

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

**ANAKOL YILDIZLARININ YARI-EMİRİK ETKİN SICAKLIK HESABINDA
METAL BOLLUĞUNUN ETKİSİ**

Mehmet ALPSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

2017

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

**ANAKOL YILDIZLARININ YARI-EMİRİK ETKİN SICAKLIK HESABINDA
METAL BOLLUĞUNUN ETKİSİ**

Mehmet ALPSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

Bu tez TÜBİTAK tarafından 114R072 nolu proje ile desteklenmiştir.

2017

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANAKOL YILDIZLARININ YARI-EMİRİK ETKİN SICAKLIK HESABINDA
METAL BOLLUĞUNUN ETKİSİ

Mehmet ALPSOY

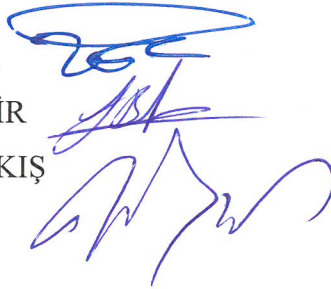
YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Bu tez 20/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zeki EKER

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Prof. Dr. Volkan BAKIŞ



ÖZET

ANAKOL YILDIZLARININ YARI-EMİRİK ETKİN SICAKLIK HESABINDA METAL BOLLUĞUN ETKİSİ

Mehmet ALPSOY

Yüksek Lisans Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Zeki EKER
Temmuz 2017, 123 sayfa

Klasik yöntem olarak bilinen, kütlesi (M) ve yarıçapı (R) ölçülmüş anakol yıldızlarının Stefan-Boltzmann yasası çerçevesinde ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$), geçerli bir anakol kütle ışınım gücü bağıntısı (MLR) kullanarak etkin sıcaklıklarını (T_{eff}) hesaplaması yöntemi hatalı (yanlı) sonuç üreten kaba bir yöntemdir. Anakol yaşamları boyunca, anakol yıldızlarının, teorik yıldız evrimi hesaplarına göre, ışınım güçleri (L) ve yarıçapları (R) sürekli artmakta ve buna bağlı olarak etkin sıcaklıkları (T_{eff}) da değişmektedir. R artış hızı, $M > 1.1 M_{\odot}$ yıldızlar için L artış hızından büyüktür, bu yüzden $1.1 M_{\odot}$ den daha büyük kütleli anakol yıldızları evrimleştikçe, etkin sıcaklıkları azalmakta, buna karşılık R artış hızı L artış hızına göre daha az olan küçük kütleli anakol yıldızlarında tam tersi durum, yani yıldız evrimleştikçe etkin sıcaklığın arttığı bilinmektedir. Doğasından kaynaklı yanlılığı nedeniyle klasik yöntem, anakol hayatına yeni başlamış (ZAMS) genç yıldızlarda yıldızın etkin sıcaklığını, olması gerekenden daha sıcak, buna karşılık anakol hayatının sonuna (TAMS) gelmiş yaşlı yıldızların etkin sıcaklığını ise olması gerekenden daha soğuk hesaplamasına sebep olmaktadır.

Klasik yöntemin bu hatasını düzeltme, daha doğru T_{eff} hesabı yapabilmek için yeni bir yöntem, Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY), 114R072 nolu TÜBİTAK projesi çerçevesinde önerilmiştir. HSY'nin ilk uygulaması, Güneş civarındaki 450 anakol yıldızına, tüm yıldızları Güneş metal bolluğunda kabul ederek, PARSEC evrim modellerinden, $Z = 0.014$ modelleri kullanılarak uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında, HSY farklı metal bolluğundaki $0.008 < Z < 0.06$ evrim modellerinin kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, metal bolluğu bilinmeyen, kütlesi ve yarıçapı duyarlı ölçülmüş bir anakol yıldızının etkin sıcaklık hesabında, $Z = \text{sabit}$, (Güneş metal bolluğu) varsayımıyla hesaplanan etkin sıcaklıklar da, yıldızın metal bolluğunun farklı olması durumunda, metal bolluğunun büyüklüğüyle orantılı ± 600 K'e varan hatalı T_{eff} 'lerin hesaplandığı anlaşılmıştır. Yöntemin doğru sonuç vermesi, gözlemsel M ve R 'lerin duyarlılığı kadar, Z ölçümü duyarlılığına da bağlıdır.

ANAHTAR KELİMELER: Anakol yıldızları, temel parametreler, kimyasal kompozisyon, yıldız evrimi, etkin sıcaklıklar, çift yıldızlar, tutulmalı çift yıldızlar, ayırık çift yıldızlar, tayfsal çift yıldızlar, yıldız katalogları.

JÜRİ: Prof. Dr. Zeki EKER
Prof. Dr. Selçuk BİLİR
Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

ABSTRACT

MAIN SEQUENCE SEMI-EMPIRICAL EFFECTIVE TEMPERATURE CALCULATION METALLICITY RELATION

Mehmet ALPSOY

MSc Thesis in Space Sciences and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Zeki EKER

July 2017, 123 pages

The classical method, which is known as calculating the effective temperatures (T_{eff}) of main sequence stars from their masses (M) and radii (R) according to the Stephan-Boltzmann law ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$) using the main-sequence mass-luminosity relation (MLR), is a rough computing technique, which gives results with biases. During its main-sequence lifetime, the luminosity (L) and the radius (R) of a main-sequence star increases. However, for the stars with $M > \sim 1.1 M_{\odot}$, the increasing rate of R is higher than the increasing rate of L , thus T_{eff} appears to decrease during the main-sequence lifetime. With a less rate of increase of R , with respect to the rate of increase of its L , the stars $M \leq 1.1 M_{\odot}$ compensate the difference by increasing its T_{eff} also. In any case, classical method produce larger T_{eff} temperatures for young stars which are close to the Zero Age Main Sequence (ZAMS) and vice versa for the older stars which are close to the terminal Age Main Sequence (TAMS) stars because of the biases involved by the classical method.

In order to correct this bias and to produce true T_{eff} temperatures, a new method, Two Uniform Contractions (TUC method) was suggested according to the TÜBİTAK Project number 114R072. The preliminary application of the TUC method accomplished by using 450 main-sequence stars by using PARSEC evolutionary models with solar metallicity ($Z = 0.014$). In this thesis, the TUC method was improved by including the metallicity effect by 72 main-sequence stars with measured metallicities in the range of $0.008 < Z < 0.06$. It can be concluded that, the TUC method would produce up to ± 600 K error, which is proportional to Z , in the computed temperatures if solar metallicity ($Z = 0.014$) were assumed for the stars with accurate M and R while their metallicities could be different within the range $0.008 < Z < 0.06$. The correctness of the results of the TUC method depends on the correct Z measurements as much as the accuracy of the M and R .

KEYWORDS: Main-sequence stars, fundamental parameters, chemical compositions, stellar evolution, effective temperatures, binaries, eclipsing binaries, detached binaries, spectroscopic binaries and star catalogs.

COMMITTEE: Prof. Dr. Zeki EKER
Prof. Dr. Selçuk BİLİR
Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

ÖNSÖZ

Tez konumun seçiminde bana yol gösteren, çalışmalarım boyunca öneri ve desteklerini esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Zeki EKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili görüş ve önerileriyle katkıda bulunan İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Selçuk Bilir'e ayrıca teşekkür ederim. Bu süreçte 114R072 nolu TÜBİTAK proje ekibine en derin teşekkürlerimi ve saygımı sunarım. Ayrıca benden desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen çalışma ortamını paylaştığım, "Anakol Yıldızlarının Kütle - Parlaklık Bağıntısı ve Etkin Sıcaklık Duyarlılık Problemi" adlı tezin sahibi Gürkan ASLAN'a ve değerli doktora arkadaşlarımla yanı sıra Yücel KILIÇ'a, teşekkürlerimi bir borç bilir ve saygılarımı sunarım.

Tüm eğitimim ve hayatım boyunca benim yanımda olan, güvenen, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve çok değerli dostum Neslihan ALAN'a da çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	8
2.1. YILDIZLARDA SICAKLIK KAVRAMI VE SICAKLIK ÇEŞİTLERİ	8
2.1.1. Genel Anlamda Sıcaklık	8
2.1.2. Kara Cisim ve Termodinamik Denge	8
2.1.3. Yıldız Sıcaklıkları ve Sıcaklık Çeşitleri	12
2.1.3.1. Kinetik Sıcaklık	12
2.1.3.2. Renk Sıcaklığı	13
2.1.3.3. Parlaklık Sıcaklığı	14
2.1.3.4. Uyarılma Sıcaklığı	15
2.1.3.5. İyonlaşma Sıcaklığı	17
2.1.3.6. Etkin Sıcaklık (T_{eff})	17
2.1.4. Yıldızı Temsil Eden En Uygun Sıcaklık Etkin sıcaklıktır, Neden?	18
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. MATERYAL	21
3.1.1. Metalisite verisi eklenerek temel katalogun güncellenmesi	21
3.1.1.1. [Fe/H] ifadesi ve Z dönüşümü	26
3.1.2. Seçilmiş yıldızların (ham örnek) Z dağılımı	27
3.1.3. Teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modellerinin seçimi	28
3.1.4. Anakol yıldızlarının seçimi	32
3.1.5. Grid ara modelleri için ZAMS ve TAMS sınırlarının belirlenmesi	34
3.2. ETKİN SICAKLIK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	35
3.2.1. Güncel Klasik ($L \propto M^{\alpha}$) Kütle Işınım Gücü Bağıntısı	35
3.2.1.1. Klasik Yöntem	39
3.2.1.2. Güneş benzeri Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY-ZG)	42
3.2.1.2.1. Klasik yöntemin yetersizliği, HSY gerekçesi	42
3.2.1.2.2. HSY'de kullanılan tanımlar	43
3.2.1.2.2.1. Homojen sıkıştırma katsayıları	45
3.2.1.2.2.2. Düzeltilmiş sıcaklıkların hesaplanması	45
3.2.1.3. Özgün Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY-ZX)	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	65
4.1. Hesaplanmış ve Yayınlanmış Sıcaklıkların Karşılaştırılması	68
4.1.1. Teorik modellere uymayan yayınlanmış T_{eff} 'leri tespit etmek mümkün müdür?	72
4.2. Hesaplanmış ve Yayınlanmış T_{eff} 'lerin H - R Diyagramı Üstünde Karşılaştırılması	73
4.3. Hesaplanmış T_{eff} 'lerin, Yayınlanmış T_{eff} 'ler ile Doğrudan Karşılaştırılması	75
4.4. HSY T_{eff} 'leri kullanılan MLR'den Bağımsızdır	77

