikliğin giderilebilmesi açılarından önemlidir.

Bu bölümde, SB2 olan Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268 ve HD 23642 hedef yıldızların seçiminde hangi ölçütlere dikkat edildiği, bu yıldızların gözlemlerinde kullanılan tayfçekerlerin özellikleri ve tayfların indirgenmesi hakkında bilgiler verilmektedir.

3.1 Gözlemsel Veri

SIMBAD veri tabanında bu yüksek lisans tezinin amacına uygun olarak A ve F tayf türlerinden 6.5 kadirden parlak 522 tayfsal çift yıldızın mevcut olduğu görülmektedir. Bu yıldızların kullanıma açık yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerinin olup olmadığı ilk olarak ELODIE ve SOPHIE tayfsal arşivlerinde sorgulama yapılarak denetlendi ve 12 tanesinin tayfsal verisinin bu veritabanlarının en az birinde mevcut olduğu görüldü. Daha sonra, bu yıldızların tayflarındaki Balmer serisi çizgilerine (H_β, H_γ ve H_δ) bakılarak bileşenlere ilişkin çizgilerin net bir şekilde ayrık olarak görüldüğü çift çizgili

tayfsal çift yıldızlar tespit edildi ve beş tanesi bu tez çalışmasında incelenmek üzere seçildi. Seçilen beş yıldızın tayfı ve literatürü incelendiğinde HD 42954 yıldızının üçlü bir sistem olduğu farkedildi. Bu nedenle önceden belirlenen 12 yıldızın Balmer serisi çizgileri ve literatürleri tekrar incelenerek HD 42954 yıldızı yerine yine bir SB2 olan ve manyetik özellik göstermediği belirlenen HD 23642 yıldızı tez çalışmasına dahil edildi.

ELODIE tayfçekeri, Haute-Provence Gözlemevi'ndeki (OHP, Paris) 1.93 metrelik teleskobunda yer alan çapraz dağılmış eşel tayfçekerdir. İlk gözlemleri 1 Temmuz 1993'de başlamış ve 15 Ağustos 2006'da sona ermiştir. Teleskobun Cassegrain odağından gelen ışık bir çift fiber optik aracılığıyla tayfçekere iletilir. 67 mertebeden oluşan tayflar 3850-6800 Å dalgaboyu aralığını kapsar ve tayfsal çözünürlük R≅42000 dir. Tayfçeker çok hassas dikine hız ölçümleri için tasarlanmış olup 1995 yılında Mayor ve Queloz tarafından ilk ötegezegen olan 51 Peg B'nin keşfi için kullanılmıştır. 15 Ağustos 2006 tarihi itibariyle arşivdeki toplam tayf sayısı 34286 olup bunların 17676'sı serbest kullanıma açık verilerdir. Dikine hızı ölçülen toplam tayf sayısı 25341'dir bunlardan 11037'si serbest kullanıma açıktır. Yalnızca piksel başına sinyal-gürültü oranı (S/G) 5500 Å'da ondan büyük olan tayflar arşivlenmektedir. Görüş alanı (field of view) 4.6 yay dakikası olan CCD arkadan aydınlatmalı, inceltilmiş ve yansıma önleyiciyle kaplıdır. Bir prizma ve bir grismi (grating prizma) birleştiren özel bir çapraz dağıtıcı (İng., cross-disperser), 67 mertebenin 1024×1024 piksellik CCD'ye sığmasını sağlar. Odak düzleminde, her biri 2" genişliğinde iki açıklık vardır. Bu açıklıklardan biri yıldız ışığı, diğeri gökyüzü arka plan veya dalgaboyu kalibrasyon lambası (tungsten veya toryum) için kullanılabilir ve maskelenebilir. ELODIE tayfsal verileri otomatik bir indirgeme rutinine sahiptir. Bu rutinde süreklilik ve göreli akı kalibrasyonu için tungsten lambası ve dalgaboyu kalibrasyonu için toryum lambası kullanılmaktadır. Tungsten lambalı görüntüler, eşel tayfında mevcut olan mertebelerin (İng. orders) konumunun belirlenmesiyle düz alan (İng., flat field) ve ışıma (İng., blaze) fonksiyonunun tespiti için kullanılır. Toryum lambası görüntülerinden ise, Chebyshev polinomları cinsinden ifade edilen dalgaboyu kalibrasyonunu türetmede faydalanılır. İndirgeme işleminde yukarıdaki kalibrasyon görüntülerinden yola çıkılarak önyargı görüntüsünün (İng., bias), karanlık görüntünün (İng., dark) ve saçılmış ışığın atılması sağlanır. Eşel tayfın mertebelerinin en uygun şekilde çıkarılarak tek boyutlu tayflara dönüştürülmesi Horne

algoritması (Horne, 1986) ile sağlanır. ELODIE tayfçekerinde gözlem zamanları MJD (İng. Modified Julian Date) olarak verilmektedir.

Bu yüksek lisans tezinde kullanılan ELODIE tayflarının gözlem zamanları öncelikle verilen MJD zamanlarına 2400000.5 eklenerek JD'ye ve daha sonra interaktif bir internet arayüzü[2] yardımıyla yıldızların sağ açıklık ve dik açıklıkları kullanılarak HJD ye çevrildi. Hedef yıldızların başlangıç gözlem zamanları (T_0), Mizar A için Behr vd. (2011), 47 And için Fekel vd. (2011), HD 42083 için Van't Veer-Menneret ve Coupry (1976), HD 169268 için Griffin (2005) ve HD 23642 için ise Munari vd. (2004) yayınlarından alındı ve yıldızların tayf çizgilerinin örtme-örtülme göstermediklerinin denetlenmesi için evre hesabı yapıldı. Elde edilen sonuçlar gözlem tarihleriyle birlikte çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Hedef yıldızların gözlem zamanları ve evreleri

Yıldızlar	Gözlem Tarihi	*T* (HJD)	Evre
Mizar A	20.06.1998 - 20:48:58	2450985.36657	0.22
47 And	14.10.2005 - 20:55:20	2453658.37678	0.35
HD 42083	15.11.2000 - 02:50:44	2451863.62244	0.25
HD 169268	27.06.2000 - 00:27:58	2451712.52000	0.12
HD 23642	03.02.2004 - 21:44:37	2453039.40753	0.18

Tez yıldızlarının çift olmaları sebebiyle ELODIE ve SOPHIE verilerine ek olarak Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi'ndeki 40 cm ayna çapına sahip T40 Kreiken Teleskobu'na bağlı Shelyak eShel tayfçekeriyle de ilave gözlemler gerçekleştirildi. Çözünürlüğü R~14000, dalgaboyu aralığı 4380-7350 Å olan tayfçeker 8 kadirden daha parlak olan yıldızları gözleyebilmektedir. Önden aydınlatmalı 2758×2208, 4.54 mikron piksel CCD'ye sahiptir. Fiber kablolarla taşınarak optik düzenekte ilerleyen ışık, çözünürlüğü artıran çapraz ayrıcıdan (İng., cross disperser) geçerek CCD'ye gelir.

[2] https://britastro.org/computing/applets_dt.html

Flat görüntüsü LED ve Tungsten lamba tayflarının birleşiminden oluşur ve dalgaboyu kalibrasyonu toryum-argon (ThAr) lamba tayfı kullanılarak hassas bir şekilde yapılır. Bu veriler AudelA yazılımı aracılığıyla tayfın çıkarılması aşamasında otomatik olarak elde edilir. Tayflar önindirgeme işlemlerinden geçirilip blaze etkisi giderildikten ve normalize edildikten sonra 21 mertebe sorunsuz bir şekilde birleşmektedir. AUKR gözlemleri her yıldız için en az 40000 sayıma ulaşana kadar sürdürüldü. Yıldızların Jonhson V bandı parlaklıkları (SIMBAD), gözlemlerin tarihleri, poz süreleri, tekrar sayıları, toplam kaç sayıma ulaşıldığı ve S/G değerleri çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2 Yıldızların Jonhson V bandı parlaklıkları, gözlem tarihleri, poz süreleri (saniye), tekrar sayıları, toplam sayım ve S/G değerleri (AUKR)

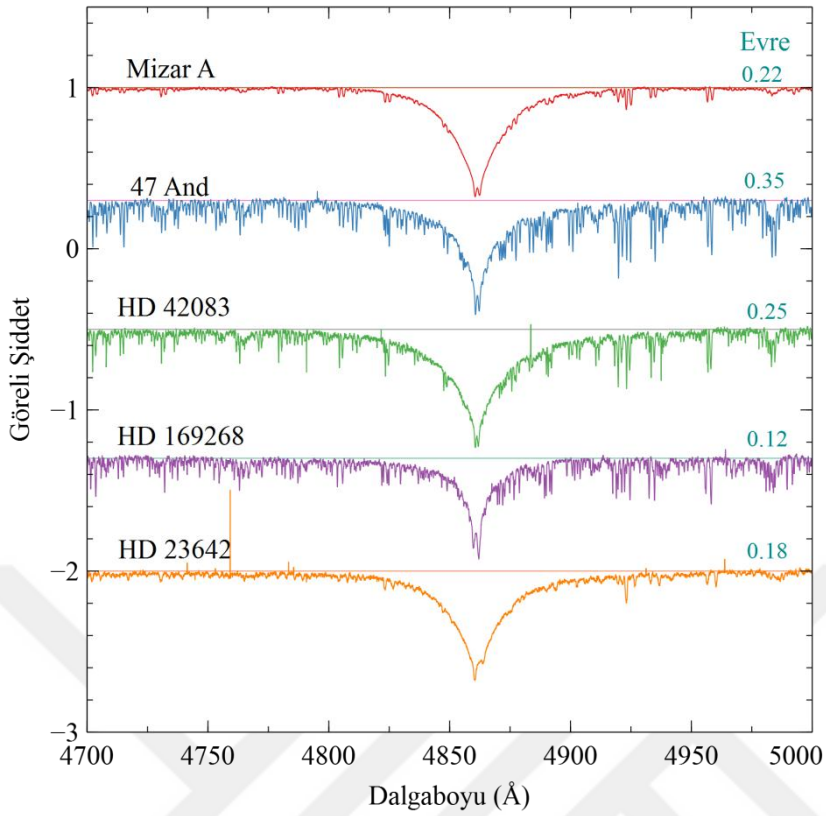
	V	Gözlem Tarihi	Poz Süresi	Tekrar Sayısı	Toplam Sayım	S/G
Mizar A	$2^{m}.22$	10.07.2019	200	3	50000	110
47 And	$5^{m}.59$	12.07.2019	900	6	50000	133
HD 42083	$6^{m}.27$	22.09.2019	900	6	45400	165
HD169268	$6^{m}.38$	29.09.2019	900	7	51300	167

Bu beş parlak SB2 yıldızı arasında SOPHIE veri tabanında yalnızca Mizar A'nın bir ve 47 And'ın iki adet tayfının mevcut olduğu görüldü. Tüm veriler dikkatlice süreklilik seviyesine normalize edildikten sonra SOPHIE tayflarının çözünürlüğünün tayfın kısa ve uzun dalgaboylarında değiştiği, ELODIE ve AUKR tayflarıyla karşılaştırıldığında ise saçılmış ışık veya 39 mertebenin birleşmesi nedeniyle H Balmer çizgi kanatlarının normalize seviyesinden yukarıda (bump) olduğu ve çizgi köklerinin de iyi uyuşmadığı gözlendi. Kuramsal tayfı gözlemsel tayfla uyumlamaya çalışırken bu durum şiddetli çizgilerin daha şiddetli görünmesine sebep olacağından ve dolayısıyla atmosfer parametreleriyle bollukları da etkileyeceğinden ELODIE tayflarının kullanılmasının daha sağlıklı olacağına karar verildi. Sonuç olarak, bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında kullanacağımız veriler ELODIE tayfçekeri arşivinden (1997-2005) ve AUKR'deki T40 Kreiken Teleskobu'ndan alınan gözlemlerden (2019) gelmektedir.

3.2 Tayfların Normalizasyonu

Tayfların süreklilik seviyesine normalize edilmesi yıldızların atmosfer parametrelerinin belirlenmesinde ve özellikle bileşenlere ilişkin kimyasal element bolluklarının analizinde büyük öneme sahiptir. Tayfların normalizasyonunda tüm yıldız tayfının ayrıntılı şekilde incelenmesi gerekir, özellikle T_e ve log g atmosfer parametlerinin hassas şekilde belirlenmesinde en önemli rolü oynayan H Balmer çizgi profillerinin sürekliliğe normalize edilmesi işlemi daha dikkatli yapılmalıdır. Süreklilik seviyesini tayfın biraz yukarısından geçirmek tüm elementlerin kimyasal bolluklarının fazla çıkmasına, biraz aşağısından geçirmek ise bolluklarının düşük çıkmasına neden olacaktır. Balmer çizgi kanatlarından düzgün geçirilmeyen süreklilik seviyesi ise model atmosferler kullanarak kuramsal tayfların gözlemsel tayflara uyumlanması sırasında yıldızların etkin sıcaklıklarının farklı çıkmasına sebep olacaktır ve bu durum log g ve ξ üzerinde de etki edecektir. T_e ve log g'nin farklı belirlenmesi yıldızın ışınım sınıfının, evrim yolları kullanılarak hesaplanan yaşının ve kütlesinin de yanlış çıkmasına sebep olacaktır. Tayfta çizgi sayısının çok olması veya özellikle hızlı dönen çift yıldızlarda bileşenlerin tayf çizgilerinin birbiriyle karışması süreklilik seviyesinin belirlenmesini zorlaştırır. Erken tayf türünden geç tayf türüne yani sıcak yıldızlardan soğuk yıldızlara doğru gidildikçe tayftaki metal çizgilerinin ve moleküler çizgilerin sayısı arttığı için A tayf türünden bir yıldızın normalizasyonu F tayf türünden bir yıldıza göre biraz daha kolay olmaktadır. Sonuç olarak tayfın süreklilik seviyesi ne kadar iyi belirlenirse, yani normalize işlemi ne kadar dikkatli yapılırsa bolluk analizi de o kadar hassas ve doğru olacaktır.

Bu tez çalışmasında, 3850-6800 Å dalgaboyu aralığındaki ELODIE tayfları ve 4380-7350 Å dalgaboyu aralığındaki AUKR tayfları Tetra programıyla (Bahar 2019) ayrıntılı şekilde bölge bölge açılarak sürekliliğe normalize edildi. Tetra programı normalize işlemleri için spline fonksiyonlarını kullanmaktadır. Şekil 3.1'de hedef yıldızların ELODIE tayflarının sürekliliğe normalize edilmiş H_β bölgeleri ve gözlendikleri zamana ilişkin tayf çizgilerinin ayrı ayrı görülebildiği evreler (bkz., Çizelge 3.1) gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Hedef yıldızların ELODIE tayflarının sürekliliğe normalize edilmiş H_β bölgeleri ve tayf çizgilerinin ayrı ayrı görülebilmesine imkan veren gözlem zamanlarına ilişkin örtme-örtülme evreleri

3.3 Yıldızların Atmosfer Parametrelerinin Belirlenmesi için Yöntemler

Yıldızların kimyasal element bolluklarının hesaplanabilmesi için yıldızlara ilişkin etkin sıcaklık (T_e), yüzey çekim ivmesi (log g) ve mikrotürbülans (ξ) hızlarının iyi bir şekilde belirlenmesi gerekir. Atmosfer parametreleri fotometrik ve tayfsal yöntemlerle belirlenebilir. Model atmosferler kullanılarak oluşturulan kuramsal tayfların gözlemsel tayflara çakıştırılmasıyla atmosfer parametleri hassas olarak belirlenebilir. Model atmosferleri olabildiğince yıldızın gerçek T_e ve log g değerlerine yakın olarak üretmek için başlangıçta fotometrik yöntemlerle ön kestirimler yapılabilir. Bu tez çalışmasında T_e ve log g tahminleri için kullanılan dört fotometrik yöntemin ayrıntıları aşağıda verilmektedir:

Strömgren (1963) ve Crawford ve Mander (1966) tarafından tanımlanan fotometrik *uvbyβ* sistemi B, A ve F yıldızlarının T_e, log g ve metalistelerini belirlemek için etkili bir sistemdir. Literatürde erişilebilen çok fazla miktarda fotometrik verisi mevcuttur (bkz., Hauck ve Mermilliod 1985, 1990) ve yaygın olarak kullanılan bir dar bant fotometrik sistemdir. *uvbyβ* fotometrisi kullanılarak çok sayıda T_e ve log g kalibrasyonları yayınlanmıştır (örn., bkz., Relyea ve Kurucz 1978, Moon ve Dworetsky 1985). Bu fotometrik sistemin sayısal uygulaması için sıcaklık aralığı üçe bölünmüştür:

I. Soğuk yıldızlar ($T_e \leq 8500$ K): β, H_β çizgisinin eşdeğer genişliğinin bir ölçüsüdür ve iyi bir sıcaklık belirtecidir. Balmer süreksizliğinin şiddetini belirten c_0 ise yüzey çekim ivmesi parametresidir.

II. Sıcak yıldızlar ($T_e \geq 11000$ K): Bu bölgede üstteki parametreler tam tersini ifade eder, yani β yerçekimi ivmesi, c_0 veya $[u\text{-}b]$ ise sıcaklık belirtecidir.

III. Orta sıcaklıktaki yıldızlar ($8500 \leq T_e \leq 11000$ K): Bu bölgede Strömgren (1966) yayınına göre iki yeni parametre tanımlanır;

$$a_0 = 1.36(b-y)_0 + 0.36m_0 + 0.18c_0 - 0.2448$$
$$= (b-y)_0 + 0.18\{(u-b)_0 - 1.36\} \qquad (1)$$
$$r^* = 0.35c_1 - 0.07(b-y) - (\beta - 2.565) \qquad (2)$$

Burada a_0 sıcaklık, r* ise yüzey çekim ivmesidir.

Strömgren (1966) yayınında ve bu tez çalışmasında da kullanılan Hauck ve Mermilliod (1998) kataloğunda belirtilen *(b-y)*, m_1, c_1 ve H_β dört ana renk ölçeği olarak bilinir. Ortalama dalgaboyları sırasıyla 3500, 4110, 4670 ve 5470 Å olan *u, v, b* ve *y* bantlarından ölçülen yoğunluklara karşılık gelen renk ölçekleri:

$$c_1 = (u-v) - (v-b)$$
$$m_1 = (v-b) - (b-y)$$

şeklinde ifade edilir. Burada c_1 Balmer süreksizliğinin şiddetinden ölçülen yüzey çekim ivmesine duyarlı ölçektir. m_1 metal çizgi ölçeği, β ise H_β çizgi şiddetinden ölçülen etkin sıcaklığa duyarlı ölçektir.

Geneva *U*, *B*1, *B*, *B*2, *V*1, *V* ve *G* fotometrik sistemi 1963'ten beri Cenevre Gözlemevi'nde kullanılan yedi renk fotometrik sistemdir (Golay 1972). Renklerin hepsi B filtresine normalize edilmiştir (*U*=*U*-*B*, *B*1=*B*1-*B*, *B*2=*B*2-*B*, *V*1=*V*1-*B*, *V*=*V*-*B* ve *G*=*G*-*B*). Geneva verisi 500 pc'den yakın açık kümelerin sistematik gözlemleriyle şekillenmiştir. Geneva fotometrik sisteminin *uvbyβ* ile karşılaştırıldığında tek dezavantajı A tayf türünden ve daha soğuk yıldızlar için yıldızlararası kızarmaya karşı daha duyarlı olmasıdır (Künzli vd. 1997). Cramer ve Meader (1979) tarafından normal B yıldızları için sırasıyla T_e ve log *g* belirlemek amacıyla kızarmadan bağımsız olarak verilen X ve Y paramatreleri şu şekildedir (Künzli vd. 1997):

$$X = 0.3788 + 1.3764\,U - 1.2162\,B1 - 0.8498\,B2 - 0.1554\,V1 + 0.8450\,G$$
$$Y = -0.8288 + 0.3235\,U - 2.3228\,B1 + 2.3363\,B2 + 0.7495\,V1 - 1.0865\,G$$

Künzli vd. (1997), yıldız atmosferlerinde ışınım yerine konveksiyonun etkili olmaya başladığı aralıktaki ($8500 \leq T_e \leq 11000$ K) Kurucz modellerinin atmosfer parametrelerini belirlemekte yetersiz olduğunu ve bu problemin log *g*'nin belirlenmesini zorlaştırdığını ifade etmektedir. Bu bölge için tanımlanan yeni *pT* ve *pG* parametreleri Künzli vd. (1997) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$pT = -0.2075 + 0.1455\,U - 0.2383\,B1 + 1.0452\,B2 - 0.9676\,V1 + 0.0155\,G$$
$$pG = -0.4771 + 0.2749\,U - 1.9706\,B1 + 3.0568\,B2 - 0.3676\,V1 - 0.9935\,G$$

Ancak bu parametreler kızarmaya bağımlı olduğundan kalibrasyonları anlamlı kılmak için ya yıldızlararası kızarma ihmal edilebilir ya da $E(B2-V1)$ renk artığının bilinmesi durumunda kızarmadan bağımsız olarak düzeltilen aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir:

$$pT_0 = pT - E(B2 - V1)$$
$$pG_0 = pG - E(B2-V1)$$

A4 V-III ve G5V aralığındaki yıldızlar için Kobi ve North (1990) tarafından verilen kalibrasyon ise *B*2-*V*1 etkin sıcaklık belirteci olmak üzere:

$$d = (U - B1) - 1.430\,(B1 - B2)$$

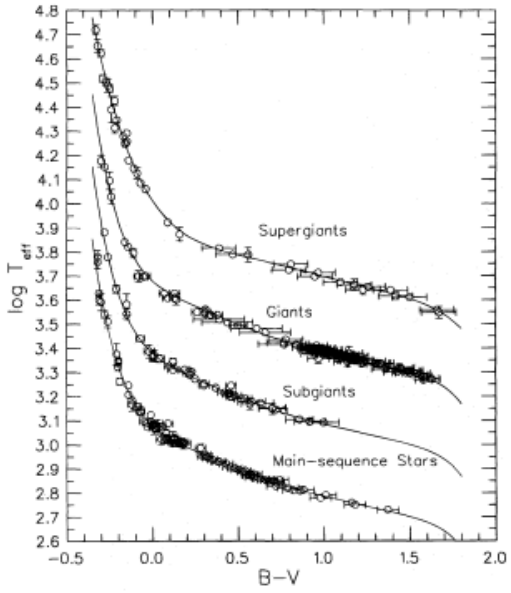
şeklinde verilmektedir. Burada *d* yüzey çekim ivmesi göstergesidir. Ayrıca metalisiteye duyarlı m_2 parametresi de şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$m_2=(B1-B2) -0.457(B2-V1)$$

Flower (1996), sıcaklıkları 2900-52500 aralığındaki anakol yıldızlarından (V) süperdevlere (I) kadar olan 335 yıldızın sıcaklıklarını ve bolometrik düzeltmelerini (BC) literatürden aldığı verilerle bir araya getirdi. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yıldızları ışınım sınıflarına göre ayırarak çizdirdiği log T_e - $(B-V)$ ve log T_e - (BC) grafiklerine polinom fitleri yaparak:

$$\log T_e = a + b\,(B-V) + c\,(B-V)^2 + \ldots$$

şeklinde bir bağıntı belirledi. Bu bağıntıdaki *a, b, c, d, e, f, g* ve *h* katsayıları, yıldızların $B-V$ renk ölçeklerine karşı bolometrik düzeltmelerinden elde edilmiş olup süperdevler için ayrı, anakol yıldızları, altdevler ve devler için ayrı verilmektedir. $\log T_e \geq 3.9$, $3.9 < \log T_e < 3.7$ ve $\log T_e \leq 3.7$ olmak üzere üç bölgeye eğriler fit etti ve daha sonra süperdevler için $\log T_e = 3.6816$ ve anakol yıldızları için $\log T_e = 3.6800$ olmak üzere iki fit daha ekledi. $B-V$ renk ölçeklerini süperdevler için $0.13 \leq B-V \leq 0.18$, anakol yıldızları, altdevler ve devler için ise $0.14 \leq B-V \leq 0.26$ aralığında seçildi.



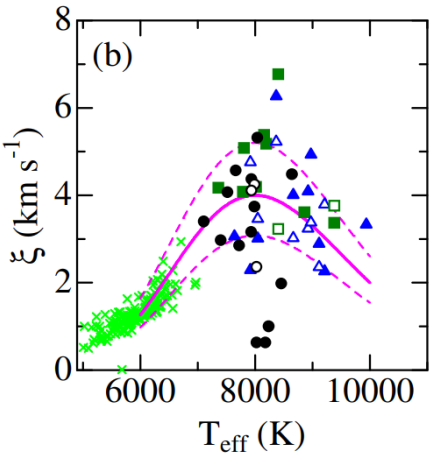
Şekil 3.2 Sıcaklık ve renk ölçeklerine yapılan polinom fiti (Flower 1996)

Devler, altdevler ve anakol yıldızlarının sıcaklıkları log T_e ekseninde bir sonraki ışınım sınıfına göre 0.3 daha aşağıdadır. Alttaki üç eğrinin polinom fitinden elde edilen katsayıları aynıdır.

Benzer bir ilişkiyi Bessell vd. (1998) ise geniş bant Johnson-Cousins-Glass fotometrik sistemindeki (Bessell ve Brett 1988) renk ölçeklerini ve bolometrik düzeltmeleri ATLAS9 ve MARCS model atmosferlerini (Kurucz 1979 ve Gustafsson vd. 1975) kullanarak sentetik tayflardan hesaplamıştır. Cüce yıldızlar için T_e-($U-B$), T_e-($V-K$), T_e-($V-I$) ve T_e-($I-K$), dev yıldızlar için T_e-($V-K$) deneysel bağıntıları teorik bağıntılarla karşılaştırmıştır.

Elementlerin kimyasal bolluklarına etki eden bir başka önemli atmosfer parametresi olan mikrotürbülans hızı, fotonun ortalama serbest yolundan daha küçük boyutlara sahip türbülanslı hücrelerin hareketidir (Gray vd. 2001). Mikrotürbülans, atmosfer içindeki hız alanına ve konveksiyona bağlıdır (örn., bkz., Montalban vd. 2006, Cantiello vd. 2009). Mikrotürbülans hızını belirlemek için literatürde çeşitli bağıntılar mevcuttur. Bu tez çalışmasında kullanılan ve denetlenen şekil 3.3'de grafiği verilen Takeda vd. (2008)'nın (bundan sonra T08 olarak ifade edilecektir), 10 km s^{-1}<$v\sin i$<290 km s^{-1} olan, 7100<T_e<9950 aralığındaki ve III-IV-V ışınım sınıflarındaki Am yıldızlarını da içeren 46 adet A yıldızını kullanarak elde ettiği bağıntı şu şekildedir:

$\zeta^{std}=4\ \exp\{-[\log(T_{eff}/8000)/A]^2\}$, $A \equiv [\log(10000/8000)]/\sqrt{ln2}$)



Şekil 3. 3 Yıldızların mikrotürbülans hızlarını karşı etkin sıcaklıkları (Takeda vd. 2008)

Takeda vd. (2005)'de F-G-K cüceleri için verilen bağıntı, A yıldızlarıyla karşılaştırılmak için sol altta çarpılarla gösterilmiştir. Üçgenler 0 km s^{-1} < *v*sin*i* < 50 km s^{-1}, kareler 50 km s^{-1} < *v*sin*i* < 100 km s^{-1} ve çemberler ise 100 km s^{-1} < *v*sin*i* aralıklarındaki dönme hızlarına sahip yıldızları temsil etmektedir. İçi boş semboller yıldızların 6150 Å tayf bölgesinden elde edilen, içi dolu semboller ise 7775 Åbölgesinden elde edilen mikrotürbülans hızlarını göstermektedir.