4.5. Sıcaklık Farkı Analizi	81
4.5.1. Sabit Z ile hesaplanan sıcaklıklar ($Z=0.014$ ile $Z=0.0152$) arasındaki fark	81
4.5.2. Sabit ve Özgün Z 'lerden kaynaklanan T_{eff} farkları	82
4.5.3. Sabit Z T_{eff} 'lerinin, Özgün Z T_{eff} 'leri olarak düzeltilmesi	85
5. SONUÇLAR	88
6. KAYNAKLAR	90
7. EKLER	99
Ek 1. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0082$ için anakol sınırları	99
Ek 2. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0084$ için anakol sınırları.....	100
Ek 3. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0088$ için anakol sınırları.....	101
Ek 4. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0094$ için anakol sınırları.....	102
Ek 5. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0098$ için anakol sınırları.....	103
Ek 6. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0112$ için anakol sınırları.....	104
Ek 7. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0117$ için anakol sınırları.....	105
Ek 8. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0119$ için anakol sınırları.....	106
Ek 9. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0122$ için anakol sınırları.....	107
Ek 10. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0133$ için anakol sınırları.....	108
Ek 11. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0142$ için anakol sınırları.....	109
Ek 12. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0152$ için anakol sınırları.....	110
Ek 13. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0155$ için anakol sınırları.....	111
Ek 14. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0159$ için anakol sınırları.....	112
Ek 15. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0181$ için anakol sınırları.....	113
Ek 16. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0185$ için anakol sınırları.....	114
Ek 17. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0189$ için anakol sınırları.....	115
Ek 18. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0219$ için anakol sınırları.....	116
Ek 19. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0233$ için anakol sınırları.....	117
Ek 20. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0264$ için anakol sınırları.....	118
Ek 21. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0293$ için anakol sınırları.....	119
Ek 22. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0305$ için anakol sınırları.....	120
Ek 23. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0396$ için anakol sınırları.....	121
Ek 24. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0420$ için anakol sınırları.....	122
Ek 25. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0429$ için anakol sınırları.....	123
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\langle v^2 \rangle$	Parçacıkların Hızlarının Karelerinin Ortalaması
a	Çift Yıldız Sisteminin Yarı Büyük Eksen Uzunluğu
a	Stefan-Boltzmann Sabitinin Dört Katının Işığın Vakumdaki Hızına Oranı
B-V	Yıldızın B Filtresindeki Parlaklığının V Filtresindeki Parlaklıktan Farkı (Renk İndisi)
BC	Bolometrik Düzeltme Katsayısı
$B_v(T)$	Kara Cisim Işık Şiddeti
c	Işığın Vakumdaki Hızı
E	Enerji
E_{alt}	Alt Düzeydeki Enerji
$E_{üst}$	Üst Düzeydeki Enerji
Fe	Demir
[Fe/H]	Yıldız Tayflarında Ölçülen Demir Atomlarının Hidrojen Atomlarına Sayı Oranının, Güneş Tayflarında Ölçülen Demir Atomlarının Hidrojen Atomlarına Sayı Oranına Olan Oranı (Göreceli Demir Bolluğu)
[Fe/H] _x	Yıldız Tayflarında Ölçülen Demir Atomlarının Hidrojen Atomlarına Sayı Oranı
[Fe/H] _⊙	Güneş Tayflarında Ölçülen Demir Atomlarının Hidrojen Atomlarına Sayı Oranı
G	Yerçekimi Sabiti
g_{alt}	Alt Düzeydeki İstatiksel Ağırlık
$g_{üst}$	Üst Düzeydeki İstatiksel Ağırlık
h	Planck Sabiti
H	Hidrojen
He	Helyum
k	Boltzmann Sabiti
$\kappa(r)$	Kramer Opasitesi
K	Kelvin
L	Işınım Gücü
L_{\odot}	Işınım Gücü (Güneş için)
$L(r)$	Yıldız Merkezinden r Kadar Uzakta Yıldızın Işınım Gücü
$\log g$	Yüzey Çekim İvmesinin Logaritması
m	Bir Parçacığın Kütlesi
m_e	Bir Elektron Kütlesi
m_B	B Filtresinde Yıldızın Parlaklığı
m_V	V Filtresinde Yıldızın Parlaklığı
m_H	Hidrojen atomunun Kütlesi
M_{\odot}	Güneş Kütlesi
M	Kütle
M_1	Baş Yıldızın Kütlesi
M_2	Yoldaş Yıldızın Kütlesi
M_{bol}	Bolometrik Parlaklık
M_V	Görsel Mutlak Parlaklık
$M(r)$	Yıldız Merkezinden r Kadar Uzakta Yıldızın Kütlesi

n_e	Elektron Yoğunluğu
n_{alt}	Alt Düzeydeki Atom Sayısı
$n_{üst}$	Üst Düzeydeki Atom Sayısı
n_1	Birinci Düzeydeki Atom Sayısı
n_2	İkinci Düzeydeki Atom Sayısı
n_n	n'inci Düzeydeki Atom Sayısı
N	Atom Sayısı
N_m	m Defa İyonlaşmış A Atomunun En Alt Düzeyinde Olan Atom Sayısı
N_{m+1}	m+1 Defa İyonlaşmış A Atomunun En Alt Düzeyinde Olan Atom Sayısı
N_o	Bir Mol Gaz İçindeki Parçacık Sayısı (Avagado Sayısı)
$^{\circ}$	Derece
P	Basınç
$P_g(r)$	Yıldız Merkezinden r Kadar Uzakta İdeal Gaz Basıncı
$P_r(r)$	Yıldız Merkezinden r Kadar Uzakta Radyasyon Basıncı
$P(r)$	Yıldız Merkezinden r Kadar Uzakta Yıldızın Basıncı
R_{\odot}	Güneş Yarıçapı
\bar{R}	Gaz Sabiti
\mathcal{R}	Korelasyon Katsayısı
R	Yarıçap
SD	Standart Sapma
T	Sıcaklık
T_{eff}	Etkin Sıcaklık
α	Klasik Kütle-Işınım Gücü Bağıntısındaki ($L \propto M^{\alpha}$) Üs Değeri
ΔE	Çizgi Oluşumuna Katkı Veren İki Düzey Arasındaki Enerji Farkı
ΔL	L Değerindeki Belirsizlik (hata)
ΔM	M Değerindeki Belirsizlik (hata)
ΔR	R Değerindeki Belirsizlik (hata)
ΔT	T Değerindeki Belirsizlik (hata)
ΔT_{eff}	T_{eff} Değerindeki Belirsizlik (hata)
Δt	Zaman Aralığı
V	Hacim
X	Bir Gram Yıldız Maddesindeki gr Cinsinden Hidrojen Miktarı (Görelî H Bolloğu)
X_0	Sıfır Yaşındaki Bir Yıldız İçin Görelî H Bolloğu
χ_m	İyonlaşma Potansiyeli
Y	Bir Gram Yıldız Maddesindeki gr Cinsinden Helyum Miktarı (Görelî He Bolloğu)
Y_0	Sıfır Yaşındaki Bir Yıldız İçin Görelî He Bolloğu
Z	Bir Gram Yıldız Maddesi İçinde X ve Y Dışındaki Elementlerin gr Cinsinden Miktarı (Görelî Ağır Element Bolloğu)
Z_0	Sıfır Yaşındaki Bir Yıldız İçin Görelî Ağır Element Bolloğu
Z_m	m Defa İyonlaşan A Atomu İçin Katılım Fonksiyonunun Değeri
Z_{m+1}	m+1 Defa İyonlaşan A Atomu İçin Katılım Fonksiyonunun Değeri
μ	Yıldızın Kimyasal Karışımına Bağlı Bir Gaz Karışımı İçin Atomik Kütle Biriminde Ortalama Parçacık Kütle
$\rho(r)$	Yoğunluk Fonksiyonu
ν	Frekans
π	Pi Sayısı

σ	Standart Sapma
$\bar{\sigma}$	Stefan-Boltzmann Sabiti
$\varepsilon(r)$	Yıldız Merkezinden Uzaklığın Fonksiyonu Olarak Yıldız Çekirdeğinde Bir Birim Yıldız Maddesinin Birim Zamanda Ürettiği Enerji Miktarı
λ	Dalga Boyu
λ_{tepe}	Bir cismin Işığının Dalga Boyu Dağılımında Cisimden Yayılan Işığın Maksimum Olduğu Dalga Boyu
γ	Gama ışını
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat
F	Fahrenayt

Kısaltmalar

CC1	Birinci Homojen Sıkıştırma Katsayısı
CC2	İkinci Homojen Sıkıştırma Katsayısı
DEBCat	Soutworth'un (2012) Ayrık Örten Çift Yıldızlar Kataloğu
H-R	Hertzprung Russell Diyagramı
HSY	Homojen Sıkıştırma Yöntemi
HSY-ZG	Güneş benzeri Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi
HSY-ZX	Özgün Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi
LTE	Yerel Termodinamik Denge
MLR	Kütle-Parlaklık Bağıntısı
MRR	Kütle-Yarıçap Bağıntısı
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
SB1	Tek Çizgili Tayfsal Çift
SB2	Çift Çizgili Tayfsal Çift
TAMS	Anakolda Son Evre
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
ZAMS	Anakolda İlk Evre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Farklı sıcaklıklardaki kara cisim akılarının dalga boyu dağılımları	10
Şekil 2.2. Güneş ışığı akısının dalga boyu dağılımı (Güneş tayfı)	11
Şekil 2.3. Uyarılma ve iyonlaşma sıcaklıklarının sıcaklık (tayf türü) dağılımı	16
Şekil 2.4. Güneş atmosferinde oluşan çizgilerin derinlikleri ve kinetik sıcaklığın atmosfer içinde değişimi	19
Şekil 3.1. Ham örnek (Çizelge 3.1) içinde ağır element bolluğu (Z) (üst skala) ve $[Fe/H]$ (alt skala) dağılımını gösteren histogram. Her bir aralıktaki yıldız sayısı histogram üstünde belirtilmiştir. Teorik yıldız evrimi (PARSEC; Bressan vd., 2012) modellerinden tercih edilen Z 'ler üst skalanın alt tarafında düşey çizgilerle gösterilmiştir	27
Şekil 3.2. Kütle – ışınım gücü ($\log M - \log L$) ile kütle – yarıçap ($\log M - \log R$) diyagramı üstünde Güneş metal bolluğu ($Z=0.014$) (___), Z aralığının alt sınırı ($Z=0.008$) (.....) ve üst sınırı ($Z=0.060$) (----) için Bressan vd'ne (2012) göre ZAMS ve TAMS'ın belirlediği sınırlar	31
Şekil 3.3. Ham örneğin homojenleştirilmesi. Alttaki üç çizgi ZAMS, üsteki üç çizgi TAMS sınırlarını belirtmektedir. Metal bolluğunun alt ve üst sınırları, ve Güneş metal bolluğu üç farklı çizgi ile gösterilmiş olup diyagram üstünde belirtilmiştir	33
Şekil 3.4. Kütle – ışınım gücü grafiği. Alttaki altı panel üstteki panelde dikey çizgilerle sınırlanmış kütle aralıklarındaki verilere fit edilmiş doğrusal fonksiyonları göstermektedir	38
Şekil 3.5. $M-R$ diyagramında ZAMS ve TAMS arasına dağılmış yıldızlar, $M-T$ diyagramında bu sınırlar arasında kalmaz taşar. ZAMS (yukarıdaki düz çizgi) ve TAMS (aşağıdaki düz çizgi) dışına taşan yıldızların konumları (içi boş daireler), klasik yöntemle hesaplanmıştır. Yıldızlar gibi, $M-R$ diyagramındaki ZAMS ve TAMS çizgileri de aynı formülasyonla transfer edilirse, noktalı çizgi (...) ve alttaki noktalı çizgi (...) dönüştürülmüş ZAMS ve dönüştürülmüş TAMS çizgileridir. Yıldızların gerçek ZAMS ve TAMS arasında değil, dönüştürülmüş ZAMS ve TAMS (noktalı çizgiler) arasında kaldığına dikkat edin (Aslan'dan 2015 alınmıştır)	44
Şekil 3.6. $Z=0.014$ modelleri kullanılarak, HSY ile düzeltilmiş sıcaklıkların elde edilmesi. ZAMS ve TAMS her üç diyagramda belirtilmiştir. Üstte, örnek yıldızları ZAMS ve TAMS arasına yayılmış iken, klasik yöntemle hesaplanan sıcaklıklar (ortada) ZAMS ve TAMS dışına taşmış ve dönüştürülmüş ZAMS ve TAMS (noktalı çizgiler) arasına dağılmıştır. Altta, HSY'nin uygulamasıyla klasik sıcaklıklar düzeltildikten sonra, ZAMS ve TAMS arasına dağılmaktadır	47

Şekil 3.7. $Z=0.0152$ modelleri kullanılarak, HSY ile düzeltilmiş sıcaklıkların elde edilmesi. ZAMS ve TAMS her üç diyagramda belirtilmiştir. Üstte, örnek yıldızları ZAMS ve TAMS arasına yayılmış iken, klasik yöntemle hesaplanan sıcaklıklar (ortada) ZAMS ve TAMS dışına taşmış ve dönüştürülmüş ZAMS ve TAMS (noktalı çizgiler) arasına dağılmıştır. Altta, HSY'nin uygulamasıyla klasik sıcaklıklar düzeltildikten sonra, ZAMS ve TAMS arasına dağılmaktadır 52

Şekil 3.8a. $0.8 < M/M_{\odot} < 1.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (♦) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder 57

Şekil 3.8b. $1.5 < M/M_{\odot} < 2.3$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (♦) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder 57

Şekil 3.8c. $2.3 < M/M_{\odot} < 5.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (♦) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder 58

Şekil 3.9a. $0.8 < M/M_{\odot} < 1.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-T$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (♦) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder 60

Şekil 3.9b. $1.5 < M/M_{\odot} < 2.3$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-T$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (♦) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder 60

Şekil 3.9c. $2.3 < M/M_{\odot} < 5.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-T$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (\blacklozenge) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder	61
Şekil 4.1. Tez çalışması için seçilen örnek yıldızların $\log M - \log L$ diyagramındaki konumları	65
Şekil 4.2. Tez çalışması için seçilen örnek yıldızların $\log M - \log R$ diyagramındaki konumları	66
Şekil 4.3. Tez çalışması için seçilen örnek yıldızların, özgün Z değerleriyle HSY'ye göre hesaplanan sıcaklıkların $\log M - \log T_{eff}$ diyagramındaki konumları	67
Şekil 4.4. Yayınlanmış T_{eff} değerlerinin, klasik yöntem, HSY-ZG ve HSY-ZX yöntemleriyle hesaplanmış T_{eff} değerleriyle karşılaştırılması. Verilerin sağlıklı karşılaştırılma yapılabilmesi için yayınlanmış T_{eff} değerleri hariç, diğerleri 0.4 dex oranında kaydırılmıştır	69
Şekil 4.5. Yayınlanmış T_{eff} değerleriyle hesaplanmış $H-R$ diyagramı konumlarının, klasik yöntem, HSY-ZG ve HSY-ZX yöntemi sonuçlarından hesaplanan $H-R$ diyagram sonuçlarının karşılaştırılması. Veriler sağlıklı karşılaştırılabilmesi için yayınlanmış T_{eff} 'ler hariç diğerleri 2 dex miktarında kaydırılmıştır	74
Şekil 4.6. Hesaplanmış T_{eff} 'lerin, yayınlanmış T_{eff} 'ler ile doğrudan karşılaştırılması	76
Şekil 4.7a. Dört parçalı eski MLR bağıntılarından hesaplanan klasik T_{eff} değerlerinin, altı parçalı yeni MLR bağıntılarından elde edilen klasik T_{eff} değerlerinin karşılaştırılması	79
Şekil 4.7b. Eski MLR bağıntıları kullanılarak elde edilen HSY sonuçlarının yeni MLR bağıntıları kullanılarak elde edilen HSY sonuçlarının karşılaştırılması	80
Şekil 4.8. $Z=0.014$ ve $Z=0.0152$ 'e göre HSY yöntemiyle hesaplanan T_{eff} farklarının kütleyle bağlı değişimi.....	82
Şekil 4.9. Sabit Z ($Z=0.0152$) ve özgün Z 'ler ile HSY uygulamalarından elde edilen ΔT sıcaklık farklarının kütleyle bağlı değişimi	83
Şekil 4.10. Sabit Z ($Z=0.0152$) ve özgün Z 'ler ile HSY uygulamalarından elde edilen ΔT sıcaklık farkının göreceli bolluğuna (Z) bağlı değişimi	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kimyasal kompozisyon verisi mevcut olan ayırık örten çift çizgili tayfsal çift yıldız üyesi yıldızların temel astrofizik parametreleri	23
Çizelge 3.2. PARSEC evrim modellerine (Bressan vd 2012) göre Güneş metal bolluğu için anakol sınırları başlangıcı (ZAMS) ve sonu (TAMS). L ışınım gücü, R yarıçap, T etkin sıcaklık	30
Çizelge 3.3. Farklı kütle aralıklarına göre yeni MLR bağıntıları, \mathcal{R} korelasyon katsayısı, σ standart sapma ve α eğim değerleri	36
Çizelge 3.4. Homojen sıkıştırma yönteminin, $Z=0.014$ kabulüyle, örnek yıldızlara uygulanıp, T_{eff} 'lerinin hesaplanması	48
Çizelge 3.5. Homojen sıkıştırma yönteminin, $Z=0.0152$ kabulüyle, örnek yıldızlara uygulanıp, T_{eff} 'lerinin hesaplanması	53
Çizelge 3.6. Homojen sıkıştırma yönteminin, gözlemsel Z 'ler (özgün Z 'ler) ile örnek yıldızlara uygulanıp, T_{eff} 'lerinin hesaplanması	62
Çizelge 4.1. Farklı metal bolluğuna göre ΔT_{δ} düzeltme değerleri	86

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğundan beri evreni anlamak istemiş ve gökyüzünü yani uzayı gözlemiştir. Ay ve Güneş de dâhil, Gökkubbedeki yıldızlar arasında dolanan, bu dolanmalarından ötürü gezegen adı verilen, yedi gök cismi merak edilmiş ve Eflatun'un (Platon) (M.Ö. 427-348) öğrencisi Eudoxus (M.Ö. 409-356) tarafından beş gezegenin (Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn) tersinir hareketlerinin modellenmesi girişimiyle pozitif bilim anlamında Astronomide ilk bilimsel araştırma faaliyetleri başlamıştır (Yıldırım, 2009).

İç içe kürelerden oluşan, Eudoxus'un bu yermerkezli modeli, tersinir hareketin model duyarlılığını arttırmak adına, iç içe kürelerin sayısı arttırılarak daha da geliştirildi. 27 küre ile başlayan ilk model, Aristo (M.Ö. 384-322) zamanında 56 küreye çıktı. Aristo bu yer merkezli modeli öylesine savundu ki, modelin ilk kurucusu Eudoxus olmasına rağmen, Aristo yaklaşık 2000 yıl kadar bu klasik yer merkezli modelin sahibi oldu (Yıldırım, 2009).

Tersinir hareketi açıklamak için çok sayıda iç içe kürelere gereksinim duyan ilkel yer merkezli sistem, Hipparkus (M.Ö. 190-120) tarafından ilk büyük revizyona uğradı. Hipparkus tersinir hareketi açıklamak için çok sayıda küreler yerine, gezegenin Dünya etrafındaki genel hareketi açıklamak için merkezi büyük çember üstünde dolanan ve gezegeni üstünde taşıyan bir küçük çembercik (epicycle) önerdi. Çember ve çembercik üstündeki hareketlerin periyotlarının uygun seçilmesi ile gezegenin Dünya etrafında hareketi ve her dolanımda bir defa görülen tersinir hareketi modellenebiliyordu (Yıldırım, 2009).

Bir yandan yer merkezli evren modelleri gelişirken, diğer taraftan Sisamlı Aristarkus (M.Ö. 310-230) yarım ay (ilk dördün) evresinde Ay ile Güneş arasındaki uzanım açısını 97° olarak ölçmüş; Ay tutulmalarından Ay'ın Dünya'ya göre yarıçapı hakkında tahminini de birlikte kullanıp, Güneş'in ve Ay'ın görünen yarıçaplarını da kullanarak, Güneş'in Ay'dan 20 defa daha uzak ve 20 defa daha büyük olduğunu hesapladı (Koupeelis, 2013a).