Mikrotürbülans hızı, tayftaki ilgili atomik türün (örn., Fe II) yeterli sayıda çizgisi olması durumunda, bu çizgilerden hesaplanan kimyasal bollukların standart sapmasının en küçük olduğu değer bulunarak da hesaplanabilir (örn., bkz., Monier vd. 2018). İlgili kimyasal elementin farklı mikrotürbülans hızlarında bollukları ölçülerek bu ölçümlerden standart sapmadaki saçılmayı en aza indiren değer, ilgili yıldızın veya bileşenin mikrotürbülans hızı olarak kabul edilir. Bölüm 4.4'de bu yöntemle tez yıldızlarının bileşenlerine ilişkin mikrotürbülans hızlarının elde edilmesi ve sonuçları ayrıntılı şekilde anlatılmaktadır.

3.4 Model Atmosferler ve Kuramsal Tayflar

YTD kabülü altında model atmosferlerini hesaplamak için yazılan kodlar arasında, Kurucz'un ATLAS kodu (Kurucz 1970) en çok kullanılan kodlardan biridir (Castelli 2005). ATLAS modeli, sayısal ve fiziksel problemleri kolaylaştırmak amacıyla birkaç yaklaşımı kabul etmektedir (Kurucz 1970):

- Yıldız atmosferi denge durumundadır, durağandır.
- Yıldızın enerji kaynağı atmosferin çok altında olduğundan ve yukarıdan atmosfere başka bir enerji gelmediğinden, atmosferdeki derinlik boyunca enerji akısı sabittir.
- Yıldızın atmosferi normal doğrultusu hariç homojendir. Granül, spikül, leke, manyetik alan vd. gibi olaylar ihmal edilir.
- Atmosferin yıldızın yarıçapına göre oldukça ince olması nedeniyle atmosfer katmanları ortak merkezli eğrisel kabuklar yerine düzlem parelel katmanlar olarak alınabilir.
- Yüzeyin normal doğrultusunda katmanlar göreli harekete sahip değildir ve atmosferin net bir ivmesi yoktur. Bu nedenle de basınç, kütle çekimini dengeler:

$$\rho \frac{d^2 r}{dt^2} = -\rho g + \frac{dP}{dr} = 0$$

Burada ρ yoğunluk, g ise yerçekimi ivmesidir. Atmosferin ince olması sebebiyle bu iki parametre neredeyse sabittir. Yüzey çekim ivmesi ise şu şekilde ifade edilir:

$$g = \frac{GM_*}{{R_*}^2}$$

- Kimyasal bolluklar atmosfer boyunca belirli ve sabittir.

Yıldız atmosferi modellerinde çizgi donukluğunun hesaba katılması için çeşitli yöntemler bulunur. Bu yöntemlerden Donukluk Dağılım Fonksiyonu (İng., Opacity Distribution Function, ODF) ve Donukluk Örnekleme (İng., Opacity Sampling, OS) moleküler ve atomik çizgi verilerinin doğru örneklenmesi için yaygın olarak kullanılır (Jorgensen 1992). ATLAS9 (Kurucz 1993b, Sbordone vd. 2004), ODF yöntemiyle modellerin hesaplandığı son ATLAS sürümüdür. ATLAS12 (Kurucz 1993c, 2005) ise OS yöntemini kullanır. OS yönteminde, yeterince fazla sayıda frekans noktası rastgele seçilir ve frekans noktalarının sayısı arttığında model yapısı yavaşça gerçek modele yaklaşır (Jorgensen 1992, Ekberg vd. 1986). Örneğin, Ekberg vd. (1986) tarafından karbon yıldızlarında doğru bir model elde etmek için 5000 noktanın yeterli olduğu gösterilmektedir. ODF yönteminde OS yöntemine nispeten daha az frekans noktası

kullanıldığı için ODF yöntemini temel alan model atmosfer üretimi OS den biraz daha kısa zaman alabilir (Ekberg vd. 1986). Bu tez çalışmasında kullanılan ATLAS12 programıyla istenilen element bollukları ve mikrotürbülans hızlarında atmosfer modelleri oluşturabilir. Aşağıda Linux işletim sistemi üzerinde çalıştırılan 47 And yıldızı için T_e=7600 K ve log g=3.9 parametreleriyle üretilen ATLAS12 model atmosferlerden birinin çıktısı verilmektedir:

```
TEFF   7600.  GRAVITY 3.90000 LTE
TITLE ATLAS12 FOR Teff=7600. Logg=3.90 MLP=0.50
OPACITY IFOP 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0
CONVECTION ON   0.50 TURBULENCE OFF  0.00  0.00  0.00  0.00
ABUNDANCE SCALE   1.00000 ABUNDANCE CHANGE 1 0.92052 2 0.07835
ABUNDANCE CHANGE  3 -10.94  4 -10.64  5  -9.49  6  -3.52  7  -4.12  8  -3.21
ABUNDANCE CHANGE  9  -7.48 10  -3.96 11  -5.71 12  -4.46 13  -5.57 14  -4.49
ABUNDANCE CHANGE 15  -6.59 16  -4.71 17  -6.54 18  -5.64 19  -6.92 20  -5.68
    .
    .
    .
READ DECK6 72 RHOX,T,P,XNE,ABROSS,ACCRAD,VTURB
1.09825653E-04   4890.2 8.727E-01 3.243E+09 1.214E-03 1.225E-01 1.000E+05
1.46916656E-04   4911.4 1.167E+00 4.036E+09 1.184E-03 1.199E-01 1.000E+05
1.97663002E-04   4930.5 1.571E+00 5.002E+09 1.153E-03 1.143E-01 1.000E+05
2.66563801E-04   4952.5 2.118E+00 6.259E+09 1.142E-03 1.125E-01 1.000E+05
3.58555352E-04   4978.0 2.849E+00 7.903E+09 1.155E-03 1.127E-01 1.000E+05...
```

Bu çıktıda görülen parametrelerden biri olan ‘MLP’, yıldızın konveksiyon bölgesinin derinliğini belirten bir ölçü olan karışım uzunluğunu ifade eder. Karışım uzunluğu parametresi, konveksiyonun olmadığı 10000 K den daha sıcak olan yıldızlarda ve sıcaklığın 10000 K ile 8500 K aralığında olduğu A0V-A5V tayf türleri arasında 0.0 değerini vermektedir. Zayıf konveksiyona sahip 8500 K ile 7000 K arasındaki (A5V-F0V) yıldızlar için 0.5 değerini verirken, güçlü konveksiyona sahip 7000 K den daha soğuk yıldızlar için ise 1.25 değerini vermektedir (Smalley vd. 2004). Bu tez çalışmasında 7100 K’den daha soğuk bileşene sahip yıldız için 4300 K $\leq T_e \leq$ 7100 K sıcaklık aralığında karışım uzunluğu parametresini veren Ludwig vd. (1999) kalibrasyonları kullanılmıştır. Üçüncü satırda model hesaplamasında hangi donukluk kaynaklarının dikkate alındığını tanımlayan kontrol kartları mevcuttur. ‘Abundance Scale’ parametresinin ‘1’ olması güneş bolluğunu ifade eder. Beşinci satırda bulunan ‘Abundance Change’ parametresinde, H ve He elementlerinin toplam atom sayılarına oranları yüzdece verilmektedir. Sonraki satırlardaki ‘Abundance Change’ parametrelerinde atom numaralarının yanında ilgili elementlerin bolluklarının logaritmik olarak toplam bolluğuna oranı olarak verilir ($\log(N_{element})-\log(N_{H+He})$). `READ`

DECK6 72..şeklinde devam eden satırda ATLAS modellerinin yıldız atmosferini 72 katmana ayırdığı ve her katman için hesaplanan sırasıyla kütle derinlik değişkeni (RHOX, g cm^{-2}), sıcaklık (T, K), gaz basıncı (P, dyn cm^{-2}), elektron sayı yoğunluğu (XNE, cm^{-3}), Rosseland kütle soğurma katsayısı (ABROSS, cm^2 g^{-1}), Işınım soğrulmasından kaynaklanan ivme (ACCRAD, cms^{-2}) ve mikrotürbülans hızı (VTURB, cm s^{-1}) parametrelerini temsil etmektedir (Cervantes 2017).

Bu tez çalışmasında kuramsal tayfları oluşturmak için ve kuramsal tayfları gözlemsel tayflara uyumlamak için SYNSPEC49/SYNPLOT (Hubeny ve Lanz, 1995) programı kullanıldı. SYNSPEC49 programı FORTRAN dilinde ve bu programın görsel arayüzü SYNPLOT ise IDL dilinde yazılmıştır. Girdi olarak bir model atmosfere gereksinim duyar. Genel bir atomik çizgi listesi okuyarak gerçek model atmosferin fiziksel parametrelerine dayalı toplam opaklığa katkıda bulunan çizgileri seçer (Hubeny ve Lanz 2000). İstenilen dalgaboyu aralığı ve çözünürlükte tek yıldızlar için kuramsal tayflar üretebilir. Aynı zamanda yıldızların izdüşüm ekvatoryal dönme hızları (*v*sin*i*), dikine hızları, mikrotürbülans hızları ve kimyasal bollukları gibi birçok parametre girdi parametresi olarak verilebilir. Bu yüksek lisans çalışmasındaki analizler sonucu elde edilen kimyasal element bollukları Grevesse ve Sauval (1998) tarafından hesaplanan Güneş bolluklarına oranla verilmiştir.

Tayf çizgilerinin hangi atom ve iyonizasyon seviyesine ait olduklarını belirlemek için çizgi listeleri kullanılır. Çizgi listeleri, tayfsal çizgilere ilişkin enerji seviyeleri, osilatör şiddetleri ve eksitasyon potansiyelleri içeren atomik veri tabanlarından alınabilir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında çizgi listeleri öncelikle SYNSPEC49/SYNPLOT programının kullandığı R. Kurucz'un gfall.dat (Anonymous 2019) ile VALD3 (The Vienna Atomic Line Database, Ryabchikova vd. 1997, 2015) ve NIST (National Institude of Standards and Technology, Kramida vd. 2013) veritabanlarıyla karşılaştırıldı. Daha sonra 3850-6800 Å dalgaboyu aralığında olan tez yıldızlarının tayflarından kimyasal bolluğu ölçülebilen her atomik tür için diğer veritabanlarından genel olarak daha güncel olduğu tespit edilen VALD3 atomik veritabanından çizgi listesi güncellendi. VALD3 çizgi listeleri indirilmeden önce kimyasal bolluk analizinde kullanılacak elementlerin listede işaretli olanlar arasında olup olmadığı kontrol edilebilir

ve kullanılmayacak atomik türler de listeden çıkarılabilir. Bu tez çalışmasında çizgi listesine moleküler çizgiler dahil edilmedi ve VALD3 veritabanında varsayılan olarak işaretli olmayan Baryum elementi de listeye eklendi. Ayrıca gerekli çizgi listeleri VALD3 veri tabanından en fazla 500 Å aralıklarla indirilebildiğinden 4000-7000 Å dalgaboyu aralığındaki kullanılacak olan tüm atomik türlerin elde edilmesi için çizgi listesi altı bölümde indirilerek tamamlandı. Daha sonra GDL (GNU Data Language, Coulais vd. 2010) betiği kullanılarak çizgi listesi SYNPLOT/SYNPLOTBIN programı için uygun formata getirildi. Analizlerde kullanılan atomik türlerin VALD aracılığıyla güncellenen çizgi listesi, atomik türlere ilişkin osilatör şiddetleri (log *gf*) ile alt ve üst uyartılma potansiyelleri (E low ve E up) EK 1'de verilmektedir.

3.5 Çift Yıldızlar için Kuramsal Tayflar

SYNSPEC49/SYNPLOT programı tek yıldızlar için kuramsal tayflar üretir fakat çift yıldızların tayflarını modelleyebilmek için iki ayrı bileşenin de kuramsal tayflarının oluşturulması ve uygun akı oranlarıyla birleştirilmesi gerekir. Bu yüksek lisans tez çalışmasındaki SB2 yıldızlarının A ve B bileşenlerinin kompozit tayflarını oluşturmak için SYNPLOT'un çift yıldızlar için kullanılmasını sağlayan SYNPLOTBIN arayüzü (Kılıçoğlu ve Monier 2018) kullanıldı. SYNPLOTBIN arayüzüne bileşenlerin ikisi için de üretilmiş iki farklı model atmosfer ve gözlemsel tayf girdi parametresi olarak verilmelidir. SYNPLOTBIN arayüzü, SYNSPEC49/SYNPLOT programını kullanarak bileşenlerin kuramsal akı tayflarının ayrı ayrı hesaplanmasını sağlar ve akı oranlarına göre bileşenlerin tayflarını birleştirerek kuramsal bir kompozit çift yıldız tayfı oluşturur. Ancak, bileşenlerin kompozit tayfa ne kadar katkıda bulunduğunun bu süreçte tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, SYNPLOTBIN arayüzünde farklı $T_{\rm e}$ ve log g değerleri için üretilen model atmosferle kuramsal tayflar oluşturuldu. Aynı $T_{\rm e}$ değerlerine karşılık farklı iki log g değeri için üretilmiş kuramsal tayfların akılarının log g değeri değiştiğinde önemli miktarda değişmediği gözlendi. Bu durum, bileşenler için üretilen kuramsal tayfların yıldızın birim yüzeyinden çıkan akılara göre oluşturulduğunu göstermektedir. Gerçek akı oranının hesaplanabilmesi için bileşenlerin tüm yüzeyinden yayılan ışınımın

oranlarına ihtiyaç vardır. Bu oranlar ancak yıldızların yarıçapları bilindiği taktirde hesaplanabilir. Bu hesaplama için, toplam ışıtma gücü (L) ve yüzey çekim ivmesi (g) bağıntıları yardımıyla bileşen yarıçaplarının oranlarının karesini hesaplayan bir ifade SYNPLOTBIN arayüzüne eklendi. Bu ifade hesaplanırken öncelikle yıldızların birim dalgaboyu aralığında tüm yüzeylerinden yaptığı ışınımlar ($L_1(\lambda)$) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$L_1(\lambda) = 4\pi {R_1}^2 F_1(\lambda)$$

$$L_2(\lambda) = 4\pi {R_2}^2 F_2(\lambda)$$

Burada $F(\lambda)$ ifadeleri bileşenlerin birim yüzeyinden birim zamanda birim dalgaboyunda yayılan enerjiyi ifade etmekte olup SYNPLOTBIN tarafından üretilen akı dağılımlarını temsil eder. Bu iki ifade birbirlerine oranlanırsa;

$$\frac{L_1(\lambda)}{L_2(\lambda)} = \frac{{R_1}^2 F_1(\lambda)}{{R_2}^2 F_2(\lambda)}$$

elde edilir. Görüldüğü gibi eğer bileşenlerin yarıçapları oranı bilinirse, kompozit tayfa katkılarının (L_1/L_2) ne mertebede olacağı hesaplanabilmektedir. Yarıçap oranlarının hesabında yüzey çekim ivmesi klasik ifadesinde;

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

R_1 ve R_2 yerine konursa;

$${R_1}^2 = \frac{GM_1}{g_1}$$

$${R_2}^2 = \frac{GM_2}{g_2}$$

$$\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 = \frac{M_1}{M_2}\frac{g_2}{g_1}$$

olarak elde edilir. Bu ifadede görüldüğü gibi, yarıçapları oranının karesinin hesaplanması için bileşenlerin kütle oranının bilinmesi gerekmektedir. Bileşenlere ilişkin kütle oranı, tayfsal çiftlerin dikine hız eğrilerinin belirlenmesiye yapılan ayrıntılı yörünge çözümlerinden hassas olarak belirlenebilir. İlgili yıldızın yaşı ve bileşenlerine ilişkin T_{e} ve log g biliniyorsa teorik evrim yollarından da bileşenlerin kütleleri ayrı ayrı elde edilebilir. İfadedeki log g değerleri model atmosferlere girilen log g lerden alınmaktadır. Sonuç olarak bileşenlerin yarıçap oranlarını hesaplayan yukarıdaki modülün SYNPLOTBIN programına eklenmesiyle bileşenlerin akı oranları birim yüzey yerine tüm yüzey referans alınarak belirlenmekte ve bileşenlerin kompozit tayfa katkıları hesaplanmaktadır. Folsom vd. (2012) ve Alecian vd. (2016) da bu şekilde kompozit tayfın normalize akılarının bileşenlerin yarıçapları oranlarının karesiyle ağırlıklandırılarak hesaplanabileceğini göstermiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Yıldızların Atmosfer Parametrelerini Belirlemeye Yönelik İlk Tahminler

Bu yüksek lisans tezi için seçilen Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268 ve HD 23642 SB2 yıldızlarına ilişkin T_e ve log g parametrelerinin belirlenmesine yönelik dört farklı fotometrik değerlendirme yapıldı. Öncelikle yıldızların Strömgren fotometrik sistemine ait $(b\text{-}y)$, m_1, c_1, H_β renk ölçekleri ve ortalama görsel parlaklıkları hatalarıyla birlikte (varsa), Hauck ve Mermilliod (1998)'in kataloğundan alındı. Bu veriler Napiwotzki vd. (1993) kalibrasyonları kullanılarak beş yıldızın ilk tahmini T_e ve log g değerleri hatalarıyla birlikte elde edildi. Geneva fotometrik sistemine ait renk ölçekleri de (U, V, $B1$, $B2$, $V1$, G) Rufener (1976, 1988)'den alındı ve CALIB (North 2012) programıyla yıldızlara ilişkin T_e ve log g değerleri hatalarıyla birlikte belirlendi. Daha sonra, yıldızların Johnson $UBVRI$ fotometrik sistemine ait B ve V filtrelerindeki parlaklıkları Hog vd. (2000)'un kataloğundan toplandı. Bessell vd. (1998)'in kalibrasyonları yardımıyla yıldızların en yakın log g değerine karşılık gelen $B-V$ değerleri için interpolasyon yapılarak bir tahmini T_e daha tespit edildi. Son olarak, Flower (1996)'ın T_e ile $B-V$ arasındaki bağıntıdan anakol yıldızları için belirlenen polinom katsayıları kullanılarak T_e değerleri belirlendi. Bu dört fotometrik yöntemden elde edilen sonuçlar, ortalamaları ve standart sapmaları çizelge 4.1'de verilmektedir.

Yıldızlara ilişkin $E(b-y)$ değerleri yine Napiwotzki vd. (1993) kalibrasyonlarıyla elde edildi. Geneva ve Johnson fotometrik sistemlerine ait renk artıkları olan $E(B2-V1)$* ve $E(B-V)$*, Crawford (1978) ve Nicolet (1981) tarafından verilen $E(b-y)=0.74\times E(B-V)$ ile $E(B2-V1)=0.84\times E(B-V)$ dönüşümleri kullanılarak hesaplandı.

Aynı zamanda yıldızların uzaklıkları Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics, Gaia Collaboration 2018) uydusunca elde edilen paralaks değerleri kullanılarak E(g-r) renk ölçekleri 3D Dust Map websitesinden[3] (Green vd. 2019) belirlendi. 3D Dust Map, yıldızların Pan-STARRS 1, 2MASS ve Gaia verilerinden hesaplanan uzaklıklarına karşılık $E(g\text{-}r)$ değerini ve yıldızlararası toz haritalarını verir. Hesaplanan renk artıklarının sonuçları da yine çizelge 4.1'de verilmektedir. Yıldızların

renk artıklarından çıkan sonuçlarına bakıldığında yıldızlararası kızarma etkisinden fazla etkilenmeklerini söylemek mümkündür.

Çizelge 4.1 Hedef yıldızların renk artıkları ile fotometrik sistemlerden ve kalibrasyonlardan belirlenen T_e ve log g değerleri, ortalamaları ve standart sapmaları

	Mizar A	47 And	HD 42083	HD 169268	HD 23642
$E(b\text{-}y)$	0.0	0.01	0.0	0.0	0.03
$E(B\text{-}V)$*	0.0	0.02	0.0	0.0	0.04
$E(B2\text{-}V1)$*	0.0	0.01	0.0	0.0	0.03
T_e (UBV + B98)	9200	7250	8250	7000	9110
T_e (UBV + F96)	8790	7290	7925	6930	9110
T_e (Geneva)	9296	7400	8483	6997	9523
T_e (Strömgren)	8866	7542	8224	7163	8144
T_e (ort)	9040±250	7370±130	8220±230	7022±100	8970±580
log g (Geneva)	4.22	4.24	4.49	4.68	4.16
log g (Strömgren)	3.97	4.21	4.15	4.23	4.13
log g (ort)	4.1±0.2	4.2±0.02	4.3±0.2	4.5±0.3	4.2±0.02

B98; Bessell vd. (1998), F96 ise Flower (1996) yayınlarını ifade etmektedir.
Belirsizlikler literatür değerlerinin standart sapmalarıdır.

4.2 Çift Yıldızların Bileşenlerinin Dönme ve Dikine Hızlarının Elde Edilmesi

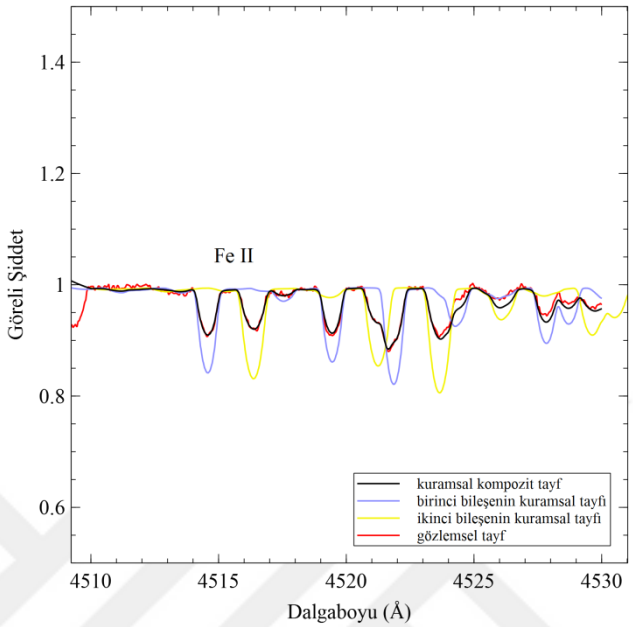
Kimyasal bolluk analizi yapılmadan önce bileşenlerin dönme ve dikine hızları belirlenmelidir. Kuramsal kompozit tayflar gözlemsel tayflarla çakıştırılırken her tayf çizgisinin kanatlarının ve köklerinin olabildiğince iyi fit edilmesi gerekir. Özellikle yıldızların dönme hızı, hızlı dönen yıldızlarda tayf çizgilerini genişlettiği ve çizgi derinliğini azalttığı için profilleri doğrudan etkileyen bir parametredir. Elementlerin kimyasal bolluğu çizginin eşdeğer genişliğine bağlıdır. Bu nedenle tayf çizgilerinin doğru olarak modellenmesi için yıldızların izdüşüm ekvatoryel dönme hızlarının ($v\sin i$) doğru olarak belirlenmesi büyük önem taşır.

[3] http://argonaut.skymaps.info/

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, öncelikle tayflar normalize edildi ve SYNPLOTBIN kodunda kullanılmak üzere yıldızlara ilişkin hesaplanan ve literatürden alınan T_e ve log g değerlerinin alt ve üst sınırları aralığındaki tüm değerler için ATLAS12 model atmosferleri üretildi. Daha sonra SYNPLOTBIN ile bileşenlere ilişkin kuramsal kompozit tayflar oluşturuldu ve bu aşamada bileşenlerin kimyasal bolluklarının Güneş bolluğunda olduğu kabul edildi. Tez yıldızlarının literatürde tayfsal analizi az sayıda olduğundan ve bileşenlere ait ayrı ayrı parametreleri mevcut olmadığından dönme hızları başlangıçta tahmini olarak seçildi. Dikine hızlar ise iki bileşen için de kuramsal tayfta hiç kayma olmadığı varsayılarak başlangıçta sıfır olarak verildi. Mevcut optik bölge tayf aralığında (3850-6800 Å) H Balmer çizgileri ve özellikle tüm tayfta hakim olan Fe II/I çizgileri ayrıntılı incelenecek şekilde açıldı. Tayf çizgileri bileşenlerin ikisi için de merkezi dalgaboylarına denk gelecek şekilde gerektiği yönlerde kaydırılarak kuramsal tayfın gözlemsel tayfa oturtulması sağlandı. Tayfın başından sonuna kadar çizgi gösteren tüm atomik türlerin dikine hızları ölçüldü. Bu ölçümlerin ortalamaları alınarak her bileşen için elde edilen dikine hızlar (v_r) çizelge 4.2'de verilmektedir.

Bileşenlerin dönme hızlarının belirlenmesi için yıldızların tayflarındaki orta şiddetli metal çizgilerine en iyi uyacak şekilde kuramsal profil çakıştırmaları yapıldı. Dönme hızlarının belirlenmesinde öncelikle güvenilirliğinin daha yüksek olduğu bilinen ve tüm tayfa hakim olan Fe II/I çizgileri daha sonra Cr II/I, Ti II/I ve Mg II/I çizgileri dikkate alındı. Dönme hızları belirlenirken çizgi kanatlarının tam süreklilik seviyesinde olmasına ve başka atomik türlerle karışmamasına, yani çizgi profilinin bozulmamış olmasına dikkat edildi. Tüm yıldızların tayfları başlangıcından bitişine kadar 10 Å luk bölgelere açılarak ayrıntılı şekilde incelendi ve tayfta mevcut karışmamış her çizgi için kuramsal tayfın gözlemsel tayfla en iyi örtüştüğü izdüşüm ekvatoryal dönme hızı ($v\sin i$) değerleri hesaplandı. Çizgilerin sığ ya da şiddetli kaldığı yerde elemente ilişkin bolluk miktarları artırıp azaltılarak kuramsal çizginin gözlemsel veri ile tam uyumu sağlandı. Şekil 4.1'de örnek olarak Mizar A yıldızının 4515 Å dalgaboyu bölgesindeki Fe II çizgisine SYNPLOTBIN ile üretilen kuramsal kompozit tayfın dikine hızı ve izdüşüm dönme hızı tam uyum gösterecek şekilde modellenmesi gösterilmektedir. Her çizgiden ayrı ayrı belirlenen $v\sin i$ değerlerinin ortalaması alınarak bileşenler için elde edilen nihai $v\sin i$ değerleri çizelge 4.2'de verilmektedir (bileşenlere ilişkin çizgi sayıları için

bkz., çizelge 4.4-8). Tüm bileşenlerin dikine hızları ve izdüşüm dönme hızları literatür verileriyle uyum göstermektedir.