Bu bulgu üzerine, yani "mademki Güneş Dünya'dan daha büyüktür", dedi ve evrenin merkezinde olmayı Dünya değil Güneş hak eder diye düşünüp, ilk Güneş merkezli evren modelini ortaya koydu (Koupeelis, 2013a). O günlerde bilinen, gözle görülebilen beş gezegen, bu modele göre Dünya değil Güneş'in etrafında dolandır. Dünya artık evrenin merkezinde olmadığı, diğer beş gezegen gibi, Dünya kendine has yörüngesiyle, kendi etrafında dolanan Ay ile birlikte, Güneş'in etrafında dolandığı kabul edilmiştir.

Helenistik dönemde, İskenderiye okulunda yetişmiş, Batlamyus (Claudius Ptolemy; M.S. 90-168) meşhur Almagest adlı eserinde yer merkezli ve Güneş merkezli sistemleri karşılaştırmış, o günün bilimsel bilgi ve gözlemleri ile geçerli modelin yer merkezli sistem olmasına karar vermiştir. Bu kararda, yıldız paralaksının gözlenememesi, iteni ve çekenin olmayan Dünya'nın hareketsiz olması gerektiğine dair,

hızlı rüzgârların olmaması, havaya atılan taşın atıldığı yere geri düşmesine dair gözlemler etkili olmuştur (Eker, 2015a).

Batlamyus, kendi benimsediği ve Hipparcos'dan devraldığı yer merkezli sistemi değiştirmiş, Dünya'nın evrenin merkezindeki yerini merkez dışında bir başka noktaya taşımıştır. Bu sayede, gezegenlerin Dünya etrafında bazen hızlı, bazen yavaş yörünge hareketleri daha iyi temsil edilir hale getirmiştir.

İbn Şatr, Ulug Bey, Nasır al-Din Tusi, Ömer Hayyam, İbn Yunus, İbn Bacce, Al-Zarkali, Al-Battani, Dinaveri ve Harizmi gibi ortaçağ İslam astronomları Batlamyus sisteminin detaylarını, artan gözlem duyarlılığına paralel, modele yaptıkları ince ayar değişikliklerle geliştirmeye çalıştılar (Eker, 2015a). Model duyarlılığının gözlem duyarlılığından kötü olması ve istenilen düzeye getirilmemesi bakımından bütün bu girişimler başarısız sayıldı. Özellikle İbn Şatr'ın çalışmalarında haberdar olan Kopernik (1473-1543), büyük bir cesaretle, Güneş merkezli sistemi yani Aristarkus'un modelini çözüm olarak önerdi (Pedersen, 1993).

Kopernik modeli başlangıçta dikkat çekmedi. Kopernik modelinin en büyük, en önemli savunucusu 1609 yılında yeni icat edilmiş dürbünü teleskop olarak kullanan, bu sayede optik teleskopu keşfetmiş olan Galileo Galilei'dir (1564-1657). Zamanın ve Ulug Bey hariç kendinden önceki zamanların en duyarlı gözlemlerini yapan Tycho Brahe (1546-1601) yıldız paralakslarını ölçmemiş olması bakımından, Kopernik'in Güneş merkezli sistemini kabul etmemiş, merkezinde Dünya olan, Dünya etrafında Ay ve bütün gezegenleri ile birlikte Güneş'in dolandığı, yıldızlar küresi ile çevrili bir evren modeli önermiştir.

Tycho Brahe'nin gözlemlerini miras olarak devralan Johannes Kepler (1571-1630), başta Mars olmak üzere, gezegenlerin konum gözlemlerinden yörüngelerinin elips olduğunu bulmuş ve nihayetinde Kepler Yasaları olarak bilinen yasaları astronomiye kazandırmıştır. Fiziğin kurucusu Isaac Newton (1643-1727) geliştirdiği hareket yasaları ile gezegenlerin eliptik yörüngelerini hesaplamaya başlamıştır. Kepler'in üçüncü yasası (gezegenlerin yarı büyük eksenlerinin küplerinin, periyotlarının karesine oranı sabittir), Newton'a ilham vermiş evrensel kütle çekim, gravitasyon, kuvvetinin keşfedilmesine sebep olmuştur (Koupeelis, 2013a).

Yıldızların ayrıntılı olarak incelenmeye başlaması 17. yüzyıl başlarında Galileo Galilei'nun teleskobu icat etmesiyle başlayıp günümüze kadar devam etmiştir. Yıldızların iç yapısı tam olarak olmasa da 20. yüzyılın ortalarına kadar ancak anlaşılabilmiştir.

Modern anlamda bu günkü yıldız iç yapısı ve evrimi modelleri iki temel varsayım ve ikisi yıldız merkezinde, ikisi yüzeyinde olmak üzere, dört sınır şartı altında çözülebilen dört diferansiyel denklemin eş zamanlı çözümüne dayanmaktadır (Kourganof 1980; Clayton 1968; Iben 1913).

Yıldız iç yapısı ve evrimi çözümlerinin dayandığı varsayımlar şunlardır:

1) Yıldız küresel simetrik yapıdadır ve kendi eksenini etrafında dönmesi, varsa yüzey aktivitesi, manyetik alanları, yıldız rüzgârlarıyla yüzeyden kütle kaybetmesi ihmal edilir. Yıldızın bugün gördüğümüz veya ölçtüğümüz kütlesi, anakol yıldızı olarak hayatına başladığı andaki kütlesi ile aynıdır.

2) Yıldız çekirdeğinde nükleer reaksiyonlar sonucu üretilen He veya evrim durumuna göre daha ağır elementler, yıldızın çekirdeğinde kalır, hiç bir zaman yıldızın yüzeyine ulaşamaz. Yıldızdan gelen ışığın tayf analiziyle atmosferinde tespit edilen H, He ve diğer element bollukları (Z), başlangıçta yıldızın homojen kimyasal karışımını temsil eder.

Bu varsayımlara dayalı dört temel denklem ise şunlardır:

$$\begin{aligned}
 1) \quad \frac{dM(r)}{dr} &= 4\pi r^2 \rho(r) \\
 2) \quad \frac{dP(r)}{dr} &= -G \frac{M(r) \rho(r)}{r^2} \\
 3) \quad \frac{dT(r)}{dr} &= -\frac{3\kappa(r)}{16\pi} \frac{1}{r^2} \frac{1}{T^3(r)} \rho(r) \\
 4) \quad \frac{dL(r)}{dr} &= 4\pi r^2 \rho(r) \varepsilon(r)
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

Bu denklemlerdeki $M(r)$, $P(r)$, $T(r)$ ve $L(r)$ yıldızların iç yapısındaki fiziki detayları ortaya koyan sırasıyla yıldız kütesinin, basıncının, sıcaklığının ve ışınım gücünün (luminosite) merkezden ($r=0$) yüzeye ($r=R$) nasıl değiştiğini gösteren fonksiyonlardır. Çözümünden önce bu fonksiyonlar bilinmez, çözüm sonucunda elde edilirler. Bu dört temel fonksiyon bilinmese de, bu fonksiyonların türevleri, yani denklemlerin sağ taraflarının hangi fonksiyonlara nasıl bağlı olduğu yukarıdaki dört denklem seti ile ifade edilmektedir.

İdeal gazların hal denkleminde göre, $T(r)$, $P(r)$ ve yoğunluk fonksiyonu $\rho(r)$ birbirlerinden bağımsız olmadığı için $T(r)$ ve $P(r)$ 'nin bilinmesiyle $\rho(r)$ de bilinmiş olur.

Söz konusu dört denklem setinde yer alan G , π , a , c değerleri bilinen evrensel sabitlerdir. G kütle çekim sabiti, π pi sayısı, $a = \frac{46}{c}$, σ Stefan-Boltzmann sabiti ve c ışığın vakumdaki hızıdır. $\kappa(r)$ kramers opositesi olarak adlandırılan, soğurma katsayısının tüm dalga boylarındaki değerleri temsil eden ortalama bir değerdir. Son olarak $\varepsilon(r)$ yıldız merkezinden uzaklığın fonksiyonu olarak yıldız çekirdeğinde bir birim yıldız maddesinin birim zamanda ürettiği enerji miktarıdır. Çekirdek dışında $\varepsilon(r)$ 'nin değeri sıfırdır.

Bu dört denkleme ek olarak, hal denklemini olarak bilinen

$$P_g(r) = \frac{\rho(r)}{\mu m_H} k T(r) \tag{1.2}$$

ideal gazlar için geçerli basınç, yoğunluk ve sıcaklık arasındaki bağıntıdır. Küçük kütleli yıldızlarda dikkate alınmasa bile, büyük kütleli yıldızlarda ihmal edilemeyen radyasyon basıncını veren

$$P_r(r) = \frac{a}{3} T^4(r) \quad (1.3)$$

bağıntı da göz önünde tutulmak zorundadır.

Denklem 1. 2'deki k Boltzmann sabiti, m_H hidrojen atomunun çekirdeği yani bir atomun kütlesidir. μ ise yıldızın kimyasal karışımına bağlı bir gaz karışımı için atomik kütle biriminde ortalama parçacık kütlesini temsil eden bir sabittir. Hidrojen (X), helyum (Y) ve diğer elementlerin temsil eden, ağır element bolluğu olarak bilinen (Z)'ye bağlı olarak

$$\frac{1}{\mu} = 2X + \frac{3}{4}Y + \frac{1}{2}Z \quad (1.4)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Dört temel diferansiyel denklemin (Denklem 1.1) sağ tarafındaki parametreler arasında açıkça görülmesi de, merkezden yüzeye bilinmesi gereken $\mu(r)$ fonksiyonu da vardır. $\mu(r)$ dolaylı olarak kendini $\varepsilon(r)$ içinde ve $\kappa(r)$ içinde de gösterir. Sonuç olarak çözülmesi gereken $M(r)$, $P(r)$, $T(r)$, $L(r)$ ve $\mu(r)$ olmak üzere beş fonksiyon ve dört diferansiyel denklem vardır. Beş bilinmeyenli dört denklem setinin çözümü yokmuş gibi görünür. Çünkü özgün bir çözüm için denklem sayısı bilinmeyen sayısına eşit veya daha fazla olması gibi bir matematiksel zorunluluk vardır.

Bu noktada ikinci varsayım devreye girer. Bu gün ölçülen yıldız atmosferinin kimyasal yapısı, yani X , Y ve Z değerleri, yıldızın doğumundan gözlediğimiz bu güne kadar değişmediği için, en azından yıldızın doğum anını temsil eden sıfır yaş çözümüne imkân tanır. Yıldızlar anakol öncesi evrim aşamasında, merkezden yüzeye tam konvektif bir evreden geçtikleri için sıfır yaşındaki yıldız homojen bir yıldızdır. Yani atmosferi için ölçülen X , Y ve Z değerleri, görmesek de, yıldızın merkezinden yüzeyine, her yerde aynıdır. $X(r)=X_0$, $Y(r)=Y_0$ ve $Z(r)=Z_0$ olmak üzere ki burada X_0 , Y_0 ve Z_0 yıldızın atmosferinde ölçülen Hidrojen, Helyum ve Ağır element bolluklarıdır, beş bilinmeyenli denklem seti, dört bilinmeyenli denklem seti haline gelir.

Bu çözümde, yıldızın toplam kütlesi M ve kimyasal karışımı (X_0 , Y_0 , Z_0) özgün çözüm için bağımsız (serbest) parametreler olarak karşımıza çıkar. Model yapanlar için bunlar bağımsız model parametreleridir. Yani, çözümün başlangıcında M , X_0 , Y_0 ve Z_0 değerleri ya bilinir veya bilindiği varsayımı ile çözüme başlanır.

Diferansiyel denklemlerin çözümünde, integrasyon sabitlerinin değerlerini belirleyecek sınır şartlarına ihtiyaç vardır. Dört diferansiyel denklem için dört sınır değeri (şartı) bilinirse özgün çözüm var demektir. İki yıldız merkezinde [$M(0)=0$, $L(0)=0$], ikisinin yüzeyde [$P(R)=0$, $T(R)=0$] olmak üzere dört tane sınır şartı mevcuttur. Ayrıca, $M(R)=M$, X_0 , Y_0 ve Z_0 serbest parametreler (veya model parametreleri) olarak

bilinmektedir. Ancak, analitik çözüm yoktur. Nümerik integrasyon teknikleri ve sınama yanılma yöntemiyle, bilinmeyen sınır değerlerinin tahmin edilmesiyle (merkezde $T(0)=T_c$, $P(0)=P_c$, yüzeyde R ve $L(R)=L$) ilk çözüm elde edilir.

Elde edilen bu çözüm, başlangıçta kabul edilen M , X_0 , Y_0 ve Z_0 model parametreleri için sıfır yaş çözümdür. $X_0 + Y_0 + Z_0 = 1$ olup, her bir farklı M veya X_0 , veya Y_0 , veya Z_0 için çözümün farklı olacağı aşikârdır. X_0 , Y_0 ve Z_0 yani kimyasal kompozisyon aynı tutulup farklı M değerleri için çözüm tekrarlanırsa, X_0 , Y_0 ve Z_0 değerlerine özgün sıfır yaş anakolu (ZAMS) elde edilmiş olur. M - R diyagramı üstünde R , M - L diyagramı üstünde L çözümleri işaretlenerek her bir diyagramdaki sıfır yaş (ZAMS) çizgisi elde edilebilir. Farklı X_0 , Y_0 ve Z_0 değerleri için aynı işlem tekrarlanırsa, farklı kimyasal kompozisyonlar için ZAMS çizgileri de elde edilebilir.

Dikkat edilirse, çözümlerde $T(R)=0$ varsayımı kullanıldığı için, çözüm sonucunda yıldız yüzeyi için elde edilen bir sıcaklık değeri yoktur. Çözümler sadece ve sadece kabul edilen M , X_0 , Y_0 ve Z_0 değerine özgün bir yarıçap (R) ve bir ışınım gücü [$L(R)$] üretir. Ancak, elde edilen R ve $L(R)$ değerlerinden, Stefan-Boltzmann yasası, $L=4\pi R^2 \sigma T^4$, bağıntısını kullanarak çözüme özgün, yıldızın etkin sıcaklığı hesaplanabilir. Bu da yıldızın ZAMS'taki etkin sıcaklığıdır.

M , X_0 , Y_0 ve Z_0 modeli için yapılan çözümü yıldızın ilerleyen yaşı için devam ettirmek mümkündür. Çünkü sıfır yaş çözümü sonucunda yıldız iç yapısını ilgilendiren $M(r)$, $T(r)$, $P(r)$, $\rho(r)$, $X(r)=X_0$, $Y(r)=Y_0$, $Z(r)=Z_0$ fonksiyonları ve fizik şartlar bellidir. Bu fizik şartlar ile çekirdekteki $\epsilon(r)$ de bellidir. $\epsilon(r)$ belli ise, merkezden r kadar uzaklıkta birim zamanda birim hacimde kaç tane H atomunun kaç tane He atomu üreteceği de bellidir. Kısaca, Δt zaman sonra yıldız çekirdeğinde $X(r)$ ve $Y(r)$ 'nin ne olacağı hesaplanır. Z_0 değişmez çünkü anakol ömrü boyunca yıldız çekirdeğindeki nükleer reaksiyonlar sadece ve sadece $X(r)$ ve $Y(r)$ değerlerini değiştirir.

Madem Δt zaman sonra merkezden yüzeye $X(r)$, $Y(r)$ ve $Z(r)=Z_0$ bellidir. M , X_0 , Y_0 ve Z_0 modeli için yıldızın Δt zaman sonrası iç yapısını bulmak üzere çözüm tekrarlanır. Yıldızın Δt yaşını temsil eden R ve $L(R)$ değerleriyle birlikte yıldız iç yapısı tekrar hesaplanmış olur. Bu yeni şartlarda, çekirdekteki nükleer reaksiyonların hızından bir sonraki Δt için yeni $X(r)$ ve $Y(r)$ hesaplanır, hesaplar yıldızın çekirdeğinde hidrojen tükenene kadar devam eder.

Δt zaman adımları ile, yıldızın evrim yolu hesaplanmış olur. Yıldız evrim yollarını hesaplayan, hatta bu evrim yollarını yıldız oluşumundan başlatan, anakol dönemi, anakol sonrası, He yakma aşaması, ve yıldızın enerji üretmez duruma gelinceye kadar tüm evrelerini kaplayan yıldız evrim yolu hesabı yapan, kütle kaybı, dönme, konveksiyon tabakalarında ileri atım (overshooting), manyetik aktivite, çift yıldız evrimi gibi modelleri geliştirmek yolunda birbirleri ile yarışan çok sayıda grup ortaya çıkmıştır. Bu gruplar arasında Geneva Gridleri Yıldız Evrim Modelleri (Schaller vd 1992; Schaerer vd 1993), Yıldız Evrim Yollarının Padova Veritabanı (Girardi vd 2000; Marigo vd 2008; Bertelli vd 2008, 2009; Girardi vd 2010; Bressan vd 2012; Chen vd 2015), Yonsei-Yale Eş-yaş Eğrileri (Demarque vd 2004, 2008), Victoria-Regine (VandenBerg, Bergbusch ve Dowler 2006), Dartmouth Yıldız Evrimi Veritabanı (Dotter vd 2008), Pisa Yıldız Evrim Veritabanı (Tongnelli, Prada Moroni ve

Degl'Innocenti 2011), Rotasyonlu Yıldız modellerinin Geneva Gridleri (Meynet ve Meader 2000; Ekström vd 2012; Mowlavi vd 2012; Georgy vd 2013) ve Basti Yıldız Evrimi Veritabanı (Pietrinferni vd 2013) ve Pols vd (1998), Yıldız (2015) gibi bağımsız araştırma yapan diğerleri.

Anakol öncesi evrim yıldız oluşumuyla ilgilidir. Sıfır yaş anakolu (ZAMS= Zero Age Main Sequence) yıldızın termal ve hidrostatik dengeye ulaşır çekirdeğinde nükleer reaksiyonların enerji üretmeye başladığı andır. Anakol dönemi sonu (TAMS = Terminal Age Main Sequence) yıldızın çekirdeğinde hidrojenin tükendiği anı simgeler. ZAMS ve TAMS arasında kalan bölge, yıldız ömrünün %90'ını kapsayan anakol evresidir. Bu yüzden $H-R$ diyagramında yıldızlar daha çok anakol boyunca toplanmış olarak görülürler.

Gözlemler ile duyarlı olarak belirlenmiş M , R , L ve T_{eff} gibi yıldız parametreleri teorik olarak üretilen yıldız iç yapı ve evrim modellerinin test edilmesi bakımından önemlidir. En duyarlı yıldız parametreleri, ayırık örten çift çizgili (SB2) tayfsal çift yıldız gözlemlerinden elde edilir (Andersen 1991, Torres vd 2010, Eker vd 2014). Işık eğrisindeki tutulmalar ile yarıçaplar, sıcaklıklar ve yörüngenin eğimi, radyal hız eğrilerinden bileşen kütleleri duyarlı olarak ölçülebilir.

Eker vd (2014) 257 ayırık örten SB2 türü tayfsal çift yıldızın parametresini yayınlamıştır. Eker vd (2015b), parametreleri en duyarlı belirlenmiş bu listeden, anakol yıldızlarını seçip, anakol kütle - parlaklık bağıntısını güncellemiştir. Kütle - parlaklık bağıntısı $\log M$ ve $\log L$ diyagramında anakol yıldızlarının dağılımını ifade eden bir bağıntıdır; klasik anlamda $L \propto M^a$ olarak ifade edilmektedir. Logaritmik ölçekte bu bağıntı bir doğru olarak ortaya çıkar. Eker vd (2015b), anakol yıldızlarının enerji üretimi verimliliğine (L/M) bakarak tespit ettiği kırılma noktalarına göre $\log M - \log L$ diyagramı üstündeki verileri dörde bölmüş ve belirlenen bu dört kütle aralığı için kütle - ışınım gücü bağıntılarını hesaplamışlardır.

Klasik kütle - parlaklık bağıntısının ($L \propto M^a$) bir başka kullanım alanı, kütlesi ve yarıçapı bilinen yıldızlar için, Stefan-Boltzmann yasasını ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$) kullanarak ortalama (istatistiksel) etkin sıcaklık (T_{eff}) hesabının yapılabilmesi olacaktır.

Eker vd (2015b) yaklaşık yüzyıldır bilinen bu klasik yöntemi, $0.38 < M/M_{\odot} < 32$ kütle aralığında kalan yıldızlara, elde ettiği yeni kütle - parlaklık bağıntısını kullanarak uygulamıştır. Elde ettiği klasik metod etkin sıcaklıklarını, yayınlanmış etkin sıcaklıklar ile karşılaştırmış, her bir kütle aralığı için saçılmalardan kaynaklanan klasik yöntem etkin sıcaklık hatalarını, yayınlanan etkin sıcaklık hataları ile karşılaştırmıştır. $\log M - \log L$ diyagramında saçılmanın sebep olduğu hatalar, gözlemsel hatalardan yaklaşık üç kat daha büyük olduğu sonucuna varmıştır.