Şekil 4.1 Mizar A yıldızının kuramsal tayfının gözlemsel tayfına modellenmesine ilişkin Fe II bölgesine ait bir örneği

Çizelge 4.2 Hedef yıldızların bileşenlerine ilişkin elde edilen dikine hızlar ve izdüşüm ekvatoryel dönme hızları

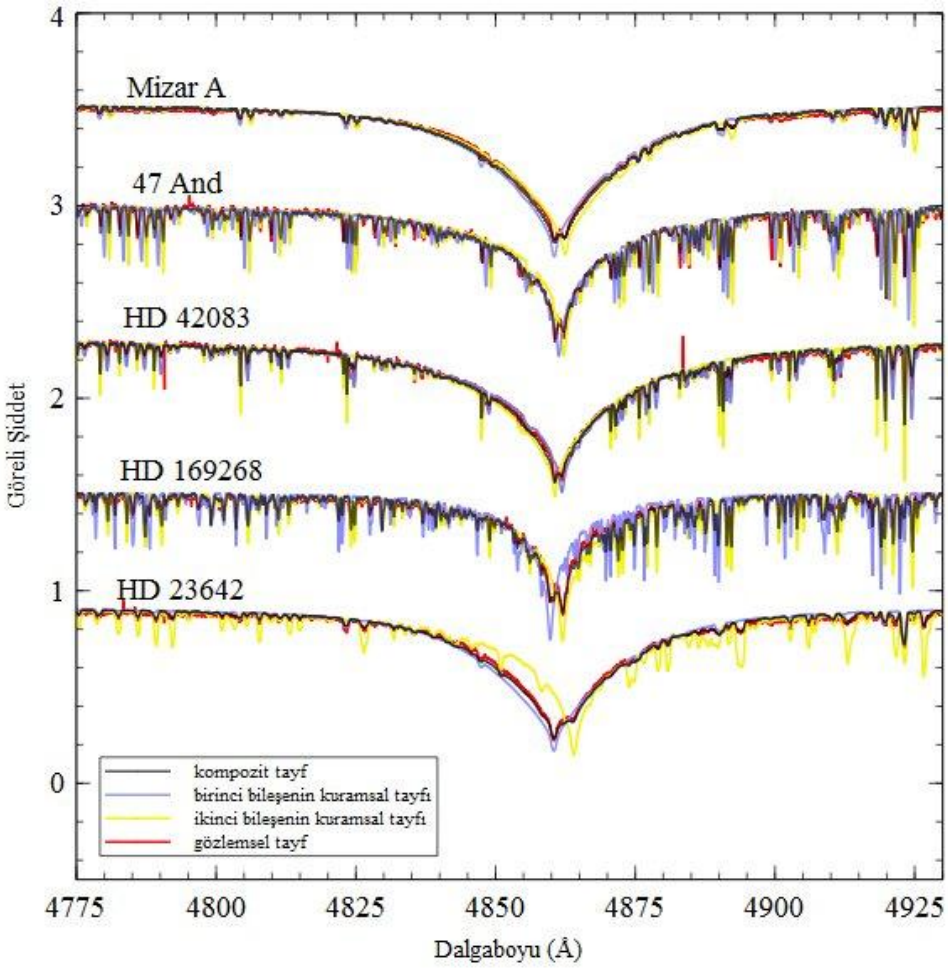
Tez Yıldızları	v_r (km s^{-1})		$v\sin i$ (km s^{-1})	
	Baş Bileşen	Yoldaş bileşen	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Mizar A	-51	68	30	35
47 And	-39	56	15	15
HD 42083	34	-44	22	9
HD 169268	-95	41	12	15
HD 23642	-55	165	38	30

4.3 Bileşenlerin Atmosfer Parametrelerinin Ayrı Ayrı Tespit Edilmesi

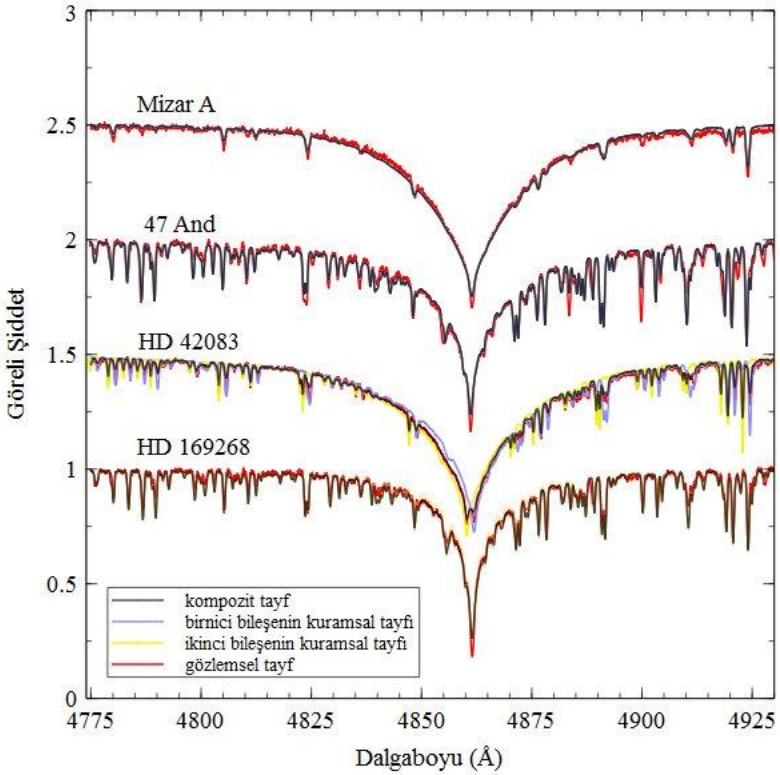
A tayf türünün bulunduğu sıcaklıklarda (7500-10000 K) H Balmer serisi çizgi profilleri hem T_e'ye hem de log g'ye bağlılık gösterirken F tayf türünden olan yıldız

sıcaklıklarında soğuk yıldızlara gidildikçe (6000-7500 K) yüzey çekim ivmesine bağlılık azalırken, etkin sıcaklığa olan bağlılık daha baskındır. Bu yüksek lisans tezinde incelenen A ve F tayf türlerinden 5 yıldızın çift olması nedeniyle, fotometrik verilerden elde edilen etkin sıcaklıklar, bileşenlerin sıcaklıklarına ilişkin sadece kabaca bir fikir verir. Öyle ki, fotometrik hesaplamalar sonucu elde edilen etkin sıcaklık, baş bileşenin etkin sıcaklığına daha yakındır. Bu nedenle iki bileşenin de etkin sıcaklıkları tayfsal yöntemlerle daha hassas şekilde belirlenmelidir.

Bu tez çalışmasında T_e ve log g'nin daha hassas şekilde belirlenebilmesi için 3850-6800 Å dalgaboyu aralığındaki ELODIE tayflarında mevcut H Balmer serisi çizgilerinden ($H_{\alpha,}$ H_β, H_γ ve H_δ) yararlanıldı. SYNPLOTBIN ile elde edilen kuramsal kompozit tayfların gözlemsel tayflara çakıştırmaları yapıldığında özellikle H_β çizgi kanatlarının süreklilik seviyesine daha iyi oturduğu görüldü ve T_e ile log g belirlenirken H_β çizgisi daha çok dikkate alındı. Yıldızların AUKR gözlemleri sonucu elde edilen tayfları H Balmer çizgilerinin ve özelikle H_β çakıştırmalarının doğruluğunu denetlemek amacıyla kullanıldı. Şekil 4.2 ve 4.3'de verildiği üzere bileşenlere ilişkin üretilmiş kuramsal kompozit tayflar hem ELODIE tayflarının hem de AUKR tayflarının H_β çizgilerine fit edilerek gözlemsel tayfa olan uyumun en iyi olması sağlandı. Böylece beş SB2 yıldızının kuramsal H_β çizgi profillerinin gözlemsel tayfla en iyi uyum sağladığı T_e ve log g değerleri belirlenmiş oldu. HD 23642 yıldızının AUKR tayfı, gözlemi gerçekleştirilemediğinden dolayı mevcut değildir. Aynı zamanda AUKR gözlemlerinde Mizar A, 47 And ve HD 169268 yıldızları örtülme evresinde olduklarından tek yıldız gibi görünmektedir. Yalnızca HD 42083 yıldızı 106 günlük uzun dönemi sayesinde bileşenlerin örtülmediği evrede gözlenebilmiştir.



Şekil 4.2 Hedef yıldızların kuramsal kompozit tayflarının gözlemsel ELODIE tayflarındaki H_β çizgisine modellenmesi

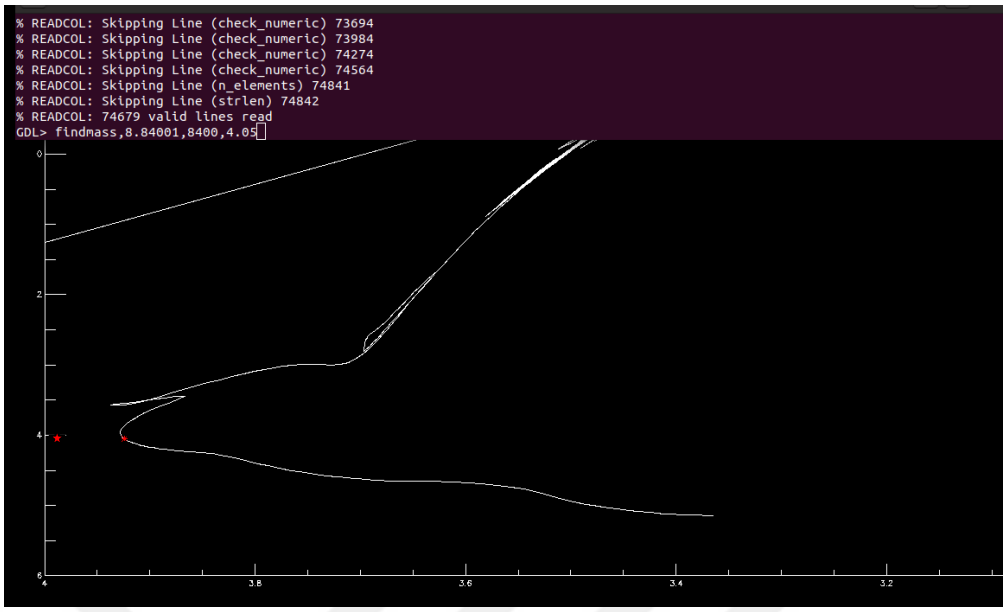


Şekil 4.3 Hedef yıldızların kuramsal kompozit tayflarının gözlemsel AUKR tayflarındaki H_β çizgisine modellenmesi

Kimyasal bolluk analizinin anlamlı olabilmesi için bileşenlere ilişkin kütlelerin bilinmesi gerekir. Büyük kütleli olan baş bileşenle daha küçük kütleye sahip olan yoldaş bileşen arasındaki fark, bileşenlerin atmosfer parametrelerinin de ne kadar farklı olacağının önemli bir belirtecidir. Bu yüksek lisans tezinde, literatürde çalışması çok az olan ve çoğunun bileşenlerine ilişkin atmosfer parametreleri bulunmayan yıldızlar çalışıldığı için atmosfer parametrelerinin daha hassas şekilde tespit edilmesi adına Bressan vd. (2012)'nın teorik evrim modelleri kullanıldı. Teorik evrim yolları, PARSEC izokronları CMD 3.3 web[4] arayüzünden Güneş'in başlangıç metal bolluğu $Z_{initial}$=0.01774 (Bressan vd. 2012) alınarak indirildi.

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

İstenilen yaş aralığında indirilebilen evrim yolları binlerce satırdan oluştuğu için indirilen teorik evrim yollarından alınan yıldızın yaşı, T_e ve log g parametrelerinin girdi olarak verilmesiyle çalışan ve evrim yollarının çizdirilip yıldızın hangi yaşta tam olarak evrim yolu üzerine oturacağını belirleyen bir IDL kodu yazıldı. Burada girdi parametresi olan T_e ve log g parametreleri yıldızların literatürden alınan, fotometrik sistemlerden hesaplanan ve kuramsal H_β çizgilerinin gözlemsel tayfla çakıştırılması sonucu elde edilen sonuçlarıyla birlikte değerlendirildi. SYNPLOT arayüzü kullanılarak bu kod çalıştırıldı ve yıldızın yaşı değiştirilerek hangi yaştaki evrim yoluna tam olarak oturduğu belirlendi (Şekil 4.4'de HD 42083 yıldızına ilişkin bir örneği verilmektedir). Yıldızların izokrona tam oturduğu yaş listeden bulunarak ve yıldızların literatürden elde edilen kütleleri kullanılarak birinci bileşenin kütlesinin denk geldiği T_e ve log g değeriyle, ikinci bileşenin kütlesinin denk geldiği T_e ve log g arasındaki farklar hesaplandı. Böylece, bileşenlerin kütleleri arasındaki farkın, Te ve log g'ye ne kadar etki ettiği hesaplanarak ΔT_e ve Δlog g elde edilmiş oldu. Aynı zamanda bileşenlerin kütlelerinin doğruluğu da denetlenmiş oldu. Yeni model atmosferler sıcak ve soğuk bileşenler arasındaki bu farka uygun şekilde üretildi. Bu fark çerçevesinde öncelikle H Balmer çizgileri ve diğer tüm tayf çizgileri tekrar denetlenerek kuramsal kompozit tayfın gözlemsel tayfa uyumu daha anlamlı ve hasssas hale getirildi. Böylece beş yıldızın yaşları, baş ve yoldaş bileşenlerinin olası kütleleleri (M_A ve M_B), T_e ve log g atmosfer parametreleri belirlenmiş oldu (Çizelge 4.3). Sadece HD 23642 yıldızının bileşenlerinin etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve kütleleri, yörünge çözümleriyle Southworth vd. (2005) tarafından hassas olarak elde edildiğinden doğrudan bu yayından alındı.



Şekil 4.4 HD 42083 yıldızının teorik evrim yolu

Çizelge 4.3 Yıldızların yaşları ile bileşenlerin kütleleri ve atmosfer parametreleri

	Mizar A	47 And	HD 42083	HD 169268	HD 23642
Yaş (10^6 yıl)	513	1071	691	1122	251
M_A ($M_\odot$)	2.5	1.65	2	1.38	*2.2±0.022
M_B ($M_\odot$)	2.42	1.62	1.878	1.516	*1.55±0.044
$T_{e,A}$ (K)	9000	7420	8400	6800	*9750±250
$T_{e,B}$ (K)	9150	7350	8100	7100	*7600±400
log g_A (cgs)	3.9	4.1	4.05	4.24	*4.25±0.014
log g_B (cgs)	4.0	4.1	4.1	4.17	*4.25±0.025
ξ_A (km s^{-1})	1.9	3.6	3.0	1.6	2.0
ξ_B (km s^{-1})	3.1	4.0	4.4	2.2	3.1

*Southworth vd. (2005)

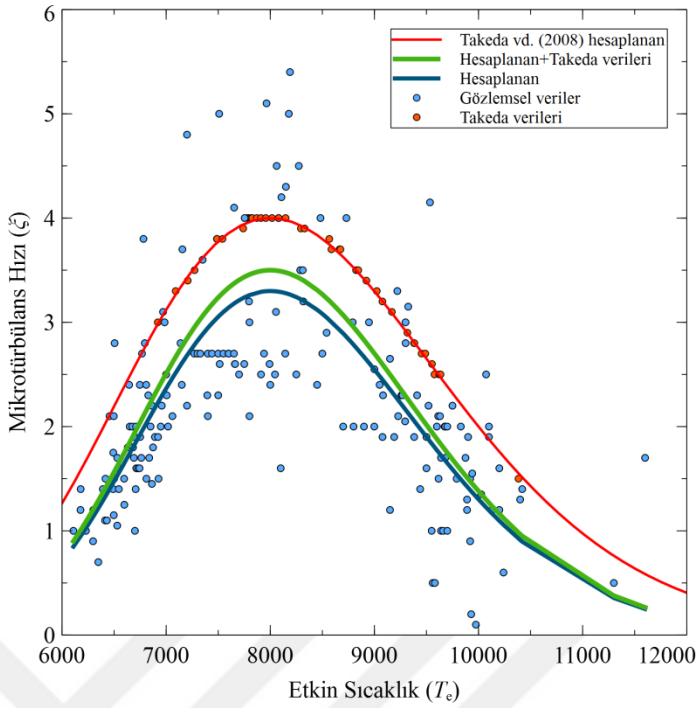
Diğer bir önemli atmosfer parametresi olan mikrotürbülans hızı ise tayf çizgilerinin eşdeğer genişliklerini arttırır (Gray vd. 2001). Elementlerin kimyasal bollukları da eşdeğer genişliğe bağlı olduğundan mikrotürbülans hızı hesaba katılmadığı zaman hesaplanan kimyasal bolluklar olduğundan daha fazla çıkacaktır. Bu tez çalışmasında mikrotürbülans hızlarının ilk tahminleri için aşağıda verilen ve Bölüm 3.4'de ayrıntılı anlatılan T08 yayınındaki bağıntı kullanıldı:

ξ^{std}=4 exp{−[log(T_{eff}/8000)/A]^2}, A ≡ [log(10000/8000)]/$\sqrt{ln2}$)

T08'in bu bağıntıyı oluşturduğu yıldızlardan kimyasal tuhaf olanlar elenerek geri kalan yıldızların sıcaklıkları mikrotürbülanlarına karşı çizdirildi. Daha sonra bu bağıntıyı denetlemek adına fotosferik kimyasal bollukları önceden ayrıntılı şekilde çalışılmış olan A ve F tayf türünden yıldızların mikrotürbülans hızları (ξ) ve etkin sıcaklıkları (T_e) literatürden toplandı (örn., Adelman vd. 1997, Gebran ve Monier 2008, Adelman 2014). Literatürden toplanan bu veriler grafiğe geçirildi ve T08 makalesindeki mikrotürbülans bağıntısından teorik mikrotürbülans değerleri elde edilerek grafik üzerine eklendi. Dağılımı en iyi temsil eden model eğrisinden yıldızların mikrotürbülans değerlerinin hangi mertebede olduğu ortaya konuldu. Gözlemsel mikrotürbülans değerlerinin teorik olanlardan farkının karelerinin ortalamasının karekökü (İng., Root mean square, RMS) alındı. Şekil 4.5'de açıkça gözlenen T08'nın bağıntıyı oluşturduğu yıldızlardan elde edilen eğrinin literatürden toplanarak elde edilen eğriyi yukarı çektiği tespit edildi. T08 bağıntısında, T_e 8000 K olduğunda ξ = 4 km s^{-1}, T_e = 10000 K olduğunda ise ξ = 2 km s^{-1} değerlerini vermektedir. Hesaplamalar sonucunda, T08 verileri literatürden toplanan verilerin üzerine eklendiğinde 8000 K e karşılık gelen mikrotürbülans hızının 3.5 km s^{-1}, T08 verileri eklenmeden yalnızca literatür verileri kulllanıldığında ise 3.3 km s^{-1} değerini verdiği belirlendi (Şekil 4.5). Bu farkın, T08'in bu bağıntıyı elde ederken yalnızca 30 Å aralığını kapsayan 6150 dalgaboyu bölgesini ve 20 Å aralığını kapsayan 7775 dalgaboyu bölgesini kullanmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Yalnızca kısa dalgaboyu aralıklı iki bölge, tüm tayfı ve tüm elementleri temsil etmeye yeterli olmadığından T08 bağıntısındaki '4' çarpanı ve A eşitliğindeki '10000' değeri bağımsız değişken olarak atanarak RMS değerini en küçük yapan değerler sonucunda ifade aşağıdaki şekilde düzenlendi:

ξ^{std}=3.3 exp{−[log(T_{eff}/8000)/A]^2}, A≡[log(9700/8000)]/$\sqrt{ln2}$)

Düzenlenen bu formülle tez yıldızlarının mikrotürbülans değerleri; Mizar A için 2.37 km s^{-1}, 47 And için 2.96 km s^{-1}, HD 42083 için 3.2 km s^{-1}, HD 169268 için 2.33 km s^{-1} ve HD 23642 için 2.58 km s^{-1} olarak hesaplandı.

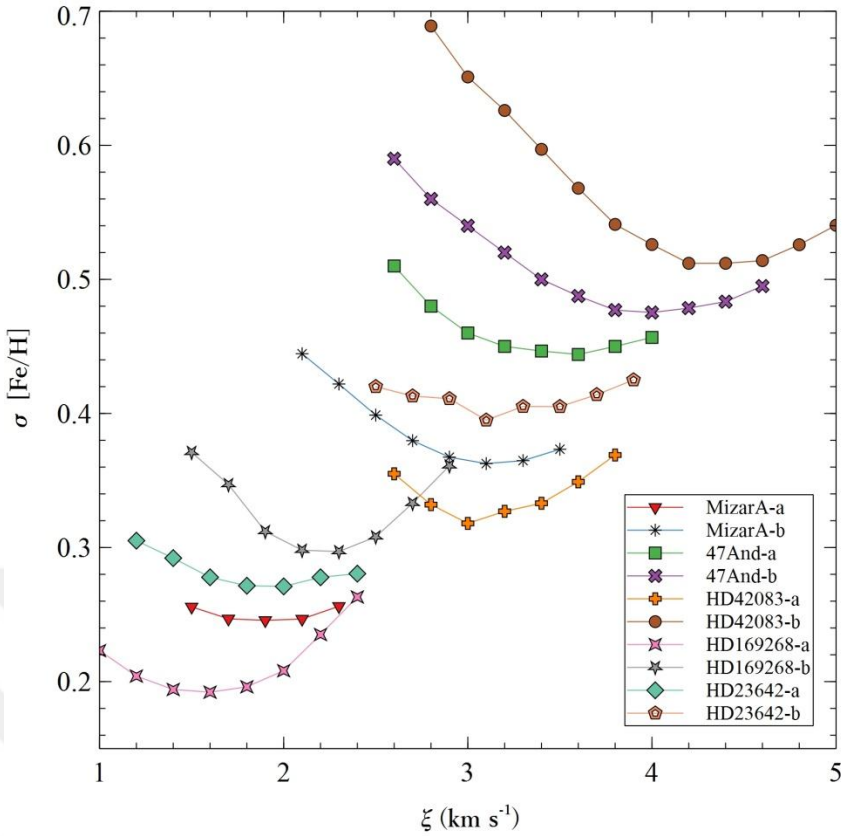


Şekil 4.5 Literatürden toplanan A ve F yıldızlarıyla T08 verilerinin sıcaklığa karşı gözlemsel mikrotürbülans değerleri

T08 verilerinin gözlemsel verilerle birlikte kendi başına bir eğri oluşturduğu ve gözlemsel verilerden T08 verileri çıkarıldığında hesaplanan eğrinin tepe değerini aşağı açıkça gözlenmektedir.

Mikrotürbülans hızlarını daha hassas şekilde belirlemek için yeniden düzenlenen formülle hesaplanan değerler girdi parametresi olarak seçilerek, hedef yıldızların 3850-6800 Å aralığındaki ELODIE tayflarından tespit edilen Fe II çizgilerinin bolluklarının standart sapmaları hesaplandı. Fe II çizgilerinin seçilmesinin nedeni bu çizgilerin yerel termodinamik denge varsayımından ciddi şekilde etkilenmemesidir (bkz., Schiller ve Przybilla 2008, Molina ve Ferro 2013). Tez yıldızlarının sıcaklıklarına karşılık gelen mikrotürbülans değerlerinden 0.2 artırıp azaltılarak farklı mikrotürbülans değerleri için bulunan bolluk ölçümlerinin ortalamaları ve standart sapmaları alındı. Fe II çizgilerinden hesaplanan kimyasal bollukların standart sapmasının en küçük olduğu mikrotürbülans değeri bulunana kadar ölçümler sürdürüldü. Tayf çizgilerinin kanatları arasında normalize seviyesinde fark olanlar ve birbiriyle karışmış çizgiler ile bu gibi etkilerden dolayı aykırı sonuçlar verebilecek çizgilerin ayıklanması için verilerin standart dağılımının %95 olasılıktan ne ölçüde saptığının bulunmasını sağlayan 2σ güvenilirliğine uymayan çizgiler kullanılmadı. Tüm tayf aralığı ayrıntılı şekilde

incelenerek karışmamış Fe II çizgilerinin her iki bileşene mikrotürbülans değerleri için ayrı ayrı bolluk ölçümleri yapıldı. Sonuç olarak, Mizar A yıldızının birinci bileşeni için 20 adet Fe II çizgisinden 1.5, 1.7, 1.9, 2.1 ve 2.3 şeklinde beş farklı mikrotürbülans değeri için, ikinci bileşeni için ise 17 Fe II çizgisinden 2.1'den 3.5'e kadar sekiz farklı mikrotürbülans değeri için 0.2 aralıklarla bolluk ölçümleri yapıldı ve bollukların standart sapmasının en düşük olduğu mikrotürbülans değeri birinci bileşen için 1.9 km s^{-1}, ikinci bileşen için 3.1 km s^{-1} olarak belirlendi. Aynı şekilde 47 And yıldızının birinci bileşeni için 21 Fe II çizgisinden 2.6-4.0 aralığında sekiz mikrotürbülans değeri ve ikinci bileşeni için 26 Fe II çizgisinden 2.6-4.6 aralığında onbir mikrotürbülans değeri için yapılan bolluk ölçümleri sonucunda birinci bileşenin mikrotürbülans hızı 3.6 km s^{-1} ve ikinci bileşeninki 4 km s^{-1} olarak tespit edildi. HD 42083 yıldızının birinci bileşeni için 28 Fe II çizgisinden 2.6-3.8 aralığında yedi mikrotürbülans değeri ve ikinci bileşeni için 35 Fe II çizgisinden 2.8-5.0 aralığında onbir mikrotürbülans değeri için yapılan bolluk ölçümleri sonucunda birinci bileşenin mikrotürbülans hızı 3.0 km s^{-1} ve ikinci bileşeninki 4.4 km s^{-1} olarak belirlendi. HD 169268 yıldızının birinci bileşeni için 15 Fe II çizgisinden 1.0-2.4 aralığında sekiz mikrotürbülans değeri ve ikinci bileşeni için 15 Fe II çizgisinden 1.5-2.9 aralığında sekiz mikrotürbülans değeri için yapılan bolluk ölçümleri sonucunda birinci bileşenin mikrotürbülans hızı 1.6 km s^{-1} ve ikinci bileşeninki 2.2 km s^{-1} olarak elde edildi. Son olarak HD 23642 yıldızının birinci bileşeni için 9 Fe II çizgisinden 1.2-2.4 aralığında yedi mikrotürbülans değeri ve ikinci bileşeni için 13 Fe II çizgisinden 2.5-3.9 aralığında dokuz mikrotürbülans değeri için yapılan bolluk ölçümleri sonucunda birinci bileşenin mikrotürbülans hızı 2.0 km s^{-1} ve ikinci bileşeninki 3.1 km s^{-1} olarak tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlar çizelge 4.3'ün son iki satırında yer almaktadır ve yapılan işlemler şekil 4.6'da verilmektedir. Eğriler daha rahat görülebilmesi için y ekseninde rastgele sabitler eklenerek kaydırılmıştır.



Şekil 4.6 Bileşenlerin mikrotürbülans hızlarının belirlenmesi

4.5 Çift Yıldızların Kimyasal Bolluk Analizi

SYNPLOTBIN programına normalize edilen gözlemsel tayf, T_e ve log g parametreleri belirlenen birinci ve ikinci bileşenin model atmosferleri, dönme ve dikine hızları, mikrotürbülans hızları, ilgili dalgaboyu aralığı, ELODIE tayfçekerine YYTG değeri ve bileşenlerin kütle oranı girildi. Kimyasal bolluk analizi yapılacak ilgili elementin bolluğu başlangıçta Güneş bolluğunda verildi. Kimyasal bolluğu belirlenecek bileşenin hangisi olduğu da yine bir parametre olarak SYNPLOTBIN programına girildi. Bolluk analizinde, her bileşen için tüm tayf aralığı baştan sona ayrıntılı şekilde incelenerek karışmamış ve yeterli şiddete sahip olan, kanatları arasında süreklilik seviyesi farkı olmayan yani profili bozulmamış her atomik türe ait tayf çizgileri dikkate alındı. SYNPLOTBIN programının yıldızların tayflarında fazlaca bulunan bu tür karışmış çizgilerin olduğu bölgeleri de iyi şekilde modellediği gözlendi. Tayfın en başından başlanarak ilgili atomik türün kuramsal kompozit tayfının gözlemsel tayfına oturduğu en ayrıntılı görüneceği şekilde dalgaboyu 5 veya 10 Å gibi küçük aralıklarda açıldı.

Kimyasal bolluğun ölçümü için SYNPLOTBIN'deki *measure* komutuyla, ilgili atomik türe ait tayf çizgisinin başladığı ve bittiği noktaların işaretlenmesinin ardından en iyi bolluk değerini bulana kadar bir dizi iterasyon gerçekleştirildi. Bu iterasyonlar sonucunda ilgili atomik türün bolluğunun Güneş bolluğundan ne kadar farklı olduğu belirlendi. Aynı zamanda bu komutta, mevcut karışmış çizgiler varsa bunlardan hangisinin bolluğunun belirlenmek istendiği de seçilebilmektedir. Bu sayede, eğer bir atomik türün tüm tayf çizgileri diğer elementlerin tayf çizgileriyle karışmış durumdaysa ve özellikle bu çizgi yıldızda bir kimyasal tuhaflığın olup olmayacağını belirleyen önemli bir elementin çizgisiyse, önce karıştığı çizginin bolluğu belirlenip daha sonra diğer elementin tayf çizgisine karışan çizginin kendisinin bolluğu belirlenebilmektedir.

Bu komutla on adet SB2 bileşenine ait tayfta çizgi gösteren ve belirlenebilecek durumdaki tüm atomik türlerin kimyasal bollukları belirlendi. Aynı atomik türe ilişkin belirlenen bolluklarının ortalamaları ve standart sapmaları alındı. Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268 ve HD 23642 yıldızlarının bileşenlerinin her biri için belirlenen kimyasal elementler, elementlerden ölçülen çizgi sayıları, bu elementlerin bollukları, standart sapmaları, birinci ve ikinci bileşen arasındaki kimyasal element bolluklarının farkı ve farkın standart sapmaları (bileşenlerin standart sapmalarının karelerinin toplamının karekökü) çizelge 4.4-8'de verilmektedir.

Çizelge 4.4 Mizar A yıldızının bileşenlerine ilişkin tayfta çizgi gösteren atomik türler, atomik türlerin çizgi sayıları, birinci ve ikinci bileşenin kimyasal element bolluklarıyla standart sapmaları, ikinci bileşenin kimyasal bolluğunun birinci bileşenin kimyasal bolluğundan farkı ve toplam standart sapmalar

Atomik Tür	$[X/H]_A \pm \sigma$	$[X/H]_B \pm \sigma$	$[X/H]_B$-$[X/H]_A$	Toplam σ
O I (4, 3)	-0.44 ± 0.05	-0.43 ± 0.06	0.01	0.08
Mg I (5, 5)	-0.36 ± 0.44	-0.24 ± 0.12	0.12	0.46
Mg II (4, 3)	-0.07 ± 0.07	+0.12 ± 0.10	0.19	0.12
Si II (4 ,4)	+0.22 ± 0.19	+0.49 ± 0.25	0.28	0.31
S I (2, 2)	-0.31 ± 0.15	-0.19 ± 0.15	0.12	0.21
Ca I (10, 9)	-0.47 ± 0.29	-0.11 ± 0.24	0.36	0.38
Sc II (6, 5)	-0.78 ± 0.11	-0.45 ± 0.20	0.33	0.23
Ti II (22, 18)	+0.07 ± 0.30	+0.14 ± 0.22	0.07	0.37
V II (1, 2)	-0.02 ± 0.24	+0.41 ± 0.24	0.43	0.34
Cr I (1, 1)	+0.12 ± 0.29	-0.02 ± 0.23	-0.14	0.37
Cr II (23, 22)	-0.03 ± 0.19	+0.10 ± 0.32	0.07	0.37
Mn I (1, 1)	-0.15 ± 0.33	-0.08 ± 0.46	0.07	0.57
Fe I (32, 29)	-0.14 ± 0.14	-0.03 ± 0.19	0.12	0.23
Fe II (20 ,17)	+0.06 ± 0.26	+0.09 ± 0.11	0.03	0.28
Ni I (4, 6)	+0.17 ± 0.20	+0.23 ± 0.16	0.06	0.26
Y II (2, 2)	+0.21 ± 0.18	+0.28 ± 0.34	0.07	0.38
Ba II (1, 1)	+0.48	+0.44	-	-

Parantez içindeki sayılar ilgili atomik türe ait A ve B bileşenlerinin çizgi sayılarıdır.

Çizelge 4.5 47 And yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri

Atomik Tür	$[X/H]_A \pm \sigma$	$[X/H]_B \pm \sigma$	$[X/H]_B$-$[X/H]_A$	Toplam σ
C I (4, 4)	-0.59 ± 0.10	-0.31 ± 0.10	0.27	0.14
Mg I (1, 4)	+0.14 ± 0.29	-0.44 ± 0.19	-0.59	0.35
Si I (6, 5)	-0.21 ± 0.06	-0.05 ± 0.07	0.16	0.09
Si II (2, 3)	-0.10 ± 0.26	+0.29 ± 0.35	0.40	0.44
S I (6, 5)	-0.06 ± 0.09	-0.10 ± 0.07	-0.04	0.11
Ca I (5, 7)	-1.13 ± 0.08	-1.11 ± 0.07	0.02	0.11
Sc II (2, 3)	-1.44 ± 0.07	-0.86 ± 0.11	0.58	0.13
Ti II (13, 17)	-0.26 ± 0.36	-0.23 ± 0.10	0.03	0.38
Cr I (11, 8)	-0.11 ± 0.07	+0.03 ± 0.09	0.15	0.12
Cr II (11, 11)	+0.17 ± 0.33	+0.44 ± 0.29	0.27	0.44
Mn I (2, 5)	-0.13 ± 0.11	+0.02 ± 0.08	0.16	0.14
Fe I (148, 146)	-0.03 ± 0.11	+0.04 ± 0.10	0.06	0.15
Fe II (21, 26)	+0.10 ± 0.12	+0.23 ± 0.15	0.13	0.19
Ni I (17, 19)	+0.25 ± 0.23	+0.27 ± 0.23	0.03	0.32
Y II (3, 2)	+0.66 ± 0.32	+1.38 ± 0.33	0.72	0.46
Ba II (2, 3)	+0.71 ± 0.40	+1.03 ± 0.43	0.32	0.59

Çizelge 4.6 HD 42083 yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri

Atomik Tür	$[X/H]_A \pm \sigma$	$[X/H]_B \pm \sigma$	$[X/H]_B$-$[X/H]_A$	Toplam σ
C I (4, 7)	-0.01 ± 0.05	-0.04 ± 0.09	-0.03	0.10
O I (1, 1)	-0.08 ± 0.09	+0.25 ± 0.11	0.34	0.15
Na I (3, 3)	+0.55 ± 0.26	+0.37 ± 0.32	-0.18	0.41
Mg I (4, 3)	-0.07 ± 0.28	-0.23 ± 0.18	-0.16	0.33
Si I (1, 3)	+0.31 ± 0.09	-0.05 ± 0.07	-0.37	0.11
Si II (4, 3)	+0.14 ± 0.10	+0.36 ± 0.15	0.22	0.18
S I (1, 1)	-0.11 ± 0.06	-0.15 ± 0.09	-0.04	0.10
Ca I (8, 13)	-0.14 ± 0.14	-0.36 ± 0.16	-0.22	0.21
Sc II (3, 6)	+0.27 ± 0.16	+0.05 ± 0.15	-0.22	0.22
Ti II (17, 27)	+0.37 ± 0.19	+0.23 ± 0.23	-0.14	0.30
Cr I (4, 5)	+0.35 ± 0.26	-0.13 ± 0.11	-0.49	0.28
Cr II (16, 16)	+0.40 ± 0.34	+0.26 ± 0.40	-0.13	0.52
Mn I (5, 6)	+0.32 ± 0.10	-0.05 ± 0.09	-0.37	0.13
Fe I (71, 104)	+0.07 ± 0.19	-0.15 ± 0.11	-0.23	0.21
Fe II (28, 35)	+0.04 ± 0.17	+0.04 ± 0.11	0.00	0.21
Ni I (5, 11)	+0.28 ± 0.11	-0.01 ± 0.11	-0.29	0.15
Y II (1, 3)	+0.54 ± 0.14	+0.14 ± 0.12	-0.40	0.18
Ba II (2, 2)	+0.57 ± 0.26	+0.06 ± 0.30	-0.51	0.40

Çizelge 4.7 HD 169268 yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri

Atomik Tür	$[X/H]_A \pm \sigma$	$[X/H]_B \pm \sigma$	$[X/H]_B$-$[X/H]_A$	Toplam σ
C I (-, 4)	-	-0.08 ± 0.12	-	-
Na I (2, -)	+0.11 ± 0.18	-	-	-
Mg I (3, 2)	-0.05 ± 0.08	-0.36 ± 0.17	-0.31	0.19
Si I (5, -)	-0.08 ± 0.10	-	0.08	-
Si II (2, 2)	+0.09 ± 0.26	-0.07 ± 0.19	-0.17	0.32
S I (1, 1)	-0.11 ± 0.14	-0.36 ± 0.09	-0.25	0.16
Ca I (10, 12)	+0.17 ± 0.25	-0.48 ± 0.08	-0.65	0.26
Sc II (4, 4)	-0.01 ± 0.35	-0.11 ± 0.10	-0.10	0.36
Ti I (4, -)	-0.04 ± 0.18	-	0.04	-
Ti II (12, 2)	+0.01 ± 0.18	-0.09 ± 0.37	-0.09	0.42
Cr I (11, 5)	-0.06 ± 0.30	-0.49 ± 0.06	-0.43	0.31
Cr II (8, 8)	+0.10 ± 0.20	-0.20 ± 0.16	-0.30	0.26
Mn I (4, 3)	+0.05 ± 0.34	-0.38 ± 0.13	-0.43	0.36
Fe I (130, 89)	+0.02 ± 0.19	-0.44 ± 0.08	-0.46	0.20
Fe II (15, 15)	-0.06 ± 0.37	-0.39 ± 0.18	-0.32	0.41
Ni I (18, 8)	-0.09 ± 0.15	-0.54 ± 0.11	-0.45	0.19
Y II (2, 3)	-0.02 ± 0.26	-0.43 ± 0.10	-0.42	0.27
Ba II (2, -)	+0.09 ± 0.31	-	-	-

Çizelge 4.8 HD 23642 yıldızının bileşenleri için Çizelge 4.4'ün benzeri

Atomik Tür	$[X/H]_A \pm \sigma$	$[X/H]_B \pm \sigma$	$[X/H]_B$-$[X/H]_A$	Toplam σ
Na I (2, 2)	+0.33 ± 0.14	+0.42 ± 0.34	0.09	0.37
Mg I (2, 3)	-0.10 ± 0.14	-0.56 ± 0.40	-0.45	0.42
Si II (2, 2)	+0.31 ± 0.12	-0.12 ± 0.28	-0.43	0.31
Ca I (-, 9)	-	-0.28 ± 0.28	-	-
Sc II (-, 2)	-	-0.11 ± 0.20	-	-
Ti II (5, 16)	+0.04 ± 0.15	+0.05 ± 0.60	0.01	0.62
Cr I (-, 4)	-	+0.10 ± 0.20	-	-
Cr II (3, 12)	+0.28 ± 0.13	+0.15 ± 0.53	-0.13	0.55
Fe I (6, 84)	-0.13 ± 0.08	+0.04 ± 0.24	0.17	0.25
Fe II (9, 13)	+0.05 ± 0.15	+0.17 ± 0.32	0.12	0.35
Ni I (-, 7)	-	+0.15 ± 0.25	-	-
Ba II (-, 3)	-	+0.75 ± 0.50	-	-

4.6 Belirsizlik Hesabı

Kimyasal bolluk analizi yapılan atomik türlerin hangi hata sınırları içinde olduğu da en az kimyasal bolluğun kendisi kadar önemlidir. Aynı atomik türe ait elde edilen bolluklar çizgiden çizgiye farklılık gösterebilir. Bir atomik türün çizgi sayısı ne kadar fazlaysa elde edilen sonuç da o kadar güvenilir olmaktadır. Aynı zamanda her elementin etkin sıcaklığa yüzey çekim ivmesine ve mikrotürbülans hızına olan duyarlılığı da farklılık gösterebilir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, bileşen yıldızların her birinden bolluğu belirlenen tüm atomik türlerin T_e, log g ve ξ üzerine etki eden sistematik belirsizlikleri hesaplandı. Belirsizlik hesabı için öncelikle, her bileşenin her atomik türünden bolluklarının ortalamasına en yakın olan ve kuramsal kompozit tayfın en iyi uyduğu bir çizgi belirlendi. Daha sonra bu çizgi mevcut atmosfer parametrelerinde ve ilgili bileşenin etkin sıcaklığı 200 K, yüzey çekim ivmesi 0.1 ve mikrotürbülansı ise 0.2 artırılarak tekrar ölçüldü. Örneğin, atmosfer parametreleri $T_{e,A}$=9000 K, log g_A=3.9 ve ξ_A=1.9 km s^{-1} olarak belirlenen Mizar A yıldızının birinci bileşeni için seçilen atomik türünün kimyasal bolluğu diğer parametreler sabit kalacak şekilde önce $T_{e,A}$=9200 K alınarak tekrar ölçüldü. İlgili atomik türün 9200 K'de ölçülen kimyasal bolluk değeriyle 9000 K'de ölçülen kimyasal bolluk değerinin farklarının kareleri alındı. Böylece ilgili atomik türün bolluğunun etkin sıcaklık üzerine sistematik belirsizliği belirlenmiş oldu. Yüzey

çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızının belirsizlik hesabı için de yine aynı şekilde önce sadece log g_A değeri 3.9 yerine 0.1 artırılıp 4.0 alınarak ve daha sonra sadece ξ_A'nın değeri 1.9 km s^{-1} yerine 0.2 artırılıp 2.1 km s^{-1} alınarak atomik türlerin bollukları ölçüldü ve iki değer arasındaki fark kareleri hesaplanarak sistematik belirsizlikleri elde edildi. Ayrıca her bileşenin elde edilen kimyasal element bolluklarının çizgiden çizgiye farklılıklar sergilemesinden ileri gelen standart sapmalarının çizgi sayılarının bir eksiğinin karekköküne bölünmesiyle standart hataları hesaplandı. Son olarak fark kareleri alınmış etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve mikrotürbülans belirsizlerinin toplamlarının karekökü şeklinde toplam belirsizlik hesaplandı. 10 adet SB2 bileşenine ilişkin bolluğu belirlenen atomik türlerin belirsizlik hesabı sonuçları çizelge 4.9-18'de verilmektedir. Tüm bileşenlere ilişkin atomik türlerin belirsizlikleri değerlendirildiğinde, mikrotürbülans ve standart hatadan kaynaklı belirsizliklerin oranının çok düşük olduğu görülmektedir. Elementlerin mikrotürbülans üzerine etki eden sistematik belirsizliklerinin en az olmasına karşın log g parametresinden gelen belirsizliklerin de en fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bazı elementlerin etkin sıcaklığa karşı daha duyarlı olduğu da yine çizelge 4.9-18'de açıkça görülmektedir. En düşük belirsizlikler ise 0.1 ile 0.2 mertebeleri aralığında olan HD 42083 yıldızının bileşenlerine aittir.

Çizelge 4.9 Mizar Aa bileşenine ilişkin mevcut atomik türlerin etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızları üzerine etki eden sistematik belirsizlikleri, standart hataları ve toplam belirsizlikleri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
O I	0.00	0.05	0.00	0.05	0.15
Mg I	0.16	0.41	0.09	0.44	0.10
Mg II	0.02	0.07	0.01	0.07	0.08
Si II	0.01	0.19	0.05	0.19	0.22
S I	0.15	0.01	0.01	0.15	0.06
Ca I	0.29	0.02	0.01	0.29	0.05
Sc II	0.11	0.01	0.02	0.11	0.12
Ti II	0.13	0.27	0.05	0.30	0.03
V II	0.23	0.07	0.03	0.24	-
Cr I	0.25	0.15	0.02	0.29	-
Cr II	0.18	0.07	0.01	0.19	0.04
Mn I	0.33	0.04	0.01	0.33	-
Fe I	0.14	0.03	0.02	0.14	0.02
Fe II	0.04	0.24	0.09	0.26	0.03
Ni I	0.18	0.08	0.01	0.20	0.07
Y II	0.07	0.16	0.02	0.18	0.27

Çizelge 4.10 Mizar Ab bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
O I	0.01	0.06	0.00	0.06	0.22
Mg I	0.04	0.06	0.10	0.12	0.07
Mg II	0.05	0.03	0.08	0.10	0.23
Si II	0.01	0.24	0.05	0.25	0.13
S I	0.15	0.02	0.01	0.15	0.04
Ca I	0.24	0.03	0.03	0.24	0.05
Sc II	0.19	0.08	0.01	0.20	0.17
Ti II	0.09	0.19	0.03	0.22	0.04
V II	0.22	0.07	0.05	0.24	0.16
Cr I	0.22	0.07	0.01	0.23	-
Cr II	0.11	0.30	0.06	0.32	0.02
Mn I	0.46	0.02	0.01	0.46	-
Fe I	0.15	0.11	0.02	0.19	0.02
Fe II	0.07	0.08	0.01	0.11	0.03
Ni I	0.16	0.05	0.00	0.16	0.06
Y II	0.32	0.12	0.02	0.34	0.00

Çizelge 4.11 47 And a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
C I	0.02	0.09	0.00	0.10	0.23
Mg I	0.00	0.29	0.00	0.29	-
Si I	0.01	0.05	0.02	0.06	0.15
Si II	0.07	0.25	0.03	0.26	0.13
S I	0.01	0.09	0.00	0.09	0.10
Ca I	0.03	0.08	0.01	0.08	0.05
Sc II	0.02	0.07	0.01	0.07	0.90
Ti II	0.06	0.35	0.06	0.36	0.07
Cr I	0.04	0.06	0.00	0.07	0.05
Cr II	0.11	0.30	0.05	0.33	0.06
Mn I	0.04	0.10	0.01	0.11	0.21
Fe I	0.05	0.09	0.01	0.11	0.01
Fe II	0.01	0.12	0.01	0.12	0.04
Ni I	0.00	0.22	0.04	0.23	0.04
Y II	0.00	0.32	0.04	0.32	0.42
Ba II	0.00	0.38	0.11	0.40	0.06

Çizelge 4.12 47 And b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
C I	0.03	0.10	0.01	0.10	0.23
Mg I	0.02	0.19	0.03	0.19	0.09
Si I	0.02	0.06	0.00	0.07	0.14
Si II	0.12	0.33	0.03	0.35	0.14
S I	0.02	0.07	0.00	0.07	0.08
Ca I	0.02	0.07	0.01	0.07	0.12
ScII	0.04	0.10	0.03	0.11	0.35
Ti II	0.03	0.10	0.01	0.10	0.04
Cr I	0.05	0.08	0.00	0.09	0.09
Cr II	0.11	0.27	0.02	0.29	0.07
Mn I	0.03	0.07	0.00	0.08	0.09
Fe I	0.04	0.09	0.01	0.10	0.01
Fe II	0.01	0.15	0.01	0.15	0.03
Ni I	0.02	0.23	0.02	0.23	0.03
Y II	0.03	0.33	0.04	0.33	0.99
Ba II	0.01	0.42	0.10	0.43	0.05

Çizelge 4.13 HD 42083a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
C I	0.03	0.04	0.00	0.05	0.05
O I	0.02	0.09	0.00	0.09	-
Na I	0.04	0.25	0.08	0.26	0.32
Mg I	0.04	0.27	0.08	0.28	0.07
Si I	0.07	0.06	0.00	0.09	-
Si II	0.02	0.10	0.00	0.10	0.11
S I	0.03	0.05	0.02	0.06	-
Ca I	0.08	0.11	0.04	0.14	0.07
Sc II	0.03	0.14	0.07	0.16	0.06
Ti II	0.02	0.19	0.05	0.19	0.04
Cr I	0.08	0.23	0.07	0.26	0.10
Cr II	0.01	0.32	0.10	0.34	0.04
Mn I	0.08	0.06	0.02	0.10	0.16
Fe I	0.04	0.17	0.05	0.19	0.02
Fe II	0.01	0.16	0.06	0.17	0.02
Ni I	0.10	0.06	0.01	0.11	0.06
Y II	0.07	0.12	0.03	0.14	-
Ba II	0.06	0.26	0.01	0.26	0.03

Çizelge 4.14 HD 42083b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
C I	0.01	0.08	0.00	0.09	0.05
O I	0.04	0.11	0.01	0.11	-
Na I	0.03	0.31	0.07	0.32	0.22
Mg I	0.00	0.18	0.03	0.18	0.07
Si I	0.03	0.06	0.01	0.07	0.08
Si II	0.03	0.15	0.00	0.15	0.08
S I	0.02	0.08	0.00	0.09	-
Ca I	0.05	0.15	0.02	0.16	0.05
Sc II	0.02	0.15	0.01	0.15	0.04
Ti II	0.00	0.23	0.02	0.23	0.03
Cr I	0.07	0.08	0.00	0.11	0.04
Cr II	0.05	0.39	0.07	0.40	0.03
Mn I	0.05	0.07	0.01	0.09	0.10
Fe I	0.06	0.09	0.01	0.11	0.01
Fe II	0.01	0.11	0.01	0.11	0.02
Ni I	0.05	0.09	0.01	0.11	0.04
Y II	0.03	0.11	0.00	0.12	0.02
Ba II	0.03	0.30	0.04	0.30	0.02

Çizelge 4.15 HD 169268a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
C I	0.08	0.11	0.03	0.14	-
Na I	0.00	0.18	0.02	0.18	0.05
Mg I	0.01	0.08	0.01	0.08	0.03
Si I	0.01	0.10	0.00	0.10	0.05
Si II	0.10	0.23	0.02	0.26	0.10
S I	0.05	0.13	0.00	0.14	-
Ca I	0.01	0.24	0.05	0.25	0.06
Sc II	0.05	0.34	0.05	0.35	0.16
Ti I	0.05	0.17	0.02	0.18	0.08
Ti II	0.00	0.18	0.01	0.18	0.04
Cr I	0.00	0.30	0.04	0.30	0.05
Cr II	0.06	0.19	0.00	0.20	0.08
Mn I	0.03	0.33	0.06	0.34	0.05
Fe I	0.04	0.18	0.00	0.19	0.02
Fe II	0.09	0.35	0.06	0.37	0.05
Ni I	0.01	0.15	0.03	0.15	0.04
Y II	0.00	0.25	0.05	0.26	0.01
Ba II	0.01	0.31	0.03	0.31	0.22

Çizelge 4.16 HD 169268b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
C I	0.07	0.10	0.00	0.12	0.05
Na I	0.03	0.10	0.01	0.10	-
Mg I	0.01	0.16	0.03	0.17	0.23
Si II	0.09	0.16	0.02	0.19	0.08
S I	0.03	0.08	0.01	0.09	-
Ca I	0.03	0.07	0.02	0.08	0.03
Sc II	0.09	0.04	0.02	0.10	0.13
Ti II	0.11	0.35	0.08	0.37	0.09
Cr I	0.00	0.06	0.00	0.06	0.08
Cr II	0.07	0.15	0.02	0.16	0.08
Mn I	0.01	0.13	0.00	0.13	0.25
Fe I	0.05	0.06	0.01	0.08	0.02
Fe II	0.03	0.17	0.02	0.18	0.02
Ni I	0.08	0.07	0.01	0.11	0.04
Y II	0.10	0.00	0.01	0.10	0.06
Ba II	0.28	0.28	0.05	0.40	-

Çizelge 4.17 HD 23642a bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
Na I	0.05	0.06	0.11	0.14	0.06
Mg I	0.08	0.08	0.08	0.14	0.02
Si II	0.01	0.10	0.07	0.12	0.10
Ti II	0.08	0.10	0.09	0.15	0.09
Cr II	0.11	0.04	0.05	0.13	0.01
Fe I	0.08	0.00	0.00	0.08	0.12
Fe II	0.09	0.11	0.03	0.15	0.05

Çizelge 4.18 HD 23642b bileşenine ilişkin Çizelge 4.9'un benzeri

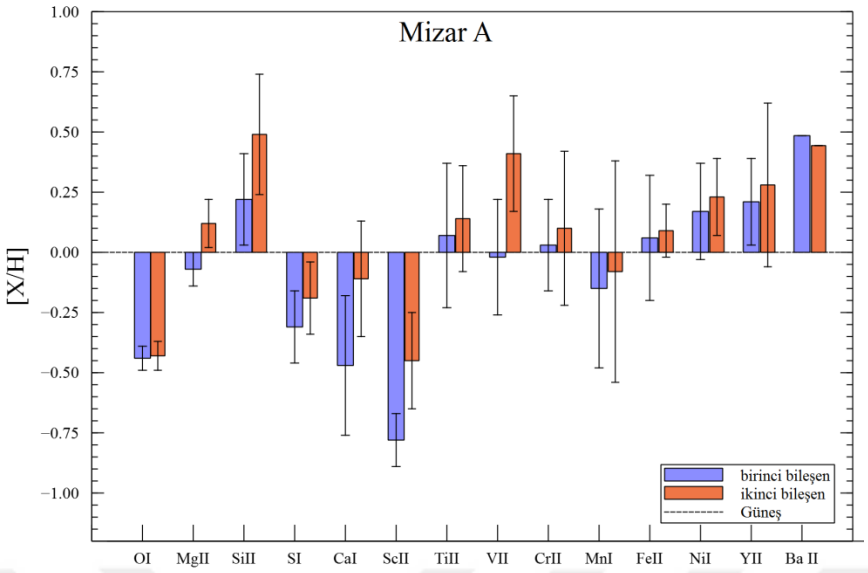
Atomik Tür	σ_{Te}	$\sigma_{\log g}$	σ_{ξ}	σ_{toplam}	$\sigma_{st.hata}$
Na I	0.01	0.34	0.04	0.34	0.01
Mg I	0.07	0.39	0.08	0.40	0.23
Si II	0.04	0.28	0.02	0.28	0.22
Ca I	0.25	0.10	0.05	0.28	0.10
Sc II	0.04	0.19	0.05	0.20	0.17
Ti II	0.13	0.57	0.13	0.60	0.06
Cr I	0.01	0.20	0.01	0.20	0.13
Cr II	0.15	0.50	0.11	0.53	0.10
Fe I	0.02	0.24	0.01	0.24	0.02
Fe II	0.01	0.31	0.04	0.32	0.04
Ni I	0.04	0.25	0.04	0.25	0.07
Ba II	0.04	0.47	0.15	0.50	0.11

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu yüksek lisans tezinde, literatürde bileşenlerine ilişkin atmosfer parametreleri büyük ölçüde mevcut olmayan ve ayrıntılı kimyasal bolluk analizleri de yapılmamış 10 adet SB2 bileşeninin ELODIE ve AUKR tayfları analiz edildi. Bileşenlerin SYNPLOTBIN arayüzüyle üretilen kuramsal kompozit tayflarının gözlemsel tayflarına modellenmesiyle atmosfer parametreleri belirlendi (T_e, log g ve ξ). SB2 bileşenlerinin tayflarında çizgi gösteren C, O, Na, Mg, Si, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y ve Ba atomik türlerinin kimyasal bollukları belirsizlikleriyle birlikte elde edildi. Aynı zamanda bu yıldızların teorik evrim yollarıyla yaşları, kullanılan tayfların elde edildiği zaman hangi evrede oldukları, renk artıkları ve bileşenlerine ilişkin kütleleri ile dikine hızları (v_r) ve izdüşüm ekvatoryel dönme hızları ($v$sin$i$) belirlendi. Mizar A, 47 And, HD 42083, HD 169268 ve HD 23642 yıldızlarının bileşenlerine ilişkin kimyasal element bolluklarının belirlenmesiyle iki bileşen arasındaki bolluk farklarının yorumlanması mümkün olmaktadır. Aynı zamanda yıldızların atmosferlerindeki bazı elementlerin bol veya az olması durumunda kimyasal tuhaflık sergilemesi arasındaki ilişki incelenebilmektedir. Literatürde kimyasal bolluk çalışması olan yalnızca 66 SB2 bileşeninin olması ve bunlardan yarısı kadarının A ve F tayf türünden olması göz önüne alındığında, bu yüksek lisans tezinde kimyasal bollukları belirlenen A ve F tayf türünden 10 adet SB2 bileşeninin bu türden yıldızlara ilişkin ihtiyaç duyulan çalışmalara katkı yapacağı açıktır.