Aslan (2015) klasik yöntem ile hesaplanan etkin sıcaklıkları daha duyarlı hale getirmek için Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY) adı verilen yeni bir yöntemi araştırmış ve HSY ile klasik yöntem etkin sıcaklıklarını daha duyarlı hale getirilebileceğini göstermiştir. Aslan'ın (2015) kullandığı örnek (seçilmiş anakol yıldızları), Eker vd'nin (2015b) kullandığı yıldız örneğiyle aynıdır. Eker vd (2014) kataloğundan, Samanyolu Galaksi'si içinde, Güneş komşuluğundaki 257 ayırık örten

SB2 tayfsal çift yıldız bileşenleri arasından seçilen 450 anakol yıldızından oluşmaktadır. Aslan (2015) HSY sistemini uygularken, yıldızların hepsinin Güneş benzeri kimyasal kompozisyona (Z) sahip olduğunu kabul etmiş, Bressan vd'nin (2012) Güneş metal bolluğunda ($Z = 0.014$) ve He ($Y = 0.273$) içeriği %27.3 olan en küçük kütle değeri $0.09 M_{\odot}$ den başlayıp $40 M_{\odot}$ arasında mevcut olan hazır yıldız evrimi modellerini kullanmıştır.

Bu tez çalışması, Aslan'ın (2015) ortaya koyduğu yöntemi, metal bolluğu gözlemler ile belirlenmiş yıldızları seçerek, bu seçilmiş örnek üstünde, yarı-empirik etkin sıcaklık hesabında metal bolluğun etkisini belirlemek üzere önerilmiştir. Böylece, Aslan'ın (2015) tezindeki ilk yaklaşım test edilecek ve önerilen HSY, eklenen metal bolluğu (Z) verisiyle geliştirilmiş olacaktır.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. YILDIZLARDA SICAKLIK KAVRAMI VE SICAKLIK ÇEŞİTLERİ

2.1.1 Genel Anlamda Sıcaklık

Sıcaklık günlük hayata karşılaştığımız bir kavramdır. Sıcak bir yaz günüyle soğuk bir kış günü arasındaki farkı, üşümekle sıcaktan terlemek farkını bilmeyen yoktur. Soğuk algınlığında, ateşimiz yükseldiğinde, vücut sıcaklığımızı termometreyle ölçüyoruz. Termometrenin 1631'deki keşfi Fransız fizikçi J. Rey'e atfedilir. Ancak bir cismin "sıcaklık derecesini" gösteren cihazın keşfini 1592'de Galileo yapmıştır (Koupelis, 2013b). Termometreler arasında en yaygın olarak kullanılan Celsius, Fahrenheit ve Kelvin ölçekleridir. Kelvin ölçeği bilimde yaygın olarak kullanılan bir ölçektir ve ilk olarak 1892'de Lord Kelvin unvanını alan İngiliz fizikçi ve mühendis William Thompson (1824-1907) tarafından önerilmiştir (Koupelis, 2013b).

Termometreler suyun donma ve kaynama noktalarına göre işaretlenmiştir. Örneğin Celsius ve Fahrenheit ölçeklerinde sırasıyla suyun donma noktası $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 32 F iken suyun kaynama noktası $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 180 F olarak tanımlanır, Kelvin ölçeğinde ise suyun donma noktası 273 K , suyun kaynama noktası 373 K 'dir. Şurası açıktır ki Kelvin'deki sıfır çizgisi en düşük sıcaklıkla (mutlak sıfır) ilişkili olan "mutlak" sıcaklık ölçeğidir. Yaklaşık olarak $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye karşılık gelir. Celsius ve Fahrenheit ölçekleri relatif, yani suyun donma ve kaynama noktasına göre düzenlenmiş skala ölçeğinde çalışır. Relatif ölçeklerde, sıfır noktasının yerine göre negatif, yani sıfırdan küçük ölçümler olabilir. Ama mutlak ölçümlerde, örneğin kütle, hacim ve yarıçap ölçümlerinde negatif ölçüm yoktur. Kelvin ölçeği mutlak sıcaklık skalası olduğu için, negatif ölçüm değeri bulunmaz.

Bir cismin sıcaklığı artarken onu oluşturan taneciklerin her biri daha hızlı hareket eder; sıcaklık azalırken de tanecik hızı (doğrusal bir biçimde olmasa da) azalır. Sıcaklık, sıcaklığı ölçülen cismin taneciklerinin ortalama kinetik enerjisidir. Mutlak sıfır atomik hareketlerin en küçük olduğu durumdur. Sıcaklık, makro âlemde ölçülebilen, mikro âlemdeki parçacıkların ortalama kinetik enerjilerini gösteren bir büyüklüktür. Artık sıcaklığın da kütle ve zaman gibi temel bir nicelik olduğunu biliyoruz.

Termometreyle bir cismin sıcaklığını belirlerken, sıcaklık ölçümünün temel prensibi Termodinamik Denge'dir. Yani termometreyle ölçülen cismin sıcaklığı ve termometrenin sıcaklığı termodinamik dengede iken termometre üstünde okunan sıcaklık cismin sıcaklığıdır.

2.1.2. Kara Cisim ve Termodinamik Denge

Günlük hayatta bazı cisimlerin sıcaklığı sıradan mevcut termometreler ile ölçülemez. Sebebi ise ya sıcaklık değeri çok yüksektir, erimiş demir cevheri gibi, sıradan termometreler işe yaramaz, ya da sıcaklığı ölçülecek cisim çok uzakta, ulaşmak imkânsızdır, ya da, her ikisi. Gazların ve cisimlerin sıcaklığı olduğu gibi yıldızların da sıcaklığı vardır. Bu sebeple yıldızların sıcaklığını tartışırken kara cisim, radyasyon

sıcaklığı ve termodinamik denge kavramlarını kullanmak bir çözümdür. Bu kavramları anladıktan sonra, fotonların termometre olarak kullanılması mümkün olabilir.

Bir grup parçacık veya molekül için tanımlanan sıcaklık, yakınındaki başka grup molekülün sıcaklığından farklı olabilir. İki grubu oluşturan parçacıklar termal olarak etkileşiyor ise bu iki grubun parçacıkları birbiriyle enerji alış-verişi yaparak (sıcak olandan soğuk olana enerji akışı) aynı sıcaklığa ulaştıklarında bir termodinamik denge oluşturur. Bu alış-veriş termodinamik denge durumunda sona ermez, alınan enerji verilen enerjiye eşit hale gelir. Yani, her iki grup molekül, veya iki cisim, artık aynı sıcaklığa ulaşmışlardır. Bu da, günlük hayatta sıradan termometrelerin temel prensibidir.

Kara cisim üstüne düşen her türlü ışığı yutabilen, içi ve çevresiyle termodinamik dengede olan, tüm dalga boylarında sıcaklığına özgü ışımaya yapan cisimdir. Bu hipotetik cisim fizikçiler tarafından idealleştirilmiş bir kavramdır.

Kapalı içi boş, üstünde cismin içine açılan, dış ortamdaki fotonların rahatça girip çıkmasına müsaade eden bir delik olan, içi pürüzlü ve siyaha boyanmış bir cisim, hipotetik kara cismin özelliklerini anlatmak için tasvir edilen bir düzenektir. Kara cisim her türlü ışığı yutar, yani cismin üstündeki delikten her türlü ışınım girebilir. İçeri giren foton, delikten girdiği doğrultuya bağlı olarak iç yüzeyde bir yere çarpar. İç yüzey pürüzlüdür çünkü deliğe dik giren foton, karşı yüzden yansıyıp aynen geriye çıkmasını diye, pürüzlüdür. İç yüzey siyahtır, çünkü fotonun soğurulma ihtimalini arttırmak için siyaha boyanmıştır. Delikten giren foton büyük bir ihtimal ile ilk çarptığı yerde soğurulacaktır. Diyelim ki, soğurulmadı, yansıdı. Yüzeyin pürüzlü olması sebebiyle geldiği yönde gitmeyecek (delikten geri çıkmayacak) iç yüzey içinde bir başka yere doğru yansıyacaktır. Diyelim ki burada da soğurulmadı (çok küçük bir ihtimal), yine deliğe doğru değil, iç yüzeyde bir başka konuma doğru yansıyacaktır. İç yüzeyin tamamı soğurucu olduğu için birinci seferde veya ikinci seferde veya üçüncü seferde vesaire eninde sonunda, delikten giren her fotonun, böylece soğurulması sağlanacaktır. Delikten içeri giren fotonlar, bu hipotetik cismin iç yüzeyinde istisnasız soğurulacaktır. Yani bu cismin iç yüzeyi ısınacak. Isındığı için radyasyon yayacak. İç çeperlerin saldı (emisyon) bu radyasyon, iç boşluğu dolduracaktır. Yani bu içi boş cismin içinde fotonlardan oluşmuş gaz vardır. Bu foton gazı yüzey çeperleriyle iletişim halindedir. Çeperler foton gazından fotonları soğururken, çeperlerden yayınlanan taze fotonlar da foton gazına eklenmektedir. Ama, foton gazı ile çeperler arasında termodinamik denge vardır. Olmalıdır. Çeperler sıcak, foton gazı soğuk ise, foton alış verişi (enerji) ile aynı sıcaklığa ulaşır. Foton gazının bir kısmı delikten kaçar. Ama kaçan miktar, delikten içeri giren kadardır. Aksi takdirde, içeri daha çok foton girerse, çeperler ve foton gazı biraz daha ısınır, ısınma, içeriden kaçan foton enerjisinin, giren foton enerjisine eşit olana kadar devam eder.

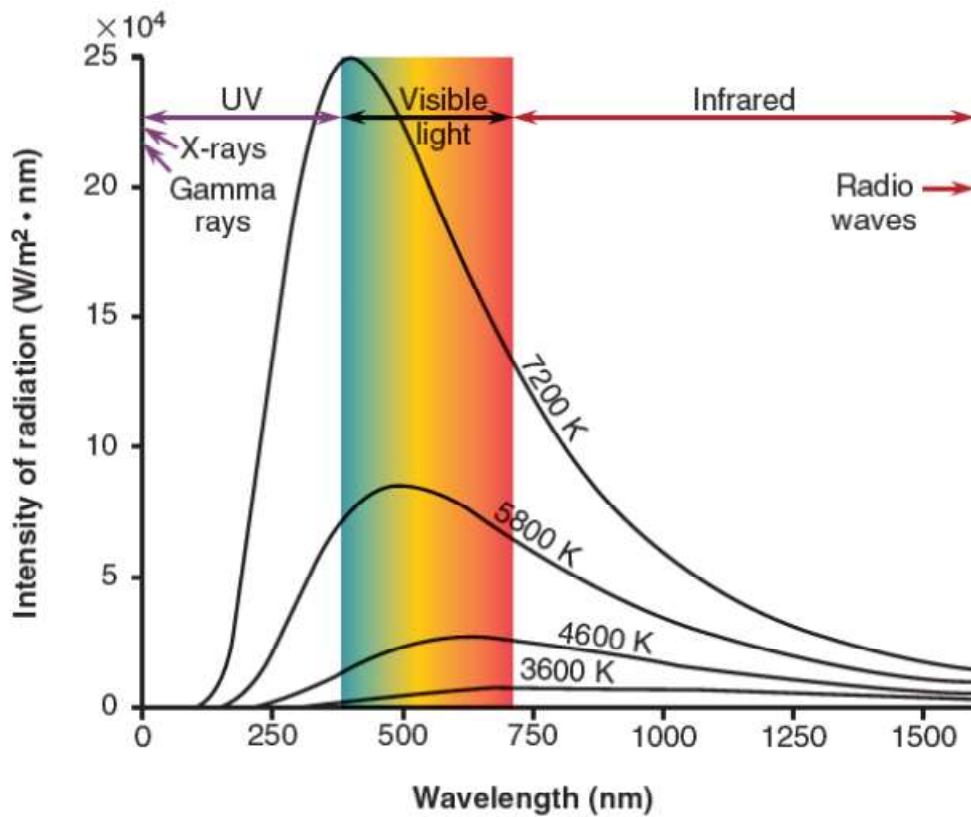
Foton gazından delik sayesinde kaçan fotonların enerji dağılımı

$$B_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (2.1)$$

dır. Aslında, delikten kaçan fotonların dalga boyu veya frekans dağılımı, hipotetik cismin çeperlerle termodinamik dengede olan foton gazının dalga boyu (veya frekans)

dağılımıyla aynıdır. Bu dağılımı belirleyen tek bir parametre vardır sıcaklık (T). Termodinamik denge söz konusu olduğu için, bu hem foton gazının sıcaklığı hem de cismin iç çeperlerinin sıcaklığıdır. Bu yüzden 2.1 denklemiyle ifade edilen, dalga boyu dağılımı kara cismin enerji dağılımı, Planck fonksiyonu olarak bilinir ve termometre olarak kullanılabilir.

Hipotetik kara cisim örneği için düşünülen düzenekte, foton gazının dış ortamlarla olan münasebeti tek küçük bir delikle olmaktadır. Ancak, ideal kara cismin tüm yüzeyi, kara cismin dış ortamlarla münasebetini sağlar. İdeal kara cismin tüm yüzeyinin, içi kendi içinde ve dış ortam ile termodinamik dengede olan foton gazı haznesidir. Çeperler de dış ortamın kendisidir.



Şekil 2.1. Farklı sıcaklıklardaki kara cisim akılarının dalga boyu dağılımları

Koupelis'den (2013c) alınmış Şekil 2.1'de yatay eksenini nanometre (nm) biriminde dalga boyu, dikey eksenini $Wm^{-2}nm^{-1}$ biriminde akı ve koyu renkli bölge ise görünür bölgeyi temsil etmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi farklı sıcaklıklarda farklı foton dağılımları görülmektedir.

Katı, sıvı ve basınç altındaki gazlar kara cisim gibi ışınım yapar. Yani yayılan ışığın dalga boyu dağılımından sıcaklık ölçülebilir. Termodinamik denge durumunda kara cismin içindeki herhangi bir noktadan diğerine net enerji transferi söz konusu

olamaz. Bir kara cisim kendi sıcaklığını sabit tutabilmesi için yaydığı enerji kadar enerjiyi soğurması gerekir. Aksi takdirde, soğumak veya ısınmak durumunda kalır ki, termodinamik denge şartı sağlanmaz. Peki yıldızlar kara cisim midir? sorusunu soracak olursak;

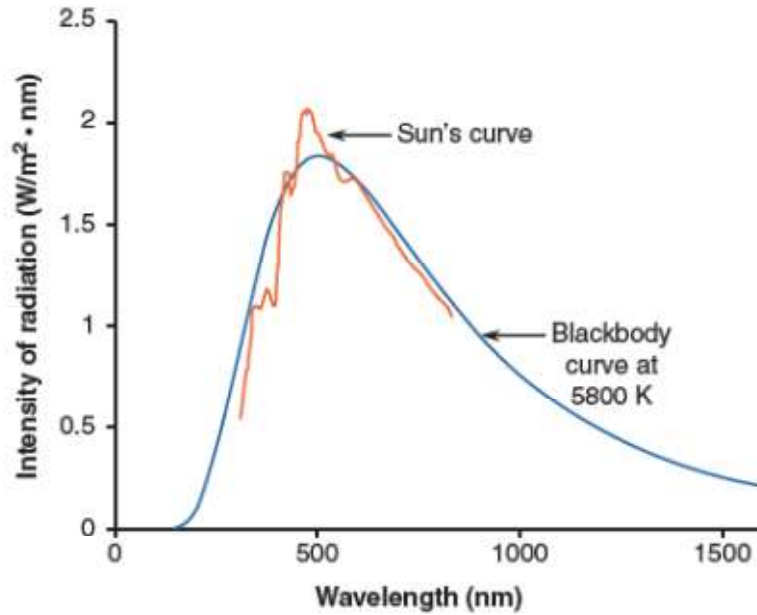
Yıldızlar kara cisim değildir ve iki önemli nedenden dolayı kara cisimden farklıdır.

1) Yıldızlar farklı fotosfer derinliklerinden kaçan fotonların temsil ettiği sıcaklıklara göre tüm dalga boylarında uzaya radyasyon yayar. Ancak kaybettiği enerjinin karşılığını geri alamaz.

2) Yıldızlar kendi içlerinde ve çevresinde termodinamik denge koşulunu sağlamazlar ve yıldızların merkezlerindeki sıcaklıklar, yüzeylerindeki sıcaklıklardan çok büyüktür.

Yıldızlar birer kara cisim değildirler, ama yaydıkları ışınımın, yani yüzeylerinden uzaya akan akının dalga boyu (veya frekans) dağılımının Planck fonksiyonuna benzerliği, bu yüzden yıldızların sıcaklıklarını ölçerken, yıldızların kara cisim gibi kabul edilmesi astronomlara büyük kolaylıklar sağlar. Bu da bize yıldızların sıcaklıklarını ölçme imkânı verir. Aksi takdirde, termometreyi yıldıza götürebilme imkânı yoktur.

Güneş'in ışınım akısı dalga boyu dağılımının 5800 °C'deki bir kara cismin akı dağılımına ne kadar benzediği Koupelis'den (2013c) alınmış Şekil 2.2'de açıkça görülmektedir. Tam bir benzerlik yok, çünkü bazı dalga boylarında kara cisim fazla parlak iken, bazı dalga boylarında Güneş ışınımı daha parlaktır.



Şekil 2.2. Güneş ışığı akısının dalga boyu dağılımı (Güneş tayfı)

Bugün biliyoruz ki yıldızların çekirdeklerinde, nükleer reaksiyonların gerçekleştiği yerlerde sıcaklıklar onlarca milyon Kelvin civarındadır. Üretilen bu radyasyon enerjisi (fotonlar) oradan yüzeye (fotosfer), yüzeyden de uzaya yayılmaktadır. Yıldızlarda katman katman yerel termodinamik denge (LTE) vardır ve her katmanın kendine özgü sıcaklığı vardır. Fotosferin belli katmanlarından çıkan fotonlar fotosferin o katmandaki sıcaklığına bağlı olarak yukarıda verdiğimiz denklem 2.1 ile ifade edilen frekans dağılımını gösterirler. Fotosferin derinlerinden kaçan fotonlar daha sıcak, fotosferin üst tabakalarından kaçanlar ise görece olarak daha soğuk ortamdaki fotonlardır. Bu yüzden Şekil 2.2'de bazı dalga boylarında Güneş ışığı, ideal kara cisme göre daha fazla veya daha az parlak görünür. Bu durumda yıldızın fotosferinden uzaya kaçan radyasyonun tamamını temsil edecek bir sıcaklık tarif etmemiz gerekmektedir. Bu sıcaklık yıldızın etkin sıcaklığıdır. Etkin sıcaklığa geçmeden önce bir yıldızın sıcaklık çeşitlerini inceleyelim.

2.1.3. Yıldız Sıcaklıkları ve Sıcaklık Çeşitleri

Yıldız sıcaklıklarının ölçebilmek için, astronomlar ve astrofizikçiler çeşitli gözlem teknikleri geliştirmişlerdir. Bu gözlem teknikleri, özetle yıldızdan uzaya yayılan, dolayısıyla gözlemcinin teleskobuna gelen yıldız akısının dalga boyu dağılımına bakıp, hangi sıcaklıktaki Planck fonksiyonuyla temsil edilebilirliğinin belirlenmesine bağlıdır. Her tekniğin kendine göre kolaylığı (avantajı) ve zorluğu (dezavantajı) vardır. Şimdi aşağıda bu farklı teknikler ve tekniğin farklı olmasından dolayı ölçülen farklı tür sıcaklıklardan bahsedilecektir.

2.1.3.1. Kinetik Sıcaklık

Gazların kinetik teorisi James Clerk Maxwell'in 1860'lı yıllarda geliştirdiği bir teoridir. Hacmi V basıncı P olan bir gazı ısıtmak demek, belli bir hacim içine sıkışmış gaz parçacıklarına enerji aktarmak demektir. Peki, bu gaz dışarıdan verilen bu ısı enerjisini nasıl soğurur? Gaz dışarıdan gelen bu enerjiyi soğurduğu zaman, iç enerjisinde bir artış olur. Gazın iç enerjisi, gaz parçacıklarının toplam kinetik enerjisi demektir. Yani bu durumda, bir parçacığın enerjisi $\frac{1}{2}mv^2$ ise ve gaz bir mono atomik gaz veya aynı moleküllerden oluşmuş bir gaz ise, m bir parçacığın veya bir molekülün kütlesi ve v da parçacıkların rastgele süratlerinin ortalamasıdır.