5.1 Mizar A

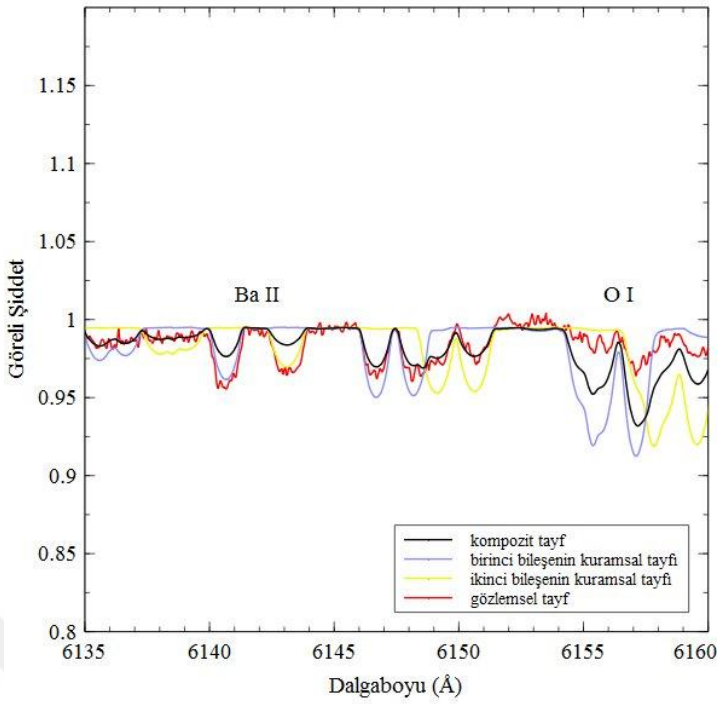
Birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin parametreleri sırasıyla $T_{e,A}$=9000 K, log g_A=3.9, ξ_A=1.9 km s^{-1} ve M_A=2.5 $M_\odot$, $T_{e,B}$=9150 K, log g_B=4.0, ξ_B=3.1 km s^{-1} ve M_B=2.42 $M_\odot$ olarak belirlenen Mizar A yıldızının bileşenlerinin kimyasal element bollukları ve bolluklarının belirsizlikleri şekil 5.1'de verilmektedir (sayısal sonuçları için bkz., Çizelge 4.4).



Şekil 5.1 Mizar A yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri

Bileşenlerin bolluklarına ilk bakıldığında en dikkat çeken O ve Sc elementlerinde iki bileşende de bolluk azlığı ile Si ve Ba elementinde bolluk fazlalığının olmasıdır. İki bileşen arasındaki en az fark olan elementlerin O, S, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Y ve Ba oldukları yani bu elementlerin bileşen atmosferlerinde benzer miktarlarda olduğunu söylemek mümkündür. Si, Ca, Sc ve V iki bileşen arasında en çok bolluk farkına sahip olan elementlerdir. Bu çalışmada, O elementinin bolluğunun -0.44 mertebesinde iki bileşende de az olması, Takeda (2008, 2018) ve Draper vd. (2018) verilerinin Mizar A yıldızına ilişkin yaptıkları kimyasal bolluk çalışmalarında O bolluğunu -0.4 mertebesinde elde etmeleriyle birebir uyum göstermektedir. O elementindeki bolluk azlığını ve Ba elementindeki bolluk fazlalığını temsil eden bir bölge şekil 5.2'de gösterilmektedir. Glagolevskij vd. (2004)'nün Mizar A yıldızına ilişkin kimyasal bolluk analizi sonuçları da hatalar çerçevesinde bu tez çalışmasındaki element bolluklarıyla örtüşmektedir fakat yayında bileşenlere ilişkin ayrı ayrı bollukların tespit edilmemesi kesin bir yargıya varılmasının önüne geçmektedir (bkz., Bölüm 2.2). Burada özellikle birinci bileşenin Ca (-0.47 dex) ve Sc (-0.78 dex) elementlerindeki aşırı bolluk azlığı ile Fe'den ağır olan Ni (0.17 dex), Y (0.21 dex) ve Ba (0.48 dex) elementlerinin bolluk fazlalığı göstermesi bileşenin Am türünden bir kimyasal tuhaflığının olduğunu düşündürmektedir. Yıldızın 20 günlük kısa dönemi ile bileşen yıldızların 30 ve 35 km s^{-}

[1] olan yavaş dönme hızları ve literatürde çoğu kez Am olarak sınıflandırılması da bu teoriyi doğrular niteliktedir. Aynı zamanda Am türünden yıldızların çift sistemlerde bulunma oranının %50-70 aralığında olmasıyla (Debernardi 2000, Carquillat ve Prieur 2007 ve Smalley vd. 2014) manyetik olmayan kimyasal tuhaf yıldızların büyük bölümünün çift sistemlerde yer aldığının ortaya konması da bu SB2 bileşenlerinin Am tuhaflığı göstermesi durumunu destekler niteliktedir. Birinci bileşene kıyasla daha az mertebelerde de olsa ikinci bileşende de Ca (-0.11 dex) ile Sc (-0.45 dex) elementinde bolluk azlığı ve Ba (0.44 dex) elementinde bolluk fazlalığı mevcuttur. İkinci bileşenin atmosferindeki Ni (0.23 dex) ve Y (0.28 dex) ise birinci bileşenden daha boldur. İkinci bileşende yaklaşık 0.5 mertebelerinde olan Si ve V bolluğu da özellikle birinci bileşenden olan farkıyla dikkat çekmektedir. Mg, Ti, Cr ve Fe elementlerinde ise -0.07 ile 0.14 arasındaki bolluk değerleriyle ve hatalar dikkate alındığında yaklaşık Güneş bolluğunda olduğu yorumu yapılabilir. Kütlelerin ve etkin sıcaklıkların birbirine çok yakın olması bileşenler arasındaki bolluk farklarının sebebi olarak birinci bileşenin 3.9 olan yüzey çekim ivmesiyle ikinci bileşene göre biraz daha evrimleşmiş olmasıyla açıklanabilecek olduğunu düşündürse de ikinci bileşenin yüksek mikrotürbülans hızına sahip olması bu durumu net bir sonuca götürmemektedir. Evrimleşmiş Am yıldızları olarak bilinen ρ Pup yıldızları da geç A veya erken F tayf türlerinden olduğu için A0-A1 tayf türünden olan Mizar A bileşenleri için uygun değildir. Bileşenlerin ikisinin de tayf türleri A0-A3 aralığında olan sıcak Am türü yıldızlar olabileceği düşünülmektedir.

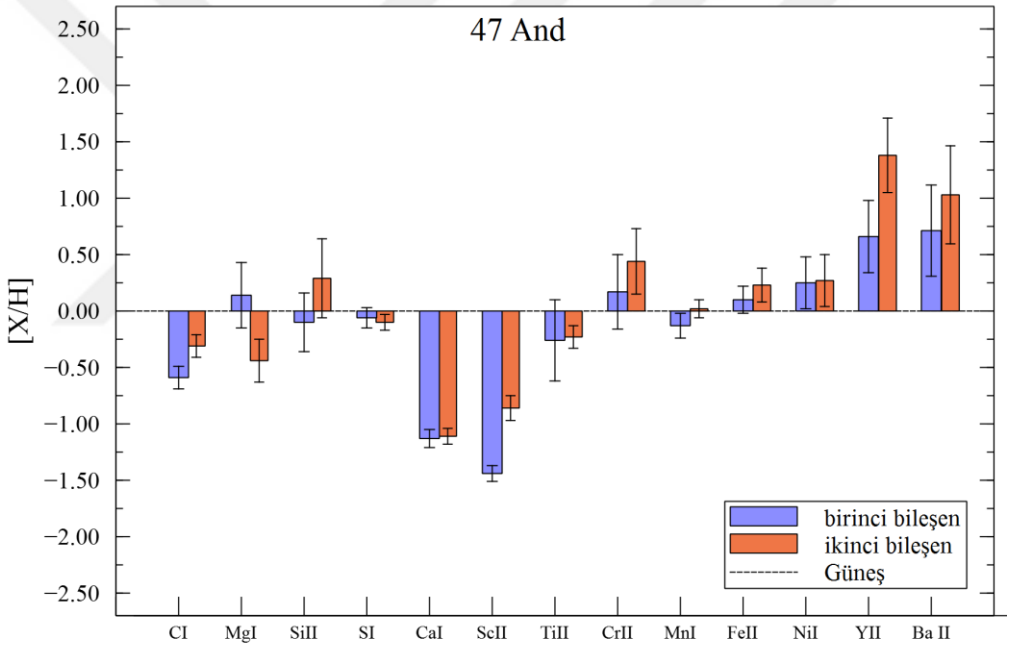


Şekil 5.2 Mizar A yıldızının her iki bileşeninde de gözlenen Ba elementindeki bolluk fazlalığını ve O elementindeki bolluk azlığını temsil eden 6135-6160 Å dalgaboyu aralığındaki tayf bölgesi

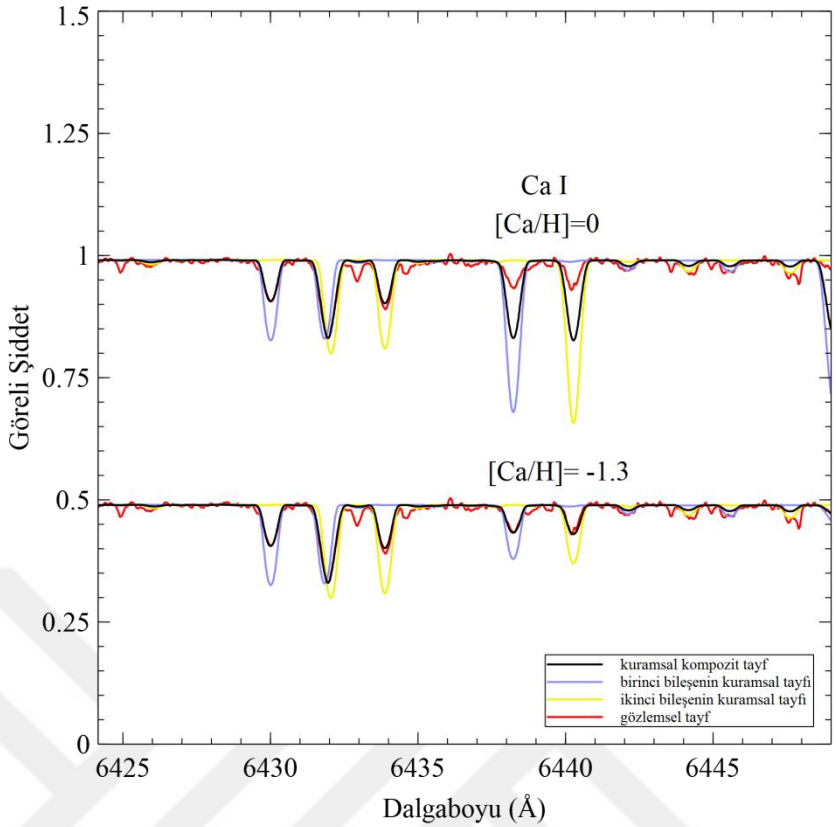
5.2 47 And

Birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin parametreleri sırasıyla $T_{e,A}$=7420 K, log g_A=4.1, ξ_A=3.6 km s^{-1} ve M_A=1.65 $M_\odot$, $T_{e,B}$=7350 K, log g_B=4.1, ξ_B=4.0 km s^{-1} ve M_B=1.62 $M_\odot$ olarak belirlenen 47 And yıldızının bileşenlerinin kimyasal element bollukları ve bolluklarının belirsizlikleri şekil 5.3'de verilmektedir. İki bileşende de Ca (-1.13, -1.11 dex) ve Sc (-1.44, -0.86 dex) elementlerindeki aşırı bolluk azlığı ile Y (0.66, 1.38 dex) ve Ba (0.71, 1.03 dex) elementlerdeki aşırı bolluk fazlalığı dikkat çekmektedir. 6425-6450 Å dalgaboyu aralığı bölgesindeki Ca elementinin bolluk azlığını gösteren bir örnek ve [Ca/H]=−1.3 olduğunda kuramsal kompozit tayfın gözlemsel tayfa tam olarak uyum sağladığı şekil 5.4'de gösterilmektedir. Aynı zamanda Ni elementinin de iki bileşende yaklaşık aynı miktarda bol olduğu (0.25) gözlenmektedir. Ca ve Sc elementlerindeki aşırı bolluk azlığıyla birlikte, Si (-0.1, 0.3 dex), Fe (0.1, 0.23 dex), Cr (0.17, 0.44 dex), Y ve Ba elementlerinin ikinci bileşenin atmosferinde birinci bileşene göre daha bol olması ikinci bileşenin bir AmFm tuhaflığı gösterdiğini işaret etmektedir.

Bileşenlerin kütlelerinin ve atmosfer parametrelerinin birbirine çok yakın olması ve aynı dönme hızına sahip olmalarının (15 km s^{-1}) bileşenler arasında belirgin bir bolluk farkına yol açmadığı ve mevcut bolluk farklarının da belirsizlik seviyeleri düşünüldüğünde makul seviyede olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 47 And yıldızının Bölüm 2.3'de anlatıldığı şekilde Osawa (1959) tarafından tayfının sırasıyla Ca II K, Hidrojen ve metal çizgileri için A3, F2 ve F5 tayf türlerinde, Abt ve Morrell (1995) tarafından ise bu üç çizgi grubu için A1, F1 ve F2 olarak sınıflandırmasının Roman vd. (1948)'nin klasik AmFm yıldızlarının tanımı olarak verdiği *Tayf Türü (K çizgisi) < Tayf Türü (H çizgisi) < Tayf Türü (metal çizgileri)* ölçüte tam olarak uyması da bu yıldızın bileşenlerinin bir AmFm türü olabileceğini doğrular niteliktedir.



Şekil 5.3 47 And yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri

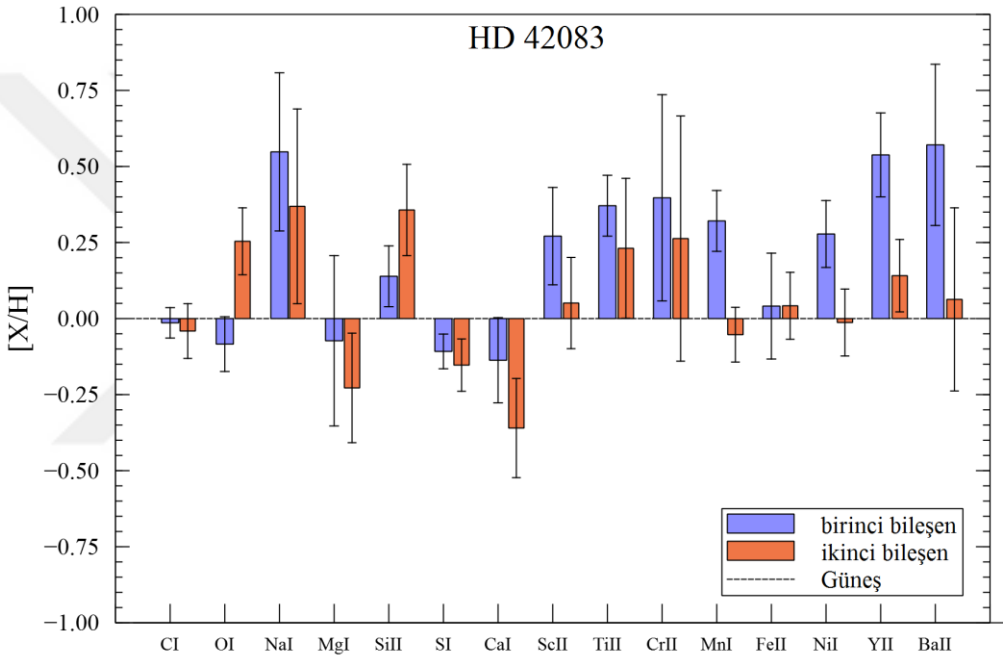


Şekil 5.4 6425-6450 Å dalgaboyu aralığı bölgesindeki 47 And yıldızının iki bileşeninde de gözlenen Ca elementindeki bolluk azlığı

5.3 HD 42083

Birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin parametreleri sırasıyla $T_{e,A}$=8400 K, log g_A=4.05, ξ_A=3.0 km s^{-1} ve M_A=2 $M_\odot$, $T_{e,B}$=8100 K, log g_B=4.1, ξ_B=4.4 km s^{-1} ve M_B=1.878 $M_\odot$ olarak belirlenen HD 42083 yıldızının bileşenlerinin kimyasal element bollukları ve bolluklarının belirsizlikleri şekil 5.5'de verilmektedir. İlk olarak dikkat çeken bolluk özelliği, diğer yıldızlarda bolluğu aşırı az olan Sc elementinin HD 42083 yıldızının birinci bileşeninde 0.27 mertebede bol olması, ikinci bileşeninde ise 0.05 dex ile Güneş bolluğuna yakın olmasıdır. Birinci bileşende Mizar A ve 47 And'ın bolluk desenlerine benzer şekilde Cr (0.4 dex), Ni (0.28 dex), Y (0.54 dex) ve Ba (0.57 dex) elementlerinin bol olduğu görülmektedir. Am yıldızlarında sıkça rastlanılan Sc (0.27 dex) ve Ca (-0.14 dex) elementlerindeki bolluk azlığı mevcut değildir. Bu nedenle, yıldızın Am yıldızı olup olmadığı konusunda kesin bir yargıya varılamamıştır. İkinci bileşende Ca (-0.36 dex) ve Sc bolluğu birinci bileşenden daha az olmakla birlikte Ti, Cr, Ni, Y ve Ba

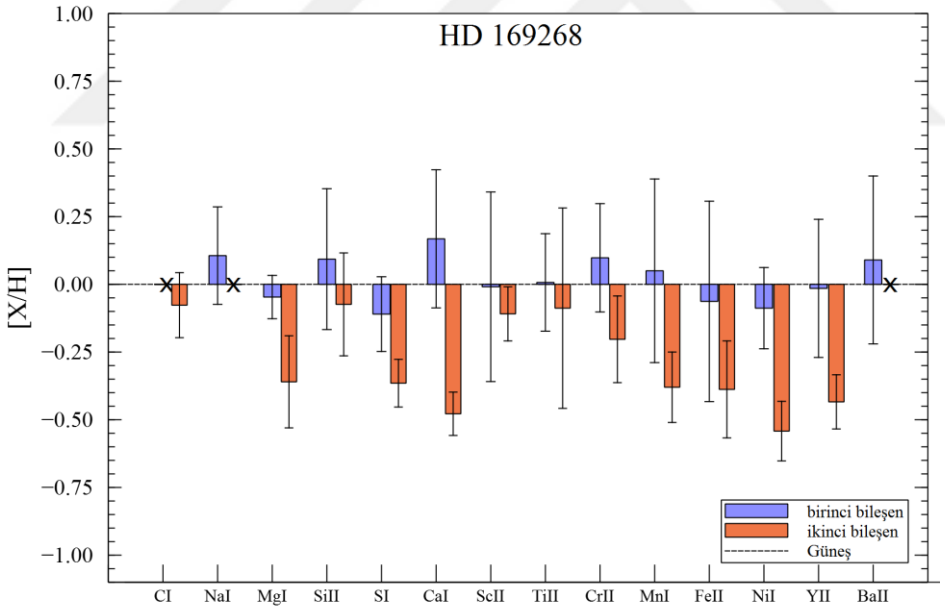
elementlerinin bolluğu da birinci bileşene göre oldukça azdır. Fe (0.04 dex) bolluğu ise iki bileşende de eşit ve Güneş bolluğuna yakındır. HD 42083 yıldızı diğer yıldızlara kıyasla en düşük bolluk belirsizliğini sergilemektedir. Bileşenlerin atmosfer parametrelerinin ve kütlelerinin yakın olması iki bileşen arasındaki bolluk farklarını açıklayabilecek tek parametrenin bileşenlerin sırasıyla 22 km s^{-1} ve 9 km s^{-1} olan farklı dönme hızları olduğunu düşündürmektedir. Ancak, daha büyük izdüşüm hızına sahip olan birinci bileşenin kimyasal bolluklar sergilemesi difüzyon teorisinin öngörüleriyle uyuşmamaktadır.



Şekil 5.5 HD 42083 yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri

5.4 HD 169268

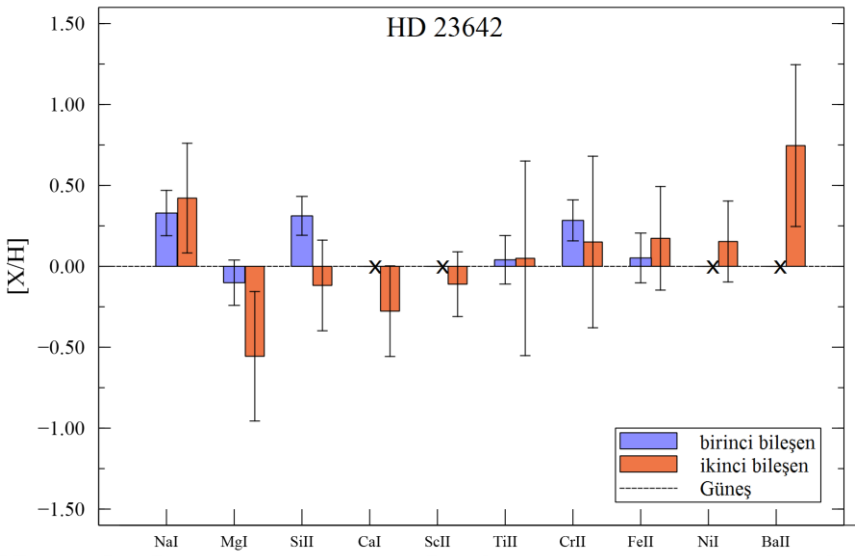
Birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin parametreleri sırasıyla $T_{e,A}$=6800 K, log g_A=4.24, ξ_A=1.6 km s^{-1} ve M_A=1.38 $M_\odot$, $T_{e,B}$=7100 K, log g_B=4.17, ξ_B=2.2 km s^{-1} ve M_B=1.516 $M_\odot$ olarak belirlenen HD 169268 yıldızının bileşenlerinin kimyasal element bollukları ve bolluklarının belirsizlikleri şekil 5.6'da verilmektedir. Bu yıldızda birinci bileşene ait tüm elementlerin yaklaşık Güneş bolluğunda olması fakat ikinci bileşenin tüm elementlerinin de kimyasal bolluklarının aşırı az olması oldukça dikkat çekmektedir. İkinci bileşenin Mg ve diğer metal çizgilerindeki bolluk azlığı, Mg II λ4481 ve metal çizgilerinde (Sc, Fe, Si, Ca, Zn, Sr ve Ba) bolluk azlığı göstermesiyle ifade edilen λ Boo yıldızı olabileceğini düşündürmektedir. Fakat tayfta Mg II çizgisinin ve ikinci bileşendeki Ba elementinin tespit edilememesiyle birlikte λ Boo yıldızlarının etkin sıcaklık aralığının (7500-9000 K) HD 169268 yıldızından fazla olması bu teoriyle ilgili kesin bir yargıya varmayı engellemektedir.



Şekil 5.6 HD 169268 yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bolluklarının belirsizlikleri

5.5 HD 23642

HD 23642 yıldızının etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve kütleleri bileşenlerine ilişkin kütlelerinin yörünge çözümleriyle ve çok hassas olarak elde edildiği Southworth vd. (2005) yayınından alındı. Birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin parametreleri sırasıyla $T_{e,A}$=9750±250 K, log g_A=4.25±0.014, ξ_A=2.0 km s^{-1} ve M_A=2.2±0.022 $M_\odot$, $T_{e,B}$=7600±400 K, log g_B=4.25±0.025, ξ_B=3.1 km s^{-1} ve M_B=1.55±0.044 $M_\odot$ olan HD 23642 yıldızının bileşenlerinin kimyasal element bollukları ve bolluklarının belirsizlikleri şekil 5.7'de verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi birinci bileşene ilişkin çok az çizginin kimyasal bollukları belirlenebilmiştir. Yıldızın tayfında birinci bileşene ilişkin Hidrojen çizgilerinin baskın olduğundan da anlaşılacağı üzere, birinci bileşenin etkin sıcaklığının ikinci bileşenden 2150 K fazla olması birinci bileşenin ışıtma gücünün de daha fazla olmasını sağlar (bkz., Şekil 4.2). Fakat soğuk olan ikinci bileşende metal çizgileri daha baskındır, öyle ki birinci bileşenin metal çizgileri zayıf gözükmesine rağmen ışınım gücü fazla olduğundan ikinci bileşenin çizgi şiddetlerini de baskılar. Buna karşın ikinci bileşenin çizgilerinin daha şiddetli olması daha fazla elementin tespit edilmesini sağlar. HD 42083 yıldızının ikinci bileşeninde Mg (-0.56 dex) ve Ca (-0.28 dex) elementlerinde bolluk azlığı ve Ba (0.75 dex) elementinde bolluk fazlalığı dikkat çekmektedir. İkinci bileşenin Fe bolluğu birinci bileşenden 0.12 mertebesinde fazladır. Mg ve Si arasındaki bolluk farkının en fazla olduğu ve birinci bileşendeki Cr bolluğunun ikinci bileşenden 0.2 mertebesinde fazla olduğu gözlenmektedir. İkinci bileşenin Fe, Ni ve Ba elementlerinde bolluk fazlalığı, Ca (-0.28 dex) ile Sc (-0.1 dex) elementlerinde bolluk azlığı mevcuttur fakat Sc elementinde aşırı bir bolluk azlığı olmadığından Am tuhaflığının olduğu söylenememektedir. Bileşenler arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle birinci bileşene ait az sayıda çizgi tespit edilebildiğinden mevcut bolluklardan kimyasal bir tuhaflığın varlığı tespit edilememiştir.



Şekil 5.7 HD 23642 yıldızının birinci ve ikinci bileşenlerine ilişkin kimyasal element bollukları ve bollukların belirsizlikleri

5.6 Procyon Yıldızı ile Karşılaştırma

Hedef yıldızlarda gözlenen Sc ve Ca elementlerindeki bolluk azlığının ve Y elementlerindeki bolluk fazlalığının program kaynaklı bir durum olup olmadığının denetlenmesi amacıyla temel parametreleri iyi billinen ve kimyasal bolluk analizi yapılmış olan Procyon A yıldızının tayfı analiz edilerek tez yıldızlarıyla karşılaştırıldı. Procyon A'nın atmosfer parametreleri T_e=6750 K, log g=4.04, ξ=2.1 km s^{-1} ve $v$sin$i$=4.5 km s^{-1} şeklinde verilen Steffen (1985)'den sağlandı ve mevcut SOPHIE tayfına SYNPLOTBIN ile kuramsal kompozit tayf fit edildi. Tayfın farklı bölgelerinde YYTG değeri 0.074 ile 0.13 aralığında ve $v$sin$i$ değerleri 4.5 ile 5.5 km s^{-1} aralığında değiştirilerek kompozit tayfın gözlemsel tayfa tam uyumu sağlandı. 4246-6439 Å dalgaboyu aralığında belirlenen 11 adet Sc II çizgisinden [Sc/H]=0.0036±0.09, dört adet Ca I çizgisinden [Ca/H]=0.19±0.12 ve altı adet Y II çizgisinden belirlenen kimyasal bolluk değeri [Y/H]=−0.022±0.04 olarak belirlendi. Bu değerler Steffen (1985)'ın Procyon A için [Sc/H]=0.04±0.09, [Ca/H]=−0.05±0.15, [Y/H]=0.06±0.11 şeklinde elde ettiği kimyasal bolluk değerleriyle uyum göstermektedir. Aynı zamanda Procyon yıldızının 30 adet tayf çizgisinden dikine hızı 0.25 km s^{-1} ve izdüşüm dönme hızı 5 km s^{-1} olarak tespit edildi. Sonuç olarak, Procyon yıldızından elde edilen Sc ve Y

elementlerinin kimyasal bolluklarının yaklaşık Güneş bolluğunda olduğu ve Ca elementinin kimyasal bolluğunun ise tez yıldızlarında gözlenen kimyasal bolluk sonuçlarının aksine biraz fazla olduğu belirlendi. Böylece hedef yıldızların tayflarındaki bazı elementlerin sergilediği aşırı bolluk veya bolluk azlığı durumlarının program kaynaklı bir hata olmadığı denetlenmiş ve hedef yıldızlarda gözlenen mevcut kimyasal tuhaflıkların varlığı ise güçlenmiş oldu.

5.7 Kompozit Tayf Modelleme ile Kimyasal Bolluk Analizinin Sınırları

Çalışılan 10 SB2 bileşeninin SYNPLOTBIN arayüzüyle kuramsal kompozit tayflarının gözlemsel tayflarına modellenerek yapılan kimyasal bolluk analizi sonuçlarında yöntemin hata sınırlarının ortalamada ±0.35 mertebesinde olduğu belirlendi. Her elementin etkin sıcaklığa, yüzey çekim ivmesine, mikrotürbülans hızına ve çizgi sayısına olan duyarlılığı farklı olup belirsizliklere en büyük katkının log g parametresinden ileri geldiği sonucuna varıldı. Bu sonuç fotometrik kalibrasyonlardan ve literatürden yörünge çözümleri sonucu elde edilen log g ile kuramsal H Balmer çizgi profilinin kanatlarının gözlemsel tayf ile çakıştırılmasıyla tahmin edilen log g değerleri arasındaki farktan ileri gelip log g parametresinin hem fotometrik hem tayfsal olarak daha hassas olarak belirlenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

428 yıldızın kimyasal element bolluklarının ve belirsizliklerinin verildiği Ghazaryan vd. (2018) kataloğundaki tek yıldızların belirsizlikleri bu çalışmada incelenen beş SB2 yıldızının etkin sıcaklık ve log g aralığında olmayan yıldızlar ile AmFm kimyasal tuhaflığına sahip olmayan tüm yıldızlar ayıklandıktan sonra geriye kalan 71 yıldız, mevcut yüksek tezinde belirlenen kimyasal element bolluklarının belirsizlikleriyle karşılaştırılmak üzere seçildi. Bu karşılaştırma sonucunda Mizar A ve HD 42083 yıldızlarında tespit edilen O elementinin toplam belirsizliklerin katalog yıldızlarındaki O elementlerinin kimyasal bolluklarının belirsizliklerinin ortalamasından az veya yakın olduğu görülmektedir. 47 And ve HD 42083 yıldızlarında kimyasal bollukları belirlenen C elementinin belirsizliği katalog yıldızlarında 0.1 dex azdır. HD 42083 ve HD 23642 yıldızlarındaki Na elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik katalog yıldızlarına göre ~0.2 dex fazladır. Bu tez çalışmasında Mg elementinin kimyasal bolluğundaki

belirsizlik, Mizar A yıldızında katalog yıldızlarına göre 0.1 mertebelerinde az, 47 And, HD 42083 ile HD 23642 yıldızlarında ~0.2 dex fazla ve HD 169268 yıldızında ise aynı mertebelerdedir. Si elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik Mizar A, HD 169268 ve HD 23642 yıldızlarında katalog yıldızlarınınkinden ~0.2 dex fazla olmasına karşın 47 yıldızında 0.05 dex az ve HD 42083 yıldızında ise aynı mertebededir. Katalog yıldızlarındaki S elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik yıldızların tamamında yaklaşık olarak aynı mertebelerdedir. Ca elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik Mizar A ve HD 169268 yıldızlarında katalog yıldızlarına göre 0.2 ve 0.1 mertebelerinde fazlayken 47 And yıldızında ~0.1 dex az, HD 42083 yıldızında aynı mertebelerdedir. Sc elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizliğin yalnızca HD 169268 yıldızında katalog yıldızlarından ~0.2 dex fazla olduğu, diğer yıldızlarda ise yaklaşık aynı belirsizliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasındaki beş yıldızın da Ti elementlerinin kimyasal bolluklarındaki belirsizlikler katalog yıldızlarının belirsizliklerine göre ~0.1 ila 0.4 mertebelerinde fazladır. Mizar A yıldızındaki V elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik katalog yıldızlarında olandan ~0.1 dex fazladır. 47 yıldızının yaklaşık aynı belirsizlikte olduğu Cr elementlerinin kimyasal bolluklarındaki belirsizlikler diğer dört hedef yıldızda katalog yıldızlarının belirsizliklerine göre ~0.1 ila 0.4 dex fazladır. Mn elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik Mizar A ve HD 169268 yıldızlarında katalog yıldızlarınınkine göre ~0.3 dex fazlayken 47 and ve HD 42083 yıldızlarında aynı mertebelerdedir. Fe elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizliğin 47 And yıldızında katalog yıldızlarındaki belirsizlikle aynı olduğu, diğer yıldızlarda ise ~0.1 dex fazla olduğu görülmektedir. Ni elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik HD 42083 yıldızında katalog yıldızlarındaki belirsizlikle aynı, diğer yıldızlarda ise ~0.1 dex fazladır. Y elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik, HD 42083 yıldızında katalog yıldızlarındaki belirsizlikle aynı, diğer yıldızlarda ise ~0.2 dex fazladır. Son olarak Ba elementinin kimyasal bolluğundaki belirsizlik ise 47 And ve HD 42083 yıldızlarında ~0.3 dex fazladır. Genel olarak bakıldığında bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen beş çift yıldızının Ti, Cr, Mn ve Ba elementlerinde ~0.1 ila 0.4 dex fazla olan ve bu dört element dışında diğer 10 elementin tek yıldızlarla yapılmış katalog yıldızlarının kimyasal elementlerinin bolluklarının belirsizliklerinden en fazla ~0.1 ila 0.2 mertebelerinde az veya fazla olduğu söylenebilir. HD 42083 yıldızının elementlerinin kimyasal bolluklarının diğer hedef yıldızların arasında belirsizliği en

düşük olan yıldız olduğu, HD 23642 yıldızının ise en fazla belirsizliğe sahip olan yıldız olduğu açıkça görülmektedir. Bu tez çalışmasında çift yıldızlara uygulanan kompozit tayf modelleme yönteminin Fe elementi için ortalama ±0.17 dex olan belirsizliğinin katalog yıldızlarının belirsizliklerinin ortalamasıyla neredeyse aynı olması en az tek yıldızlar için gerçekleştirilen bolluk analizleri kadar sağlıklı mertebelerde sonuç alınabildiğini göstermektedir. Fe elementi için ~0.08-0.37 aralığında olan hata üst sınırının ise yeterli çizgi sayısına sahip (en az üç çizgi olmak üzere) diğer elementlerle birlikte değerlendirildiğinde ±0.5 dex merbelerine çıktığı görülmekte ve bu değerin tek yıldızlar için gerçekleştirilen bolluk analizlerinden bir miktar fazla olduğu belirlenmiştir. Fakat bu hata sınırları çerçevesinde kimyasal tuhaflığın belirlenmesinde rol oynayan Sc, Ca, Y, Ba gibi elementlerin çizgi sayılarının az olmasına rağmen yöntemin kimyasal tuhaflıkları keşfedebilmeye izin verdiği görülmektedir. Özellikle çift yıldızların tayf çizgilerinin birbiriyle karıştığı ve çizgi sayısının yoğun olduğu bölgelerde bile kuramsal kompozit tayfın gözlemsel tayfa iyi uyum sağlaması güvenilirliği artıran bir başka unsurdur.

Bölüm 2.1'de anlatılan çift yıldızlara ilişkin kimyasal bolluk çalışmalarından birisi olan Gebran vd. (2015)' in *o* Leo yıldızının iki bileşeni için de Ca ve Sc elementlerinde bolluk azlığı ($[Ca/H]_A = -0.12 \pm 0.07$, $[Ca/H]_B = -0.63 \pm 0.25$, $[Sc/H]_A = -0.96 \pm 0.25$), Fe komşuluğundaki ağır elementlerin ve Y elementinin aşırı bolluğu (örn., $[Fe/H]_A = 0.38 \pm 0.25$, $[Fe/H]_B = 0.75 \pm 0.21$, $[Y/H]_A = 1.87 \pm 0.17$, $[Y/H]_B = 1.09 \pm 0.04$) özellikleriyle Am tuhaflığı gösterdiğini belirlediği element bollukları ve standart sapmaları, bu yüksek lisans tez çalışmasında Am kimyasal tuhaflığı gösterdiği tespit edilen Mizar A yıldızının birinci bileşeninin ($[Ca/H]_A = -0.47 \pm 0.14$, $[Sc/H]_A = -0.78 \pm 0.28$, $[Fe/H]_A = 0.06 \pm 0.14$ ve $[Y/H]_A = 0.21 \pm 0.27$) ve 47 And yıldızının her iki bileşeninin ($[Ca/H]_A = -1.13 \pm 0.11$, $[Ca/H]_B = -1.11 \pm 0.29$, $[Sc/H]_A = -1.44 \pm 0.89$, $[Sc/H]_B = -0.86 \pm 0.49$, $[Fe/H]_A = 0.10 \pm 0.16$, $[Fe/H]_B = 0.23 \pm 0.15$, $[Y/H]_A = 0.66 \pm 0.6$ ve $[Y/H]_B = 1.38 \pm 0.9$) Am kimyasal tuhaflığı göstermesinde rol oynayan element bollukları ve standart sapmalarıyla karşılaştırıldığında; Mizar A yıldızının Ca elementinin bolluğunun, *o* Leo yıldızının birinci bileşenine göre daha az, ikinci bileşenine göre daha fazla olduğu, standart sapmasının ise *o* Leo yıldızının her iki bileşeninin standart sapmalarına yakın mertebede olduğu görülmektedir. Gebran vd.

(2015)'de *o* Leo yıldızının ikinci bileşenine ilişkin Sc elementinin bolluğu belirlenememiş olup birinci bileşenine ilişkin Sc elementinin bolluğu ve standart sapması Mizar A yıldızının birinci bileşeninkilere yakındır. Mizar A yıldızının birinci bileşenine ilişkin Fe elementinin bolluğu ve standart sapması, *o* Leo yıldızının her iki bileşeninde belirlenenlerden daha azdır. Y elementinin bolluğu, Mizar A yıldızının birinci bileşeninde daha azken standart sapması *o* Leo yıldızının her iki bileşenine göre bir miktar fazladır ve bunun sebebi olarak Y elementinin bolluğunun belirlenebildiği az sayıda çizgisinin olması gösterilebilir. 47 And yıldızının iki bileşeninde de Ca elementinin bolluklarının *o* Leo yıldızına göre daha az olduğu standart sapmalarının ise yakın olduğu görülmektedir. 47 And yıldızının iki bileşeninde de Sc ve Y bollukları, *o* Leo yıldızının bileşenlerinin bolluklarına yakın olmasına karşın 47 And yıldızının Sc ve Y elementlerine ilişkin standart sapmalarının yüksek olması ölçülebilen yalnızca iki adet çizgisinin olmasından kaynaklanmaktadır. Sc elementinin etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızı üzerine toplam sistematik belirsizliği ±0.13, Y elementinin ise ±0.46'dır (bkz., Çizelge 4.5, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12). 47 And yıldızının her iki bileşenine ilişkin Fe elementlerinin standart sapmalarının *o* Leo yıldızında belirlenenlerden düşük olması yöntemin sağlıklı çalıştığı ve iyi sonuç verdiğinin önemli bir göstergesidir.

Fe bolluğu belirsizliklerinin Mizar A, 47 And ve HD 42983 yıldızlarının bileşenleri için ±0.1-0.2 olmakla birlikte HD 169268 ile HD 23642 yıldızlarının bileşenlerinde ±0.3-0.5 lere kadar çıktığı görüldü. Özellikle HD 23642 yıldızında hem bileşenler arası sıcaklık farkı hem de yarı-büyük eksen uzunluğunun küçüklüğü (0.06 AB) ikinci bileşenin çizgilerinin birinci bileşen çizgilerini baskılamasına sebep olmuştur. Bu durum, hem birinci bileşenin tayf çizgilerinin görülmesini zorlaştırarak kimyasal bolluk değerlerinin belirlenememesine hem de tayfta çizgi sayısı az olduğundan belirlenen bollukların belirsizliklerin de yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Bu durum, tayftaki çizgilerin ayrı ayrı görülebilme seviyesinin ve bu çizgilerin sayısının kompozit tayf modelleme yöntemiyle elde edilen bollukların belirsizliğine etki ettiğini işaret etmektedir. Bu nedenle, eğer bir çift yıldızın tayfı bileşenlerinin tayf çizgilerinin ayrı ayrı görülmediği bir evrede alınmışsa, kompozit tayf modelleme yönteminin sağlıklı sonuçlar veremeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Abt, H. A. 1958. A Spectroscopic Binary in the Pleiades, ApJ. vol. 128, p.139.

Abt, H. A. ve Hunter, J. H. 1962. Stellar rotation in galactic clusters. Astrophys. J., 136, 381-392.

Abt, H. A. ve Morrell, N. I. 1995. The Relation Between Rotational Velocities and Spectral Peculiarities Among A-Type Stars. The Astrophysical Journal Supplement Series, 99:135-172.

Adelman, S. J. 2014. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms. XXXV. On the Iron Abundances of B and A Stars, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 126, Issue 940, pp. 505.

Adelman, S. J., Caliskan, H., Kocer, D. ve Bolcal, C. 1997. Elemental abundance analyses with DAO spectrograms - XVI. The normal F main-sequence stars sigmaBootis, thetaCygni and iotaPiscum, and the AM stars 15Vulpeculae and 32Aquarii, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 288, Issue 2, pp. 470-500.

Alecian, E., Catala, C., Wade, G. A., Bagnulo, S., Boehm, T., Bouret, J. -C., Donati, J. -F., Folsom, C., Grunhut, J., Landstreet, J. D.,, Marsden, S. C., Petit, P., Ramirez, J. ve Silvester, J. 2009. Magnetism in Herbig Ae/Be stars and the link to the Ap/Bp stars. EAS Publications Series, Volume 39, 2009, pp.121-132.

Alecian, E., Tkachenko, A., Neiner, C., Folsom, C. P. ve Leroy, B. 2016. The magnetic field of the double-lined spectroscopic binary system HD 5550. Astronomy & Astrophysics, Volume 589, id.A47, 13 pp.

Allen, R. H. 1899, New York, Leipzig [etc.] G.E. Stechert.

Allende Prieto, C., Barklem, P. S., Lambert, D. L. ve Cunha, K. 2004. S4N: A spectroscopic survey of stars in the solar neighborhood. The Nearest 15 pc. Astronomy and Astrophysics, v.420, p.183-205.

Alonso, A., Arribas, S. ve Martinez-Roger, C. 1996. The empirical scale of temperatures of the low main sequence (F0V-K5V). Astronomy and Astrophysics, v.313, p.873-890.

Anonymous. 2011. https://www.britannica.com/biography/Cecilia-Payne-Gaposchkin, Erik Gregersen, Erişim Tarihi: 06.07.2020

Anonymous. 2015. https://www.universetoday.com/91785/isaac-newton/, Matt Williams, Erişim Tarihi: 22.06.2020.

Anonymous. 2018. https://www.britannica.com/science/spectroscopy/Basic-properties-of-atoms Jack D. Graybeal. Jun 08 2018, Erişim Tarihi: 20.06.2020.

Anonymous. 2019. http://kurucz.harvard.edu/linelists/gfall/gfall.dat, Erişim Tarihi: 22.01.2019.

Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J. ve Scott P. 2009. The Chemical Composition of the Sun, Annual Review of Astronomy & Astrophysics, vol. 47, Issue 1, pp.481-522.

Aurière, M., Silvester, J., Wade, G. A., Bagnulo, S., Donati, J. F., Johnson, N., Lignières, F., Landstreet, J. D., Lüftinger, T. ve Mouillet, D. G., 2005. The physical properties of normal A stars, Cambridge University Press, 224, 530-532.

Babu, G. S. D. ve Rautela, B. S. 1978. Effective temperatures radii and bolometric magnitudes of Ap and Am stars, Astrophys. Space Sci., 58, 245-254.

Bahar, E. 2019. Sözlü Görüşme. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı.

Batten, A. H., Fletcher, J. M. ve Mann, P. J. 1978. Seventh catalogue of the orbital elements of spectroscopic binary systems, Publ. Dominion Astrophys. Obs., 15, 121.

Beavers, W. I. ve Eitter, J. J. 1986. E. W. Pick Observatory Stellar Radial Velocity Measurements. I. 1976-1984, The Astrophysical Journal Supplement Series, 62:147-228.

Beckers, J. M. 1981. "Differential speckle interferometry", a new tool for double star research., Lowell Obs. Bull., Vol. 9, p. 165-175.

Behr, B. B., Cenko, A. T., Hajian, A. R., McMillan, R. S., Murison, M., Meade, J. ve Hindsley, R. 2011. Stellar Astrophysics With A Dispersed Fourier Transform Spectrograph. II. Orbits Of Double-Lined Spectroscopic Binaries, The Astronomical Journal, 142:6 (11pp).

Benz, W. ve Mayor, M. 1984. Photoelectric rotational velocities of late-type dwarfs. Astronomy and Astrophysics, Vol. 138, p. 183-188.

Berger, J., Chalonge, D., Divan, L. ve Fringant, A. M. 1956. Recherches sur les spectres continus stellaires. VIII. Structure du fond continu visible, Annales d'Astrophysique, Vol. 19, p.267.

Bermejo, J. M., Ramos, A. A. ve Allende Prieto, C. 2013. A PCA approach to stellar effective temperatures, A&A 553, A95.

Bertelli, G., Girardi, L., Marigo, P. ve Nasi, E. 2008. Scaled solar tracks and isochrones in a large region of the Z-Y plane. I. From the ZAMS to the TP-AGB end for 0.15-2.5 $\{M\}_{\odot}$ stars. Astronomy and Astrophysics, Volume 484, Issue 3, 2008, pp.815-830.

Bessell, M. S., Brett, J. M. 1988. JHKLM Photometry: Standard Systems, Passbands, and Intrinsic Colors, Publications of the Astronomical Society of the Pacific v.100, p.1134.

Bessell, M. S., Castelli, F. ve Plez, B. 1998. Model atmospheres broad-band colors, bolometric corrections and temperature calibrations for O - M stars, Astronomy and Astrophysics, v.333, p.231-250.

Bidelman, William P. 1960. The Unusual Spectrum of 3 Centauri. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 72, No. 424, p.24.

Blazère, A., Petit, P,, Lignières, F., Aurière, M., Ballot, J., Böhm, T., Folsom, C., Ariste, A. López ve Wade, G. A. 2015. Ultra-weak magnetic fields in Am stars: β UMa and θ Leo. Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 305, pp. 67-72.

Bochanski, J. J., Faherty, J. K., Gagné, J., Nelson, O., Coker, K., Smithka, I., Desir, D. ve Vasquez, C.. 2018. Fundamental Properties of Co-moving Stars Observed by Gaia, The Astronomical Journal, Volume 155, Issue 4, article id. 149, 17 pp.

Boeche, C. ve Grebel, E. K. 2016. SP_Ace: a new code to derive stellar parameters and elemental abundances, Astronomy & Astrophysics, Volume 587, id.A2, 35 pp.

Bohlender, D. A., Brown, D. N., Landstreet, J. D. ve Thompson, I. B. 1987. Magnetic Field Measurements of Helium-strong Stars. Astrophysical Journal v.323, p.325.

Bond, G. 1857. Photographical Experiments on the Positions of Stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 17, p.230.

Bressan, A., Marigo, P., Girardi, Léo., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S. ve Nanni, A. 2012. PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 427, Issue 1, pp. 127-145.

Budovicová, A., Kubát, J., Hadrava, P., Šlechta, M., Korcáková, D., Dovciak, M. ve Škoda, P. 2004. Orbital solutions for the A-type binaries α Dra and Mizar A using spectrum disentangling, The A-Star Puzzle, held in Poprad, Slovakia, July 8-13. Edited by J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, and W.W. Weiss, IAU Symposium, No. 224. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004., p.923-927.

Cantiello, M., Langer, N., Brott, I., Koter, A., Shore, S. N., Vink, J. S., Voegler, A., Lennon, D. J. ve Yoon, S.-C. 2009. Sub-surface convection zones in hot massive stars and their observable consequences, A&A 499, 279–290.

Carquillat, J.-M. ve Prieur, J.-L. 2007. Contribution to the search for binaries among Am stars – VIII. Newspectroscopic orbits of eight systems and statistical study of a sample of 91 Am stars, Mon. Not. R. Astron. Soc. 380, 1064–1078.

Casagrande, L., Ramírez, I., Meléndez, J., Bessell, M. ve Asplund, M. 2010. An absolutely calibrated Teff scale from the infrared flux method. Dwarfs and subgiants, Astronomy and Astrophysics, Volume 512, id.A54, 22 pp.

Casagrande, L., Schoenrich, R., Asplund, M., Cassisi, S., Ramirez, I., Melendez, J., Bensby, T. ve 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 and Astrophysics, volume 530A, 138-138.

Castelli, F. 2005. ATLAS12: how to use it, Mem. S.A.It. Suppl. Vol. 8, 25.

Cervantes, J. C. M. 2017. Spectroscopic search for multiple stellar populations in the Main Sequence of the globular cluster M3.. A thesis submitted to the Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica for the degree of Master of Science in the departament of Astrophysics.

Conti, P. S. 1965. The Early A Stars. I. Rotation and Metallicism, Astrophys. J., 142, 1594-1603.

Conti, P. S. 1970. The Metallic-Line Stars, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 82, No. 488, p.781.

Coulais, A., Schellens, M., Gales, J., Arabas, S., Boquien, M., Chanial, P., Messmer, P., Fillmore, D., Poplawski, O., Maret, S., Marchal, G., Galmiche, N. Ve Mermet, T. 2010. Status of GDL - GNU Data Language, Astronomical Data Analysis Software and Systems XIX. Proceedings of a conference held October 4-8, 2009 in Sapporo, Japan. Edited by Yoshihiko Mizumoto, Koh-Ichiro Morita, and Masatoshi Ohishi. ASP Conference Series, Vol. 434. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2010., p.187.

Cramer, N. ve Maeder, A. 1979. Luminosity and Teff determinations for B-type stars, Astronomy and Astrophysics, Vol. 78, p. 305-311.

Crawford, D. L. ve Mander, J. 1966. Standard stars for photoelectric H-beta photometry, Astronomical Journal, Vol. 71, p. 114-118.

Crawford, D.L. 1978. Empirical calibrations of the uvby, beta systems. II. The B-type stars. Astronomical Journal, 83, 48.

Danziger, I. J. ve Faber, S. M. 1972. Rotation of evolving A and F stars, Astronomy and Astrophysics, volume 18, 428-443.

David, T. J. ve Hillenbrand, L. A. 2015. The ages of early-type stars: Stromgren photometric methods calibrated, validated, tested, and applied to hosts and

prospective hosts of directly imaged exoplanets, Astrophys. J., 804, 146 (2015/May-2).

David, T. J., Conroy, K. E., Hillenbrand, L. A., Stassun, K. G., Stauffer, J., Rebull, L. M., Cody, A. M., Isaacson, H., Howard, A. W. ve Aigrain, S. 2016. New Pleiades Eclipsing Binaries and a Hyades Transiting System Identified by K2, The Astronomical Journal, Volume 151, Issue 5, article id. 112, 19 pp.

Debernardi, Y. 2000. Investigation on Am stars binarity, Birth and Evolution of Binary Stars, Poster Proceedings of IAU Symposium No. 200 on The Formation of Binary Stars, held 10-15 April, 2000, in Potsdam, Germany. Edited by Bo Reipurth and Hans Zinnecker, 2000, p. 161.

Drake, S. A., Linsky, J. L. ve Bookbinder, J. A. 1994. A search for radio emission from the "nonmagnetic" chemically peculiar stars. Astronomical Journal v.108, p.2203.

Draper, Z. H., Matthews, B., Venn, K., Lambert, D., Kennedy, G. ve Sitnova, T. 2018. A-type Stellar Abundances: A Corollary to Herschel Observations of Debris Disks, The Astrophysical Journal,857:93(16pp).

Ducati, J. R., Penteado, E. M. ve Turcati, R.. 2011. The mass ratio and initial mass functions in spectroscopic binaries, A&A 525, A26.

Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D. L., Nissen, P. E. ve Tomkin, J. 1993. The chemical evolution of the galactic disk. I. Analysis and results. Astronomy and Astrophysics, Vol. 500, p. 391-442.

Eggen, O. J. 1965. Masses, Luminosities, Colors, and Space Motions of 228 Visual Binaries, Astron. J., 70, 19-93.

Ekberg, U., Eriksson, K. ve Gustafsson, B. 1986. Line blanketing in model atmospheres of carbon stars. Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 167, Oct. 1986, p. 304-310. Research supported by the Naturvetenskapliga Forskningsradet.

Etzel, P. B. 1981. A Simple Synthesis Method for Solving the Elements of Well-Detached Eclipsing Systems, Photometric and Spectroscopic Binary Systems, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, held 1-14 June 1980 at Maratea, Italy. Edited by E.B. Carling and Z. Kopal. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., p.111, 1981.

Faraggiana, R. ve Gerbaldi, M. 2003. The spectrum of the SB2 HD 64491 and the problem of metal abundances in lambda Boo stars, Astronomy and Astrophysics, v.398, p.697-704 (2003).

Fehrenbach, C. ve Prevot, L. 1961. Vitesses radiales et éléments orbitaux de ζ1 Ursae Majoris, Journal des Observateurs, Vol. 44, p.83.

Fekel, F. C., Tomkin, J. Williamson, M. H. ve Pourbaix, D. July 27 2011. New Precision Orbits of Bright Double-Lined Spectroscopic Binaries. Vii. 47 Andromedae, 38 Cassiopeiae, And HR 8467, The American Astronomical Society., The Astronomical Journal, Volume 142, Number 3.

Figueras, F. ve Blasi, F. 1998. Effects of stellar rotation on age determination from Stromgren photometry, Astronomy and Astrophysics, v.329, p.957-964.

Flower, P. J. 1996. Transformations from Theoretical Hertzsprung-Russell Diagrams to Color-Magnitude Diagrams: Effective Temperatures, B-V Colors, and Bolometric Corrections. ApJ, 469, 355.

Folsom, C. P., Bagnulo, S., Wade, G. A., Alecian, E. ve Landstreet J. D. 2012. Chemical abundances of magnetic and non-magnetic Herbig Ae/Be stars, Mon. Not. R. Astron. Soc. 422, 2072–2101.

Fracassini, M. ve Pasinetti, L., E. 1968. The relation apparent magnitude-diameter in stars of galactic clusters. II. Mem. Soc. Astron. Ital., 39, 593-609.

Frebel, A. ve Norris, J. E. 2013. Planets, Stars and Stellar Systems, Vol. 5, by Oswalt Terry D., Gilmore Gerard, ISBN 978-94-007-5611-3. Springer Science+Business Media Dordrecht, p. 55.

Gaia Collaboration. 2018. Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties, Astronomy & Astrophysics, Volume 616, id.A1, 22 pp.

Garcia, Z. L. 1968. A Curve of Growth Analysis of γ Capricorni, Zeitschrift für Astrophysik, Vol. 68, p.278.

Geary, J. C. 1970. Rotational velocities in the Ursae Major group, Astron. J., 75, 718-720.

Gebran, M. ve Monier, R. 2008. Chemical composition of A and F dwarfs members of the Pleiades open cluster, Astronomy and Astrophysics, Volume 483, Issue 2, 2008, pp.567-570

Gebran, M., Farah, W., Paletou, F., Monier, R. ve Watson, V. 2016. A new method for the inversion of atmospheric parameters of A/Am stars, Astronomy & Astrophysics, Volume 589, id.A83, 10 pp.

Gebran, M., Hadrava, P., Jasniewicz, G. ve Richard, O. 2015. The signature of diffusion in the binary system of omicron Leonis: a key for AmFm scenarios?, Astrophysics and Space Science, Volume 357, Issue 2, article id.137, 9pp.

Gebran, M., Monier, R. ve Richard, O. 2008. Abundance determination of A, Am and F stars in the Pleiades and Coma Berenices clusters, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, vol. 38, no. 2, p. 405-406.

Gebran, M., Vick, M., Monier, R. ve Fossati, L. 2010. Chemical composition of A and F dwarfs members of the Hyades open cluster, Astronomy and Astrophysics, Volume 523, id.A71, 13 pp.

Ghazaryan, S., Alecian, G. ve Hakobyan, A. A. 2018. Statistical Analysis of the New Catalogue of CP Stars. Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory (ComBAO), Volume 65, Issue 2, p. 223-227.

Giannuzzi, M.A. 1995. The spectroscopic binary HD 23642 and the distance of the Pleiades, Astronomy and Astrophysics, Vol. 293, p.360-362.

Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G. ve Chiosi, C. 2000. Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7 Msun, and from Z=0.0004 to 0.03, Astronomy and Astrophysics Supplement, v.141, p.371-383.

Glagolevskij, Yu V., Leushin V. V. ve Chuntonov, G. A. 2004. Study of the Weakly Magnetic Star HD 116656. Astronomy Letters, Vol. 30, No. 12, pp. 843–847.

Golay, M. 1972. Spectral classification through seven-colour photometry, Vistas in Astronomy, vol. 14, Issue 1, pp.13-51.

Gomez, A. E., Luri, X., Sabas, V., Grenier, S., Figueras, F., North, P., Torra, J. ve Mennessier, M. O. 1998. Absolute magnitudes and kinematics of CP stars from HIPPARCOS data. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso, vol. 27, no. 3, p. 171-178.

Gray, R. O. 1991. A Method for Selecting Lambda Bootis Candidates from Stromgren Photometry and Objective-Prism Spectra of Field Stars, Precision Photometry: Astrophysics of the Galaxy, Proceedings of the conference held 3-4 October, 1990 at Union College, Schenectady, NY. Edited by A.G.D. Philip, A.R. Upgren and K.A. Janes. Schenectady, NY: Davis Press, p.309.

Gray, R. O. ve Corbally, C. J. 1994. The Calibration of MK Spectral Classes Using Spectral Synthesis. I. The Effective Temperature Calibration of Dwarf Stars, Astronomical Journal v.107, p.742.

Gray, R. O. ve Garrison, R. F. 1989. The Late A-Type Stars: Refined MK Classification, Confrontation with Stroemgren Photometry, and the Effects of Rotation. Astrophysical Journal Supplement v.70, p.623.

Gray, R. O., Corbally, C. J., Garrison, R. F., McFadden, M. T. ve Robinson, P. E. 2003. Contributions to the Nearby Stars (NStars) Project: Spectroscopy of Stars Earlier than M0 within 40 Parsecs: The Northern Sample. I, The Astronomical Journal, Volume 126, Number 4.

Gray, R. O., Graham, P. W. ve Hoyt, S. R. 2001. The Physical Basis of Luminosity Classification in The Late A-, F-, and Early G-Type Stars. Ii. Basic Parameters of Program Stars And The Role of Microturbulence, The Astronomical Journal, 121 : 2159è2172.

Green, G. M., Schlafly, E., Zucker, C., Speagle, J. S. ve Finkbeiner, D. 2019. A 3D Dust Map Based on Gaia, Pan-STARRS 1, and 2MASS, The Astrophysical Journal, Volume 887, Issue 1, article id. 93, 27 pp.

Grevesse, N. ve Sauval, A. J. 1998. Standart Solar Composition, Space Science Reviews, v. 85, Issue 1/2, p. 161-174.

Griffin, R. F. 1995. An improved orbit for the double-lined Pleiades binary HD 23642. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 89, p. 53-62.

Griffin, R. F. 2002. Composite Spectra. XII. o Leonis: An Evolving Am Binary, The Astronomical Journal, Volume 123, Issue 2, pp. 988-1001.

Griffin, R. F. 2005. Spectroscopic binary orbits from photoelectric radial velocities. Camelopardalis, HD 156051, HR 6890, And HD 221757, The Observatory, 125, 134-152. Paper 182: 22.

Groenewegen, M. A. T., Decin, L., Salaris, M. ve De Cat, P. 2007. The Pleiades eclipsing binary HD 23642 revisited, Astronomy and Astrophysics, Volume 463, Issue 2, February IV 2007, pp.579-587.

Gustafsson, B., Bell, R. A., Eriksson, K. ve Nordlund, A. 1975. Reprint of 1975A&A....42..407G. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars. I., Astronomy and Astrophysics, Vol. 500, p. 67-92.

Hadrava, P. 1995. Orbital elements of multiple spectroscopic stars, Astronomy and Astrophysics Supplement, v.114, p.393.

Hadrava, P. 2004a. FOTEL 4 - User's guide. Publications of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic (ISSN 1211-9105), No. 92, p. 1 – 14.

Hadrava, P. 2004b. KOREL - User's guide, Publications of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic (ISSN 1211-9105), No. 92, p. 15 – 35.

Hadrava, P. 2012. The Disentangling of Stellar Spectra, From Interacting Binaries to Exoplanets: Essential Modeling Tools, Proceedings of the International Astronomical Union. Edited by M. T. Richards and I. Hubeny, IAU Symposium, Volume 282, p. 351-358.

Hamers, A. S and Portegies Zwart, S. F. 2016. Secular dynamics of hierarchical multiple systems composed of nested binaries, with an arbitrary number of bodies and arbitrary hierarchical structure. First applications to multiplanet and multistar systems, MNRAS 459,2827–2874.

Hauck, B. ve Mermilliod, M. 1985. uvby-beta photoelectric photometric catalogue (magnetic tape), Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., Vol. 60, p. 61-62.

Hauck, B. ve Mermilliod, M. 1990. Uvby-beta Photoelectric Photometric Catalogue (1989 version), Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., Vol. 86, p. 107.

Hauck, B. ve Mermilliod, M. VizieR On-line Data Catalog: II/215. Originally published in: 1998A&AS..129..431H VizieR Online Data Catalog: uvby-beta Catalogue (Hauck+ 1997).

Hobbs, L. M. 1985. The lithium isotope in five F or G dwarfs, The Astrophysical Journal, 290:284-288.

Hoffleit, D. 1982. Variable Stars in the General Catalogue of Trigonometric Parallaxes, Information Bulletin on Variable Stars, No. 2066, #1.

Høg, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., Urban, S., Corbin, T., Wycoff, G., Bastian, U., Schwekendiek, P. ve Wicenec, A. 2000. The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brightest stars, Astron. Astrophys. 355, L27–L30.

Horne, K. 1986,. An optimal extraction algorithm for CCD spectroscopy, Astronomical Society of the Pacific, Publications (ISSN 0004-6280), vol. 98, June 1986, p. 609-617.

Houk, N. ve Cowley, A. P. 1975. University of Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars. Volume I. Declinations -90_ to -53_*f*0, University of Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars. Volume I. Declinations -90_ to -53_*f*0., by Houk, N.; Cowley, A. P.. Ann Arbor, MI (USA): Department of Astronomy, University of Michigan, 19 + 452 p.

Hubeny, I. ve Lanz, T. 1992. Accelerated complete-linearization method for calculating NLTE model stellar atmospheres, Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 262, no. 2, p. 501-514.

Hubeny, I. ve Lanz, T. 1995. Non-LTE line-blanketed model atmospheres of hot stars. 1: Hybrid complete linearization/accelerated lambda iteration method, ApJ, 439, 875.

Hubeny, I. ve Lanz, T. 2000. SYNSPEC | A User's Guide., NASA/GSFC, Code 681, Greenbelt, MD 20771.

Hummel, C. A., Mozurkewich, D., Armstrong J. T., Hajian, A. R., Elias II, N. M. ve Hutter, D. J. 1998. Navy Prototype Optical Interferometer Observations Of The Double Stars Mizar A And Matar, The Astronomical Journal, 116 : 2536-2548.

Ilijic, S., Hensberge, H. ve Pavlovski, K. 2002. Separation techniques for disentangling of composite spectra, FIZIKA B, vol. 10, No. 4, p. 357-366.

Jaschek, C. ve Jaschek, M. 1987. The classification of stars. Cambridge: University Press, 1987.

Jaschek, M. ve Jaschek, C. 1958. The Position of the Peculiar A-Type Stars in the Color-Absolute Magnitude Diagram. With 2 figures in the text. Zeitschrift für Astrophysik, Vol. 45, p.35.

Jaschek, M. ve Jaschek, C. 1960. A Search for Families among Metallic-Line Stars. With 4 Figures in the text, Zeitschrift für Astrophysik, Vol. 50, p.155.

Jordan, Frank C. 1916. The orbit of 25 Serpentis. Publications of the Allegheny Observatory of the University of Pittsburgh, v. 3, no. 18, Lancaster, Pa.:New Era, p. 153-159.

Jorgensen, U. G. 1992. Sampling Methods. Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica, 23, 195.

Jose, P. D. 1951. The spectroscopic binary 47 Andromedae, Astrophys. J., 114, 370-370.

Jugaku, J. ve Sargent, Wallace, L. W. 1961. The Spectrum of α SCULPTORIS. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 73, No. 433, p.249.

Kervella, P., Thévenin, F., Di Folco, E. ve Ségransan, D. 2004. The angular sizes of dwarf stars and subgiants. Surface brightness relations calibrated by interferometry, Astronomy and Astrophysics, v.426, p.297-307.

Khokhlova, V. L. 1981. AM stars In: Chemically peculiar stars of the upper main sequence, International Conference on Astrophysics, 23rd, Liege, Belgium, June 23-26, 1981, Reports. (A82-37717 18-39) Liege, Universite de Liege, 1981, p. 457-463.

Kılıçoğlu, T. ve Monier, R. 2018. Elemental abundance analysis of single and binary late-B stars using sub-meter class telescopes: HR 342, HR 769, HR 1284, and HR 8705, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, vol. 49, no. 2, p. 373-376.

Klus, H. 2017. How We Came to Know the Cosmos: Light & Matter Kindle Edition by Helen Klus.

Kobi, D. ve North, P. 1990. A new calibration of the Geneva photometry in terms of Te, log g, [Fe/H] and mass for main sequence A4 to G5 stars. Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., Vol. 85, p. 999.

Kochukhov, O., Johnston, C., Alecian, E., Wade. G. A. ve the BinaMIcS collaboration. 2018. HD 66051: the first eclipsing binary hosting an early-type magnetic star, MNRAS, 478, 1749–1762.

Kochukhov, O., Tsymbal, V., Ryabchikova, T., Makaganyk, V. ve Bagnulo, S. 2006. Chemical stratification in the atmosphere of Ap star HD 133792. Regularized solution of the vertical inversion problem. Astronomy and Astrophysics, Volume 460, Issue 3, December IV 2006, pp.831-842.

Kolbas, V., Dervişoğlu, A., Pavlovski, K. ve Southworth, J. 2014. Tracing CNO exposed layers in the Algol-type binary system U Her, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 444, 3118–3129.

Kolbas, V., Pavlovski, K., Southworth, J., Lee, C.-U., Lee, D.-J., Lee, J. W., Kim, S.-L., Kim, H.-I., Smalley, B. ve Tkachenko, A. 2015. Spectroscopically resolving the Algol triple system, MNRAS 451, 4150–4161.

Koleva, M., Prugniel, Ph., Bouchard, A. ve Wu, Y. 2009. ULySS: a full spectrum fitting package, Astronomy and Astrophysics, Volume 501, Issue 3, 2009, pp.1269-1279.

Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader, J. ve NIST ASD Team. 2013. NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.1), [Online]. Available: http://physics.nist.gov/asd. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

Kunzli, M. ve North, P. 1998. Behaviour of calcium abundance in Am-Fm stars with evolution, Astronomy and Astrophysics, v.330, p.651-658.

Kunzli, M., North, P., Kurucz, R. L. ve Nicolet, B. 1997. A calibration of Geneva photometry for B to G stars in terms of Teff, log G and [M/H], A & A Supplement series, Vol. 122, April I 1997, p.51-77.

Kupka, F., Piskunov, N., Ryabchikova, T. A., Stempels, H. C. ve Weiss, W. W. 1999. VALD-2: Progress of the Vienna Atomic Line Data Base, Astronomy and Astrophysics Supplement, v.138, p.119-133.

Kurtz, D.W. 2000. Pulsation of Chemically Peculiar and Pre-Main Sequence Stars in the δ Scuti Instability Strip. Delta Scuti and Related Stars, Reference Handbook and Proceedings of the 6th Vienna Workshop in Astrophysics, held in Vienna, Austria, 4-7 August, 1999. ASP Conference Series, Vol. 210. Edited by Michel Breger and Michael Montgomery. (San Francisco: ASP) ISBN: 1-58381-041-2, p. 287.

Kurucz, R. L. 1970. Atlas: a Computer Program for Calculating Model Stellar Atmospheres. SAO Special Report, 309.

Kurucz, R. L. 1979. Model atmospheres for G, F, A, B, and O stars., Astrophysical Journal, Suppl. Ser., Vol. 40, p. 1-340.

Kurucz, R. L. 1986. Theoretical stellar energy distributions, IN: Highlights of astronomy. Volume 7 - Proceedings of the Nineteenth IAU General Assembly, Delhi, India, November 19-28, 1985 (A87-12451 02-90). Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., 1986, p. 827-831.

Kurucz, R. L. 1993a. SYNTHE spectrum synthesis programs and line data. Kurucz CD-ROM, Cambridge, MA: Smithsonian Astrophysical Observatory, |c1993, December 4, 1993.

Kurucz, R. L. 1993b. ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory, 13.

Kurucz, R. L. 1993c. A New Opacity-Sampling Model Atmosphere Program for Arbitrary Abundances. Kurucz, R. L. Peculiar versus Normal Phenomena in A-type and Related Stars. International Astronomical Union, Colloquium No. 138, held in Trieste, Italy, July 1992. Editors, M.M. Dworetsky, F. Castelli, R. Faraggiana, Publisher, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, CA. LC # QB843.A12 I58 1992. ISBN # 0937707635. P. 87.

Kurucz, R. L. 2005. ATLAS12, SYNTHE, ATLAS9, WIDTH9, et cetera. Memorie della Società Astronomica Italiana Supplement, v.8, p.14.

Landstreet, J. D. 1988. The Magnetic Field and Abundance Distribution Geometry of the Peculiar A Star 53 Camelopardalis, Astrophysical Journal v.326, p.967.

Lanz, T. ve Mathys, G. 1993. A search for magnetic fields in Am stars, Astronomy and Astrophysics, volume 280, 486-492.

Levato, H. 1975. Rotational velocities and spectral types for a sample of binary systems. Astron. Astrophys., Suppl. Ser., 19, 91-99.

Linsky, J. L., Drake, S. A. ve Bastian, T. S. 1992. Radio Emission from Chemically Peculiar Stars, Astrophysical Journal v.393, p.341.

Ludendorff, H. 1908. Die Veränderlichkeit der Radialbewegung von β Urase majoris, Astronomische Nachrichten, volume 177, p.235.

Ludwig, H-G., Freytag, B. Ve Steffen, M. 1999. A calibration of the mixing-length for solar-type stars based on hydrodynamical simulations. I. Methodical aspects and results for solar metallicity, Astronomy and Astrophysics, v.346, p.111-124.

Maceroni, C., Montalbán, J., Gandolfi, D., Pavlovski, K. ve Rainer, M. 2013. CoRoT 102918586: a γ Doradus pulsator in a short-period eccentric eclipsing binary, Astronomy and Astrophysics, 552, A60.

Mamajek, E. E, Kenworthy, M. A, Hinz, P. M. ve Meyer, M. R. 2010. Discovery of a Faint Companion to Alcor Using Mmt/Ao 5μm Imaging. The Astronomical Journal, 139:919–925.

Masana, E., Jordi, C. ve Ribas, I. 2006. Effective temperature scale and bolometric corrections from 2MASS photometry, A&A 450, 735–746.

McCluskey, G. E., Jr. ve Kondo, Y. 1972. On the Mass-Luminosity Relation, Astrophysics and Space Science, Volume 17, Issue 1, pp.134-149.

McDonald, I., Zijlstra, A. A. ve Boyer, M. L. 2012. Fundamental parameters and infrared excesses of Hipparcos stars, Monthly Notices of the Royal

Astronomical Society, Volume 427, Issue 1, 21 November 2012, Pages 343–357.

McWilliam, A. ve Rich, R. M. 1994. The First Detailed Abundance Analysis of Galactic Bulge K Giants in Baade's Window, Astrophysical Journal Supplement v.91, p.749

Michaud, G. 1970. Diffusion Processes in Peculiar a Stars, Astrophysical Journal, vol. 160, p.641.

Michaud, G. ve Charland, Y. 1986. Mass Loss in A and F Stars: The lambda Bootis Stars, Astrophysical Journal v.311, p.326.

Millward, C. G. ve Walker G. A. H. 1985. An empirical H-gamma luminosity calibration for class V-III stars, Astrophys. J., Suppl. Ser., 57, 63-76.

Molina, R. E. ve Arellano Ferro, A. 2013. Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Vol. 49, pp. 101-109. Detailed Atmospheric abundance analysis of the optical counterpart of the IR source IRAS 16559-2957.

Monier, R., Gebran, M., Royer, F., Kilicoglu, T. ve Frémat, Y. 2018. HR 8844: A New Transition Object between the Am Stars and the HgMn Stars?. The Astrophysical Journal, 854:50 (28pp).

Montalb´an, J., Nendwich, J., Heiter, U. F. 2006. Effect of the microturbulence parameter on the Color-Magnitude Diagram. Convection in Astrophysics Proceedings IAU Symposium No. 239, F. Kupka, I. W. Roxburgh & K. L. Chan, eds. 2007 International Astronomical Union.

Moon, T. 1985. Stellar Luminosities and Radii from Uvby-Beta Photometry, Astrophysics and Space Science, Volume 117, Issue 2, pp.261-270.

Moon, T. T. ve Dworetsky, M. M. 1985. Grids for the determination of effective temperature and surface gravity of B, A and F stars using uvby-beta photometry. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 217, 305-315.

Morgan, W. W. 1931. Studies in Peculiar Stellar Spectra. II. The Spectrum of B. D. 18°3789, Astrophysical Journal, vol. 74, p.24.

Morgan, W. W., Keenan, P. C. ve Kellman, E. 1943. An atlas of stellar spectra, with an outline of spectral classification, Chicago, III., The University of Chicago press.

Munari, U., Dallaporta, S., Siviero, A., Soubiran, C., Fiorucci, M. ve Girard, P. 2004. The distance to the Pleiades from orbital solution of the double-lined eclipsing binary HD 23642, Astronomy and Astrophysics, v.418, p.L31-L34.

Napiwotzki, R., Schoenberner, D. ve Wenske, V. 1993. On the determination of effective temperature and surface gravity of B, A,and F stars using Stromgren UVBY

beta photometry, Astronomy and Astrophysics, 1993, vol. 268, no. 2, p. 653-666.

Newton, I. 1927. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 80 (19 Feb. 1671/2), pp. 3075-3087. L. Rosenfeld, Isis, Vol. 9, No. 1 (Feb. 1927), pp. 44–65.

Nicolet, B. 1981. Geneva photometric boxes. III - Distances and reddenings for 43 open clusters. Astronomy and Astrophysics, 104, 185-197.

Nordstroem, B., Mayor, M., Andersen, J., Holmberg, J., Pont, F., Jorgensen, B. R., Olsen, E. H., Udry, S. ve Mowlavi, N. 2004. The Geneva-Copenhagen survey of the Solar neighbourhood. Ages, metallicities, and kinematic properties of ~14000 F and G dwarfs, Astronomy and Astrophysics, volume 418, 989-1019.

North, P. 2012. Yazılı görüşme. Laboratoire d'astrophysique, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Observatoire de Sauverny, Versoix, İsviçre.

Ondra, L. 2004. Box: Mizar, Alcor, and Sidus Ludoviciana, Sky and Telescope, volume 108, number 1, page 74.

Osawa, K. 1959. Spectral Classification of 533 B8-A2 Stars and the Mean Absolute Magnitude of a0 V Stars., Astrophysical Journal, vol. 130, p.159.

Osmer, P. S. ve Peterson, D. M. 1974. The composition and evolutionary status of the helium-rich stars. Astrophysical Journal, Vol. 187, p. 117-129 (1974).

Paunzen, E. 2004. The λ Bootis stars, The A-Star Puzzle, held in Poprad, Slovakia, July 8-13, 2004. Edited by J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, and W.W. Weiss, IAU Symposium, No. 224. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004., p.443-450.

Pavlovski, K. ve Southworth, J. 2009. Chemical evolution of high-mass stars in close binaries – I. The eclipsing binary V453 Cygni, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 394, Issue 3, Pages 1519–1528.

Pavlovski, K., Southworth, J. ve Tamajo, E. 2018. Physical properties and CNO abundances for high-mass stars in four main-sequence detached eclipsing binaries: V478 Cyg, AH Cep, V453 Cyg and V578 Mon, MNRAS481, 3129–3147.

Pearce, J. A. 1958. HD 23642, a spectroscopic binary in the Pleiades, Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria, Vol. 10, p. 435.

Pease, F. G. 1925. Notes from Pacific Coast Observatories: Interferometer Notes III: Measurements of the Spectroscopic Binary Star Mizar, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 37, p.155-155.

Pickering, E. C. 1890. On the spectrum of zeta Ursae Majoris, The Observatory, Vol. 13, p. 80-81.

Pietrinferni, A., Cassisi, S., Salaris, M. ve Castelli, F. 2004. A Large Stellar Evolution Database for Population Synthesis Studies. I. Scaled Solar Models and Isochrones, The Astrophysical Journal, Volume 612, Issue 1, pp. 168-190.

Plaskett, J. S. ve Young, R. K. 1919. Notes from the Dominion Astrophysical Observatory, Victoria, B.C.. Second list of spectroscopic binaries. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 13, p. 59-64.

Poretti, E., Garrido, R., Amado, P. J., Uytterhoeven, K., Handler, G., Alonso, R., Martín, S., Aerts, C., Catala, C., Goupil, M. J., Michel, E., Mantegazza, L., Mathias, P., Pretorius, M. L., Belmonte, J. A., Claret, A., Rodríguez, E., Suarez, J. C., Vuthela, F. F., Weiss, W. W. Ballereau, D., Bouret, J. C., Charpinet, S., Hua, T., Lüftinger, T., Nesvacil, N. ve Van't Veer-Menneret, C. 2003. Preparing the COROT space mission: Incidence and characterisation of pulsation in the lower instability strip, Astronomy and Astrophysics, v.406, p.203-211.

Pourbaix, D. 2000. Resolved double-lined spectroscopic binaries: A neglected source of hypothesis-free parallaxes and stellar masses, Astronomy and Astrophysics Supplement, v.145, p.215-222.

Press, W. H., Teukolsky, Saul A., Vetterling, William T. ve Flannery, Brian P. 1992. Numerical recipes in FORTRAN. The art of scientific computing, Cambridge: University Press, |c1992, 2nd ed.

Preston, G.W. 1974. The chemically peculiar stars of the upper main sequence. Annual review of astronomy and astrophysics, 12, 257-277.

Prevot, L. 1961. Vitesses radiales et éléments orbitaux de ζ1 Ursae Majoris, Journal des Observateurs, Vol. 44, p.83.

Prugniel, Ph. ve Soubiran, C. 2001. A database of high and medium-resolution stellar spectra, Astronomy and Astrophysics, v.369, p.1048-1057.

Relyea, L. J. ve Kurucz, R. L. 1978. A theoretical analysis of uvby photometry, Astrophysical Journal, Suppl. Ser., Vol. 37, p. 45-69.

Roman, Nancy G., Morgan, W. W. ve Eggen, Olin J. 1948. The Classification of the Metallic-Line Stars, Astrophysical Journal, vol. 107, p.107-109

Royer, F., Grenier, S., Baylac, M. -O., Gómez, A. E. ve Zorec, J. 2002. Rotational velocities of A-type stars in the northern hemisphere. II. Measurement of v sin i, Astronomy and Astrophysics, v.393, p.897-911.

Rufener, F. 1976. Second catalogue of stars measured in the Geneva Observatory photometric system, Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., Vol. 26, p. 275 – 351.

Rufener, F. 1988. Catalogue of stars measured in the Geneva Observatory photometric system : 4, Sauverny: Observatoire de Geneve.

Ryabchikova, T. A., Piskunov, N. E., Kupka, F. ve Weiss, W. W. 1997. The Vienna Atomic Line Database: Present State and Future Development. Baltic Astronomy, 6, 244-247.

Ryabchikova, T. A., Piskunov, N. E., Stempels, H. C., Kupka, F. ve Weiss, W. W. 1999. The Vienna Atomic Line Data Base - a Status Report. Physica Scripta, Volume T83, Issue 1, pp. 162-173.

Ryabchikova, T., Piskunov, N., Kurucz, R. L., Stempels, H. C., Heiter, U., Pakhomov, Yu ve Barklem, P. S. 2015. A major upgrade of the VALD database, Physica Scripta, Volume 90, Issue 5, article id. 054005.

Sargent, W. L. W. 1967. Weak-Lined A and B Stars of Population I, Magnetic and Related Stars, Proceedings of the AAS-NASA Symposium on the Magnetic and other Peculiar and Metallic-Line A Stars, held at Greenbelt, Maryland, November 8-10, 1965, and the 1965 Helen B.Warner prize lecture of the American Astronomical Society, presented at Berkeley, California, December 29th, 1965. Edited by Robert C. Cameron. Baltimore, Mono Book Corporation, 1967., p.329.

Sbordone, L., Bonifacio, P., Castelli, F. ve Kurucz, R.L. 2004. ATLAS and SYNTHE under Linux. Memorie della Società Astronomica Italiana Supplement, 5, 93.

Schiller, F. ve Przybilla, N. 2008. Quantitative spectroscopy of Deneb. Astronomy and Astrophysics, Volume 479, Issue 3, March I 2008, pp.849-858.

Schulze-Hartung, T., Launhardt, R. ve Henning, T. 2012. Bayesian analysis of exoplanet and binary orbits Demonstrated using astrometric and radial-velocity data of Mizar A, A&A, 545, A79.

Schuster, W. J. ve Nissen, P. E. 1989. Uvby-beta photometry of high-velocity and metal-poor stars. II. Intrinsic color and metallicity calibrations. Astronomy and Astrophysics, Vol. 221, p. 65-77.

Shorlin, S. L. S., Wade, G. A., Donati, J. -F., Landstreet, J. D., Petit, P., Sigut, T. A. A. ve Strasser, S. 2002. A highly sensitive search for magnetic fields in B, A and F stars, Astronomy and Astrophysics, v.392, p.637-652.

Siebert, H. 2005. The early search for stellar parallax: Galileo, Castelli, and Ramponi, Journal for the History of Astronomy, Vol. 36, p. 251-271.

Simon, K. P. ve Sturm, E. 1994. Disentangling of composite spectra, Astronomy and Astrophysics, Vol. 281, p. 286-291.

Slettebak, A. 1949. On the Axial Rotation of the Brighter O and B Stars, Astrophysical Journal, vol. 110, p.498.

Slettebak, A. 1963. The Spectra and Axial Rotational Velocities of the Components of 116 Visual Double-Star Systems, Astrophys. J., 138, 118-139.

Smalley, B. 2004. Observations of convection in A-type stars. The A-Star Puzzle, held in Poprad, Slovakia, July 8-13, 2004. Edited by J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, and W.W. Weiss, IAU Symposium, No. 224. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 131-138.

Smalley, B., Southworth, J., Pintado, O. I., Gillon, M., Holdsworth, D. L., Anderson, D. R., Barros, S. C. C., Collier Cameron, A., Delrez, L., Faedi, F., Haswell, C. A., Hellier, C., Horne, K., Jehin, E., Maxted, P. F. L., Norton, A. J., Pollacco, D., Skillen, I., Smith, A. M. S., West, R. G. ve Wheatley, P. J. 2014. Eclipsing Am binary systems in the SuperWASP survey, Astronomy & Astrophysics, Volume 564, id.A69, 20 pp.

Smith, B. ve Struve, O. 1944, The Radial Velocities of the Pleiades. ApJ, 100, 360.

Smith, K. C. 1996. Chemically Peculiar Hot Stars, Astrophysics and Space Science, Volume 237, Issue 1-2, pp. 77-105.

Sokolov, N. A. 1998. Effective temperatures of AP stars, Astronomy and Astrophysics Supplement, v.130, p.215-222.

Southworth, J., Maxted, P. F. L. ve Smalley, B. 2005. Eclipsing binaries as standard candles. HD 23642 and the distance to the Pleiades, Astronomy and Astrophysics, v.429, p.645-655.

Steffen, M. 1985. A model atmosphere analysis of the F5 IV-V subgiant Procyon, Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., Vol. 59, p. 403-427.

Strömgren, B. 1963. Quantitative Classification Methods, Basic Astronomical Data: Stars and stellar systems, edited by K. A. Strand. Published by the University of Chicago Press, Chicago, IL USA, 1968, p.123.

Strömgren, B. 1966. Spectral Classification Through Photoelectric Narrow-Band Photometry, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 4, p.433.

Takeda, Y., Han, I., Kang, D-II, Lee, B-C. ve Kim, K-M.. 2008. Rotation and Surface Abundance Peculiarities In A-Type Stars, Journal of the Korean Astronomical Society, vol. 41, no. 4, pp. 83-98.

Takeda, Y., Kawanomoto, S., Ohishi, N., Kang, D.-II, Lee, B.-C., Kim, K.-M ve Han, I. 2018. Photospheric carbon, nitrogen, and oxygen abundances of A-type main-sequence stars. Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, Issue 5, id.91.

Titus, J. ve Morgan, W. W. 1940. On the Classification of the a Stars. I. The Spectral Types of the Brighter Members of the Hyades Cluster, Astrophysical Journal, vol. 92, p.256.

Torres, G. 2003. Discovery of a Bright Eclipsing Binary in the Pleiades Cluster, Information Bulletin on Variable Stars, No. 5402, #1.

Torres, G., Lacy C. H. S., Pavloski, K., Fekel, F. C. ve Muterspaugh M. W. 2015. Absolute Dimensions of The Metallic-Line Eclipsing Binary V501 Monocerotis, The Astronomical Journal, 150:154 (11pp).

Valdes, F., Gupta, R., Rose, J. A., Singh, H. P. ve Bell, D. J. 2004. The Indo-US Library of Coudé Feed Stellar Spectra, The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 152, Issue 2, pp. 251-259.

Van't Veer-Menneret, C. ve Coupry, M. F. 1976. A new double-lined spectroscopic binary HR 2172, Astronomy and Astrophysics, volume 50, 213-220.

Vauclair, G., Vauclair, S. ve Michaud, G. 1978. Abundance anomalies in main-sequence stars: competition between diffusion processes and turbulent motions. Astrophysical Journal, Part 1, vol. 223, Aug. 1, 1978, p. 920-936.

Vauclair, S. 1975. Mi Explanation for Helium-rich and Helium-variable Stars, Astronomy and Astrophysics, Vol. 45, p. 233.

Venn, K. A. ve Lambert, D. L. 1990. The Chemical Composition of Three Lambda Bootis Stars,ApJ 363, 234.

Vogel, H. C. 1901. The Spectroscopic Binary Mizar, Astrophysical Journal, 13, 324-328.

Wade, G. A., Bagnulo, S., Drouin, D., Landstreet, J. D.ve Monin, D. 2007. A search for strong, ordered magnetic fields in Herbig Ae/Be stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 376, Issue 3, pp. 1145-1161.

Walker, N. 1966. List of newly identified metallic line A stars. The Observatory, 86, 154-157.

Waters, L. B. F. M., Trams, N. R. ve Waelkens, C. 1992. A scenario for the selective depletion of stellar atmospheres, Astronomy and Astrophysics, Vol. 262, p. L37.

White, R. E., Allen, C. L., Forrester, W. B., Gonnella, A. M. ve Young, K. L. 2001. Interstellar Matter Near the Pleiades. V. Observations of NA I toward 36 Stars, The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 132, Issue 2, pp. 253-280.

Wolff, S.; Simon, T. 1997. The Angular Momentum of Main Sequence Stars and Its Relation to Stellar Activity, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, v.109, p.759-775.”

Wu, Y., Singh, H. P., Prugniel, P., Gupta, R. ve Koleva, M. 2011. Coude-feed stellar spectral library - atmospheric parameters, Astronomy and Astrophysics, volume 525A, 71-71.

Yushchenko, A. V. 1998. URAN: a Software System for the Analysis of Stellar Spectra, Proceedings of the 20th Stellar Conference of the Czech and Slovak Astronomical Institutes. 5th - 7th November 1997. Brno, Czech Republic. editor J. Dusek. 172 pages, in English. ISBN 80-85882-08-6. Brno, 1998, p.201.

Yushchenko, A. V., Gopka, V. F., Khokhlova, V. L., Musaev, F. A. ve Bikmaev, I. F. 1999. Atmospheric chemical composition of the "twin" components of equal mass in the CP SB2 system 66 Eri, Astronomy Letters, Volume 25, Issue 7, July 1999, pp.453-466.

Zboril, M. ve North, P. 2000. He, CNO abundances and v sin i values in He-rich stars. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso, vol. 30, no. 1, p. 12-20.

Zimmerman, N., Oppenheimer, Ben R., Hinkley, S., Brenner, D., Parry, Ian R., Sivaramakrishnan, A., Hillenbrand, L., Beichman, C., Crepp, J. R., Vasisht, G, Roberts, Lewis C. Jr., Burruss, R., King, D. L., Soummer, R., Dekany, R., Shao, M., Bouchez, A., Roberts, J. E. ve Hunt, S. 2010. Parallactic Motion for Companion Discovery: An M-Dwarf Orbiting Alcor, The Astrophysical Journal, Volume 709, Issue 2, pp. 733-740.

Zorec, J., Cidale, L., Arias, M. L., Fremat, Y., Muratore, M. F., Torres, A. F. ve Martayan, C. 2009. Fundamental parameters of B supergiants from the BCD system I. Calibration of the (λ_1,D) parameters into $T_{\rm eff}$, A&A, 501, 297-320.

EKLER

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Ti	II	4163.6437	-0.13	20891.79	44902.446
Fe	II	4191.4464	-5.53	86124.348	109975.739
Sc	II	4320.732	-0.252	4883.57	28021.29
Fe	II	4351.7618	-2.02	21812.045	44784.786
Cr	I	4351.762	-0.48	8307.575	31280.315
Fe	I	4383.545	0.2	11976.239	34782.421
Ti	II	4399.765	-1.2	9975.99	32698.102
Fe	I	4404.75	-0.142	12560.933	35257.322
Ca	I	4425.437	-0.358	15157.901	37748.197
Fe	I	4427.3094	-2.924	415.933	22996.674
Fe	I	4433.218	-0.7	29469.024	52019.669
Ca	I	4434.957	-0.007	15210.063	37751.867
Ti	II	4444.555	-2.24	8997.785	31490.915
Fe	I	4447.717	-1.342	17927.382	40404.518
Ca	I	4454.78	0.258	15315.943	37757.449
Fe	I	4459.117	-1.279	17550.181	39969.853
Ti	II	4464.449	-1.81	9363.739	31756.639
Fe	I	4466.551	-0.6	22838.323	45220.681
Ti	II	4468.492	-0.63	9118.285	31490.918
Fe	II	4472.921	-3.43	22939.351	45289.825
Fe	I	4476.018	-0.819	22946.816	45281.833
Fe	I	4476.076	-0.172	29732.736	52067.469
Mg	II	4481.13	0.74	71490.19	93799.75
Fe	I	4484.2198	-0.864	29056.324	51350.492
Fe	II	4489.1758	-2.971	22810.346	45079.902
Fe	II	4491.3971	-2.708	23031.283	45289.825
Fe	I	4494.563	-1.136	17726.988	39969.853
Ti	II	4501.27	-0.77	8997.787	31207.511
Fe	II	4508.28	-2.25	23031.283	45206.47
Fe	II	4515.334	-2.496	22939.351	45079.902
Fe	II	4520.2182	-2.6	22637.195	44753.818
Fe	II	4522.628	-2.03	22939.351	45044.192
Fe	I	4528.614	-0.822	17550.181	39625.804
Ti	II	4533.96	-0.53	9975.997	32025.589
Fe	II	4534.1601	-3.33	23031.283	45079.902
Fe	II	4541.518	-2.79	23031.283	45044.192
Fe	II	4549.467	-2.02	22810.346	44784.786
Ti	II	4549.813	-2.32	9518.152	31490.918

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri (devam)

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Ba	II	4554.033	0.026	0	21952.402
Fe	II	4555.888	-2.16	22810.346	44753.818
Cr	II	4558.644	-0.656	32854.31	54784.48
Ti	II	4563.757	-0.69	9851.011	31756.639
Cr	II	4565.735	-1.82	32603.4	54499.52
Ti	II	4571.971	-0.31	12677.105	34543.38
Fe	II	4576.328	-2.92	22939.351	44784.786
Cr	II	4588.198	-0.627	32836.68	54625.62
Ti	II	4589.947	-1.682	9975.997	31756.639
Cr	II	4592.049	-1.221	32854.95	54625.62
Fe	I	4602.941	-2.209	11976.239	33695.397
Fe	I	4611.279	-0.44	29469.024	51148.91
Cr	I	4613.357	-1.537	7750.748	29420.865
Cr	II	4616.624	-1.361	32844.76	54499.52
Cr	II	4618.803	-0.84	32854.95	54499.52
Fe	II	4620.513	-3.24	22810.346	44446.905
Ti	II	4629.29	-2.24	9518.151	31113.676
Fe	II	4629.332	-2.33	22637.195	44232.54
Fe	I	4643.463	-1.147	29469.024	50998.645
Cr	I	4646.162	-0.74	8307.575	29824.691
Cr	I	4652.157	-0.913	8095.184	29584.571
Fe	I	4654.605	-1.077	29056.324	50534.397
Fe	II	4656.981	-3.61	23317.635	44784.786
Ti	II	4657.2006	-2.29	10024.801	31490.918
Fe	II	4657.207	-6.422	61512.63	82978.717
Fe	I	4663.178	-2.42	28604.613	50043.213
Fe	II	4666.7495	-3.368	22810.346	44232.54
Sc	II	4670.406	-0.576	10944.56	32349.98
Fe	I	4673.163	-0.931	29469.024	50861.816
Fe	I	4678.846	-0.833	29056.324	50423.137
Ni	I	4686.2131	-0.59	29013.206	50346.427
Fe	I	4691.411	-1.523	24118.819	45428.402
Mg	I	4702.991	-0.44	35051.264	56308.381
Ti	II	4708.662	-2.35	9975.99	31207.51
Ni	I	4714.4173	0.25	27260.894	48466.49
Zn	I	4722.153	-0.338	32501.421	53672.28
Fe	I	4727.394	-1.162	29732.736	50880.102
Fe	II	4731.439	-3.071	23317.635	44446.905
Fe	I	4736.773	-0.752	25899.989	47005.506

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri (devam)

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Mn	I	4754.04	-0.088	18402.46	39431.31
Ni	I	4756.52	-0.34	28068	49086
Fe	I	4768.32	-1.149	29732.736	50698.62
C	I	4771.7297	-1.866	60393.148	81344.051
Ti	II	4779.979	-1.26	16515.933	37430.678
Mn	I	4783.43	0.033	18531.64	39431.31
Ni	I	4786.5354	-0.18	27580.391	48466.49
Fe	I	4789.6507	-0.958	28604.613	49477.127
Fe	I	4802.8744	-2.028	29798.936	50613.983
Ti	II	4805.085	-0.96	16625.11	37430.58
Ti	II	4806.321	-3.38	8744.25	29544.37
Zn	I	4810.528	-0.137	32890.352	53672.28
Cr	II	4812.344	-1.8	31169	51943
Mn	I	4823.52	0.121	18705.37	39431.31
Cr	II	4824.127	-0.97	31219.35	51942.7
Cr	II	4836.23	-1.96	31117.39	51788.88
Fe	I	4838.511	-1.95	27559.583	48221.324
Fe	I	4843.143	-1.84	27394.691	48036.673
Cr	II	4848.25	-1.15	31168.58	51788.88
Fe	I	4871.318	-0.363	23110.939	43633.533
Fe	I	4872.138	-0.567	23244.838	43763.98
Ti	II	4874.01	-0.86	24961.191	45472.452
Cr	II	4876.399	-1.46	31082.94	51584.15
Ca	I	4878.13	-0.164	21849.634	42343.587
Y	II	4883.682	0.07	8743.322	29213.958
Fe	I	4890.755	-0.394	23192.5	43633.533
Y	II	4900.119	-0.09	8328.039	28730.01
Fe	I	4903.31	-0.926	23244.838	43633.533
Ni	I	4904.41	-0.17	28569.203	48953.316
Fe	I	4918.994	-0.342	23110.939	43434.627
Fe	I	4920.503	0.068	22845.867	43163.323
Fe	II	4923.922	-1.32	23317.635	43620.984
Fe	I	4938.813	-1.077	23192.5	43434.627
Fe	I	4942.45	-1.409	34039.516	54266.716
Fe	I	4946.387	-1.17	27166.82	47377.955
Fe	I	4957.596	0.35	22650.416	42815.855
Fe	I	4966.088	-0.887	26874.55	47005.506
Fe	I	4973.102	-0.95	31937.325	52039.892
Fe	I	4978.603	-0.877	32133.991	52214.345

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri (devam)

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Fe	I	4988.95	-0.89	33507.123	53545.833
Ti	I	4991.067	0.45	6742.756	26772.968
Fe	II	5001.953	0.883	82853.704	102840.32
Fe	I	5005.712	0.033	31322.613	51294.22
Fe	I	5006.119	-0.638	22845.869	42815.855
Ti	I	5007.2093	0.17	6598.765	26564.4
Fe	II	5018.435	-1.22	23317.635	43238.607
Fe	I	5027.122	-0.289	33507.123	53393.673
Ni	I	5035.3622	0.29	29320.762	49174.77
Fe	I	5044.211	-2.038	22996.674	42815.855
C	I	5052.1443	-1.303	61981.818	81769.876
Si	II	5055.98	0.53	81251.32	101024.35
Fe	I	5065.018	0.005	34328.752	54066.518
Fe	I	5068.766	-1.042	23711.456	43434.627
Ti	II	5072.287	-1.02	25192.965	44902.446
Fe	I	5074.748	-0.2	34039.514	53739.434
Ni	I	5081.111	0.3	31031.02	50706.273
Fe	I	5081.1535	-5.82	40421.938	60097.024
Ni	I	5084.0957	0.03	29668.893	49332.593
Y	II	5087.41	-0.17	8743.322	28394.177
Fe	I	5090.774	-0.4	34328.75	53966.658
Fe	II	5100.734	0.702	83726.416	103325.974
Cu	I	5105.537	-1.542	11202.565	30783.686
Fe	I	5107.641	-2.418	12560.934	32133.991
Ni	I	5115.4	-	30922.734	50466.131
Fe	I	5125.117	-0.14	34039.514	53545.829
Ti	II	5129.156	-1.34	15257.553	34748.506
Fe	I	5133.688	0.14	33695.397	53169.146
Fe	I	5139.462	-0.509	23711.456	43163.326
Fe	I	5142.54	-0.316	34328.752	53768.979
Fe	I	5148.229	-0.242	34328.752	53747.5
Ti	II	5154.068	-1.75	12628.845	32025.591
Fe	I	5162.272	0.02	33695.397	53061.318
Fe	II	5169.028	-1.25	23317.635	42658.244
Mg	I	5172.684	-0.45	21870.464	41197.403
Mg	I	5183.604	-0.167	21911.178	41197.403
Ti	II	5185.902	-1.41	15265.7	34543.38
Ti	II	5188.687	-1.05	12758.26	32025.591
Fe	I	5191.455	-0.551	24506.917	43763.98
Fe	I	5195.472	-0.085	34039.516	53281.689
Fe	II	5197.568	-2.1	26055.412	45289.825
Fe	I	5202.336	-1.838	17550.181	36766.966
Cr	I	5206.023	0.02	7593.148	26796.269
Cr	I	5208.409	0.17	7593.15	26787.464

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri (devam)

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Ti	II	5211.531	-1.41	20891.79	40074.671
Fe	I	5215.18	-0.871	26339.696	45509.152
Fe	I	5216.274	-2.15	12968.554	32133.991
Fe	I	5217.919	-1.719	29356.744	48516.138
Ti	II	5226.538	-1.26	12628.845	31756.641
Fe	I	5229.845	-0.962	26479.381	45595.086
Fe	I	5232.9397	-0.058	23711.456	42815.855
Fe	II	5234.624	-2.23	25981.645	45079.902
Cr	II	5237.3285	-1.35	32854.31	51942.7
Sc	II	5239.811	-0.765	11736.36	30815.7
Fe	II	5254.92	-3.336	26055.412	45079.902
Fe	II	5260.254	1.065	84035.172	103040.37
Fe	I	5266.555	-0.386	24180.862	43163.326
Fe	I	5269.537	-1.321	6928.268	25899.989
Fe	II	5275.997	-2.057	25805.327	44753.818
Cr	II	5279.878	-2.112	32854.31	51788.88
Fe	I	5281.7904	-0.834	24506.917	43434.627
Fe	I	5283.621	-0.432	26140.179	45061.329
Fe	II	5284.103	-2.99	23317.635	42237.058
Fe	I	5288.524	-1.508	29798.936	48702.535
Fe	I	5302.299	-0.72	26479.381	45333.875
Cr	II	5313.5628	-1.779	32854.95	51669.48
Fe	II	5316.61	-1.935	25428.789	44232.54
Fe	II	5316.7812	-2.76	25981.645	44784.786
Fe	I	5324.179	-0.103	25899.987	44677.003
Fe	I	5328.038	-1.466	7376.764	26140.179
Fe	I	5332.8994	-2.776	12560.934	31307.245
Cr	II	5334.869	-1.826	32844.76	51584.15
Ti	II	5336.786	-1.6	12758.26	31490.918
Fe	I	5341.024	-1.953	12968.554	31686.351
Cr	I	5345.796	-0.896	8095.185	26796.268
Ca	I	5349.465	-0.31	21849.634	40537.893
Fe	I	5353.373	-0.84	33095.941	51770.557
Fe	II	5362.861	-2.616	25805.327	44446.905
Fe	I	5364.871	0.228	35856.402	54490.999
Fe	I	5367.4653	0.443	35611.625	54237.213
Fe	I	5369.962	0.536	35257.324	53874.257
Fe	I	5371.489	-1.645	7728.06	26339.696
Fe	I	5373.708	-0.86	36079.372	54683.322
Fe	I	5383.369	0.645	34782.419	53352.985
Fe	I	5389.479	-0.41	35611.625	54161.139
Fe	I	5393.167	-0.715	26140.179	44677.006
Fe	I	5397.128	-1.993	7376.764	25899.989
Fe	I	5400.501	-0.16	35257.324	53768.979

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri (devam)

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Fe	I	5404.151	0.523	35767.564	54266.716
Fe	I	5405.775	-1.844	7985.785	26479.381
Fe	I	5410.91	0.398	36079.372	54555.418
Cr	I	5410.995	-7.983	47704.704	66180.456
Fe	I	5415.199	0.642	35379.208	53840.62
Ti	II	5418.768	-2.13	12758.26	31207.51
Fe	I	5424.0672	0.52	34843.957	53275.183
Fe	I	5429.686	-1.879	7728.06	26140.179
Fe	I	5434.524	-2.122	8154.714	26550.479
Fe	I	5445.0414	-0.02	35379.208	53739.438
Fe	I	5446.916	-1.914	7985.785	26339.696
Fe	I	5455.454	0.329	34843.957	53169.146
Fe	I	5455.609	-2.091	8154.714	26479.381
Fe	I	5462.9591	-0.131	36079.372	54379.384
Fe	I	5463.276	0.11	35767.564	54066.518
Fe	I	5487.74	-0.71	33412.717	51630.001
Fe	I	5497.5157	-2.849	8154.714	26339.696
Fe	I	5501.465	-3.047	7728.06	25899.989
Fe	I	5506.779	-2.797	7985.785	26140.179
Sc	II	5526.785	0.024	14261.32	32349.98
Mg	I	5528.405	-0.498	35051.264	53134.642
Fe	II	5534.838	-2.919	26170.181	44232.54
Fe	I	5554.894	-0.44	36686.176	54683.322
Fe	I	5565.704	-0.214	37162.746	55124.938
Fe	I	5568.6135	-7.126	38602.26	56555.066
Fe	I	5572.842	-0.275	27394.691	45333.875
Fe	I	5576.088	-1	27666.348	45595.086
Fe	I	5586.756	-0.12	27166.82	45061.329
Ca	I	5594.47	0.097	20349.26	38219.118
Ca	I	5598.49	-0.087	20335.36	38192.392
Fe	I	5602.945	-0.85	27666.348	45509.152
Fe	I	5615.6439	0.05	26874.55	44677.006
Fe	I	5624.542	-0.755	27559.583	45333.875
Fe	I	5633.946	-0.27	40257.314	58001.938
Fe	I	5705.992	-0.53	37162.746	54683.322
Mg	I	5711.088	-1.724	35051.264	52556.206
Ni	I	5715.067	-0.346	32973.376	50466.131
Fe	I	5762.992	-0.45	33946.933	51294.22
Fe	I	5816.373	-0.601	36686.176	53874.257
Ba	II	5853.675	-2.105	4873.857	21952.408
Ca	I	5857.45	0.24	23652.304	40719.847
Fe	I	5862.357	-0.125	36686.176	53739.438
Na	I	5889.951	0.108	0	16973.366
Na	I	5895.924	-0.194	0	16956.17

EK 1 Kimyasal Bolluk Analizinde Kullanılan Çizgi Listesi ve Atomik Verileri (devam)

Element	İyonlaşma seviyesi	λ (Å)	log *gf*	E low (cm^{-1})	E up (cm^{-1})
Fe	I	5914.201	-0.131	37162.746	54066.518
Fe	I	5984.815	-0.198	38175.355	54879.683
Fe	I	6003.011	-1.12	31307.245	47960.94
Fe	I	6024.0568	-0.12	36686.176	53281.689
Fe	I	6065.005	-4.909	42989.352	59475.324
Fe	I	6065.482	-1.53	21038.987	37521.161
Fe	II	6084.1017	-3.78	25805.327	42237.058
Ni	I	6116.1808	-1.08	34408.555	50754.103
Ca	I	6122.22	-0.316	15210.063	31539.495
Fe	I	6136.615	-1.4	19788.251	36079.372
Fe	I	6137.691	-1.403	20874.482	37162.746
Ba	II	6141.713	-0.22	5674.807	21952.404
Fe	II	6147.734	-2.827	31364.455	47626.11
O	I	6158.18	-0.409	86631.454	102865.506
Fe	I	6213.43	-2.482	17927.382	34017.103
Fe	I	6219.281	-2.433	17726.988	33801.572
Fe	I	6230.723	-1.281	20641.11	36686.176
Fe	II	6238.375	-2.754	31364.455	47389.809
Fe	II	6247.5569	-2.34	31387.979	47389.809
Fe	I	6252.555	-1.687	19390.168	35379.208
Fe	I	6256.361	-2.408	19788.251	35767.564
Fe	I	6265.1319	-2.55	17550.181	33507.123
Fe	I	6335.33	-2.177	17726.988	33507.123
Si	II	6347.1087	0.17	65500.47	81251.32
Si	II	6371.36	-0.04	65500.47	81191.34
Fe	I	6393.601	-1.432	19621.006	35257.324
Fe	I	6399.99	-0.29	29056.324	44677.006
Fe	I	6399.9999	-0.29	29056.324	44677.006
Fe	I	6411.648	-0.595	29469.024	45061.329
Fe	I	6419.949	-0.24	38175.355	53747.5
Fe	I	6430.846	-2.006	17550.181	33095.941
Fe	II	6432.677	-1.236	88157.176	103698.515
Ca	I	6439.07	0.39	20371	35896.889
Fe	II	6456.3796	-2.086	31483.198	46967.475
Fe	I	6633.749	-0.799	36766.966	51837.238
Fe	I	6663.442	-2.479	19552.478	34555.597
Fe	I	6677.986	-1.418	21715.732	36686.176
Ca	I	6717.681	-0.524	21849.634	36731.615
S	I	6755.2116	-3.05	82850.3	97649.6

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve AYDIN

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 21 Ocak 1993

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ayrancı Aysel Yücetürk Anadolu Lisesi (2011)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (2016)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı (Eylül 2017- Ağustos 2020)

Katıldığı Uluslararası Toplantılar

Çalıştay: "*Galactic Astronomy Workshop*", 12-13 Eylül 2019, İstanbul, TÜRKİYE (sözlü kısa bildiri katılımlı)

Katıldığı Ulusal Toplantılar

Kongre: "21. Ulusal Astronomi Kongresi, 10. Ulusal Astronomi Öğrenci Kongresi", 3-7 Eylül 2018, Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