Birimi Joule/K olan Boltzmann sabiti k , bir mol gazın sıcaklığını bir Kelvin'e arttırmak için gerekli enerjiyi temsil eder. Bu durumda, sıcaklığı T Kelvin olan gazın iç enerjisi kT ile orantılıdır.

$$PV = \bar{R}T \quad \rightarrow \quad PV = N_o kT \quad (2.2)$$

denklemi ideal gaz denklemi olarak bilinir. Burada \bar{R} gaz sabitidir, N_o bir mol gaz içindeki parçacık sayısıdır (Avagado sayısı). Bu durumda parçacık başına ortalama kinetik enerji, sıcaklığa bağlıdır:

$$\frac{1}{2}m\langle v^2 \rangle = \frac{3}{2}kT. \quad (2.3)$$

Kinetik teorinin temelini oluşturan bu denklem bize der ki, makro âlemde (günlük hayatta) ölçülen sıcaklık (T) aslında bize, mikro âlem hakkında bilgi vermektedir. Mikro âlemde bir grup parçacığın (bu milyonlarca, hatta sayılamayacak kadar çok olabilir) parçacık başına ortalama kinetik enerjisi, o gazın sıcaklığına bağlıdır. Bu durum gazlarda olduğu gibi, katı ve sıvılarda da aynıdır. Kristal yapıda konumları sabit olan katı cismin mikro parçacıkları aslında hareketsiz deşillerdir. O cismin sıcaklığına bağlı olarak, olduğu yerde konumlarını değiştirmeden titreşim hareketi yapar. Söz konusu sıvı olduğunda mikro parçacıkların konumları değişir. Parçacıklar bir biri üstünden yuvarlanır. Gaz parçacıkları en serbest parçacıklardır. Aralarında büyük mesafe vardır. Rastgele yönlere hareket ederler, bir birleriyle çarpışırlar. İşte cisimlerin, sıvıların ve gazların mikro parçacıklarının rastgele hareketlerinin miktarı, aslında o cismin, sıvının veya gazın sıcaklığıdır.

Gazın, cismin veya sıvının mikro âlemdeki rastgele hareketlerinin belirlediği bu sıcaklığa **kinetik sıcaklık** denir. Mikro âlemdeki bu hareketleri görmek veya algılamak genelde mümkün olmaz. Ancak, yıldız atmosferlerinde, çizgi genişlemesine sebep olan mekanizmalardan biri, yıldız atmosferini oluşturan tayf çizgisi üreten gaz partiküllerinin bu sözünü ettiğimiz, kinetik sıcaklıktan dolayısıyla rastgele hareketleridir.

2.1.3.2. Renk Sıcaklığı

Yıldızları kara cisim gibi kabul edip, yıldızdan gelen ışığın dalga (veya frekans) dağılımından sıcaklıkları tespit edilebilir. Renk sıcaklığı, adından da belli olduğu gibi, yıldızın rengi ve yıldız sıcaklığının bir ölçüsüdür. Şekil 2.1'de açıkça görölmektedir ki, sıcaklık arttıkça foton gazının enerji dağılımını temsil eden Planck fonksiyonu dağılımların şekli değişmektedir. Planck fonksiyonunun tek bir maksimumu vardır (türevinin sıfır olduğu dalga boyu veya frekans). Dalga boyu dağılımında cisimden yayılan ışığın maksimum olduğu bu dalga boyu (λ_{tepe}) yıldızın rengini belirler. Bu tepe noktasının dalga boyu, sıcaklık arttıkça kısa dalga boylarına doğru kayar. Yani sıcak bir yıldız, soğuk bir yıldız göre daha mavi görünür. Diğer bir değişle mavi yıldızlar, kırmızı yıldızlara göre daha sıcaktır. Sıcaklığının artmasıyla λ_{tepe} 'nin kısa dalga boylarına kayması Wien yasası diye bilinen aşağıdaki

$$\lambda_{tepe} T = Sabit \quad (2.4)$$

yasa ile foton gazının sıcaklığına bağlıdır. Sabitin değeri kullanılan birim sistemine bağlıdır. Örneğin λ_{tepe} cm olarak ölçülürse, sabit değer 0.29 eşit olur. Elde edilen sıcaklık Kelvin birimindedir. Wien yasasını, yani denklem 2.4'teki bağıntıyı kullanıp, yıldız tayfindan λ_{tepe} ölçülerek elde edilen sıcaklıklara **renk sıcaklığı** denir.

Ancak, λ_{tepe} 'yi belirleyebilmek pek de kolay değildir. Yayılmış bir enerjide, tepe noktasını belirlemek zor olduğu gibi, bazı yıldızlarda, yıldız yeterince sıcak veya yeterince soğuk ise, λ_{tepe} dalga boyu görünür bölge dışında kalır. λ_{tepe} bölgesi, tayfin geri kalan bölümüyle birlikte gözlenemiyorsa, Wien yasasını kullanmak pratik değildir.

Böylesi durumlarda, farklı filtrelerde eş zamanlı fotometrik kadir ölçümleri devreye girer. Örneğin B filtresinde yıldızın parlaklığı m_B , V filtresinde yıldız parlaklığı m_V olsun. Yıldızın $B-V$ renk indisi

$$B - V = m_B - m_V \quad (2.5)$$

dir. İki den fazla filtre kullanılabilir. Kullanılan filtrelere göre yıldızın farklı renkleri tanımlanır. Örneğin $UBVRI$ beş renkli fotometrisiyle, yıldızın $U-B$, $B-V$, $V-R$, $V-I$, ... çok sayıda renk indisi ölçülebilir. Bu renk indislerinin her biri yıldızın rengini, dolayısıyla sıcaklığını verir. Örneğin Zeilik vd'ne (1992a) göre

$$B - V = 0.865 - \frac{8540}{T}. \quad (2.6)$$

İşte, renk indislerinin ölçülmesiyle elde edilen sıcaklıklara da **renk sıcaklığı** denir.

2.1.3.3. Parlaklık Sıcaklığı

Parlaklık sıcaklığı yıldızları kara cisim gibi kabul edip, fotonların enerji dağılımından sıcaklığını tespit ettiğimiz diğer bir sıcaklıktır. Ancak renk sıcaklığından farklı olarak, parlaklık sıcaklığında sadece tek bir dalga boyu veya filtrede yapılan tek bir gözlem yeterlidir. Denklem 2.1'de olduğu gibi, ν frekansındaki parlaklığı ışık şiddeti cinsinden ifade edilmiş ise ve biliniyorsa, ν bilindiği için, denklemin sağ tarafındaki sıcaklığı (T) hesaplamak mümkündür. Tek dalga boyunda yapılan parlaklık ölçümünden elde edilen sıcaklıklara **parlaklık sıcaklığı** denir.

Ancak, denklem 2.1 ile ifade edilen parlaklık (ışık şiddeti) üstel terim içeren karmaşık bir fonksiyondur. Bu fonksiyondan T 'yi, çekip çıkarmak biraz zahmetlidir. Kolaylık olması bakımından gözlem yapılan frekansa (veya dalga boyuna) bağlı olarak, ya Wien yaklaşımı veya Rayleigh-Jeans yaklaşımıyla kullanılması da mümkündür. $h\nu$ (veya $\frac{hc}{\lambda}$), gözlemin yapıldığı frekanstaki bir fotonun enerjisi, kT ile karşılaştırılınca $h\nu \ll kT$ ise, Rayleigh Jeans yaklaşımı, $h\nu \gg kT$ ise Wien yaklaşımı yapılır.

Wien yaklaşımında $h\nu \gg kT$ olduğu için, exponansiyel terimin değeri 1'den çok büyüktür. O halde, $e^{h\nu/kT}$ nin değeri yanında 1 ihmal edilir. Denklem Wien yaklaşımı çerçevesinde

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (2.7)$$

halini alır ki, 2.7 bağıntısında T 'yi çekmek daha kolaydır.

Öte yandan, Rayleigh Jeans yaklaşımında, $h\nu \ll kT$ olduğu için, exponansiyel terim $e^{h\nu/kT} = 1 + h\nu/kT + \dots$ şeklinde seriye açılır, seride ilk iki terim hariç, diğerleri ihmal edilebilir. Denklem 2.1'deki üstel terim yerine $1 + \frac{h\nu}{kT}$ yazılırsa, Rayleigh Jeans yaklaşımı çerçevesinde, denklem 2.1,

$$B_\nu(T) = \frac{2\nu^2 kT}{c^2} \quad (2.8)$$

şeklini alır. 2.8 denkleminde T 'yi çekmek çok daha kolaydır. Radyo dalga boylarındaki gözlemlerde, gözlem yapılan dalga boyları optik gözlemlerdeki dalga boylarına göre çok büyük olduğu için, genellikle, radyo astronomlar ve bazı durumlarda, kızıl ötesinde gözlem yapan araştırmacılar, Rayleigh-Jeans yaklaşımının avantajından faydalanabilirler. Buna karşılık, X-ışını veya γ -ışını gözlemleri kullananlar Wien yaklaşımının avantajından faydalanabilir. Bu yüzden $h\nu \sim kT$ olan görünen bölge astronomları parlaklık sıcaklığını hesaplarırken, herhangi bir yaklaşım yapmadan denklem 2.1'i olduğu gibi kullanmalıdırlar.

2.1.3.4. Uyarılma Sıcaklığı

Sıcaklığı T olan, termodinamik dengenin sağladığı bir radyasyon alanında, ideal gaz formunda, N (sayılamayacak kadar çok büyük) sayıda A atomu var ise, bu atomların sınırlı sayıdaki, E_1, E_2, \dots, E_n , enerji düzeylerinin her birinde kaç tane A atomu olduğu, yani $n_1+n_2+\dots+n_n = N$ şeklinde dağılımı, Boltzmann dağılımıyla belirlenir. Boltzmann dağılımı

$$\frac{n_{üst}}{n_{alt}} = \frac{g_{üst}}{g_{alt}} e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \quad (2.9)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu bağıntı, enerji düzeyleri arasında, her hangi iki düzeyde bulunan atomların sayılarının oranını belirler. Burada $\Delta E = E_{üst} - E_{alt} = h\nu$ düzeyler arasındaki enerji farkıdır. $h\nu$ söz konusu düzeyler arası geçişi temsil eden fotonun enerjisi demektir. $g_{üst}$ veya g_{alt} , alt veya üst düzeydeki istatistiksel ağırlıktır ve kuantum mekaniğince bellidir.

Termodinamik denge halinde, her bir düzeydeki atom sayısı yani n_1, n_2, \dots, n_n sayıları düzeyler arasında sürekli geçişler olduğu halde, sabittir. Yani, her hangi bir düzeyde, birim zamanda diğer düzeylerden gelen atom sayısı, bu düzeyden diğer düzeylere birim zamanda sıçrayan atom sayısına eşittir. Böylece n_1, n_2, \dots, n_n sayıları değişmeden sabit kalır.

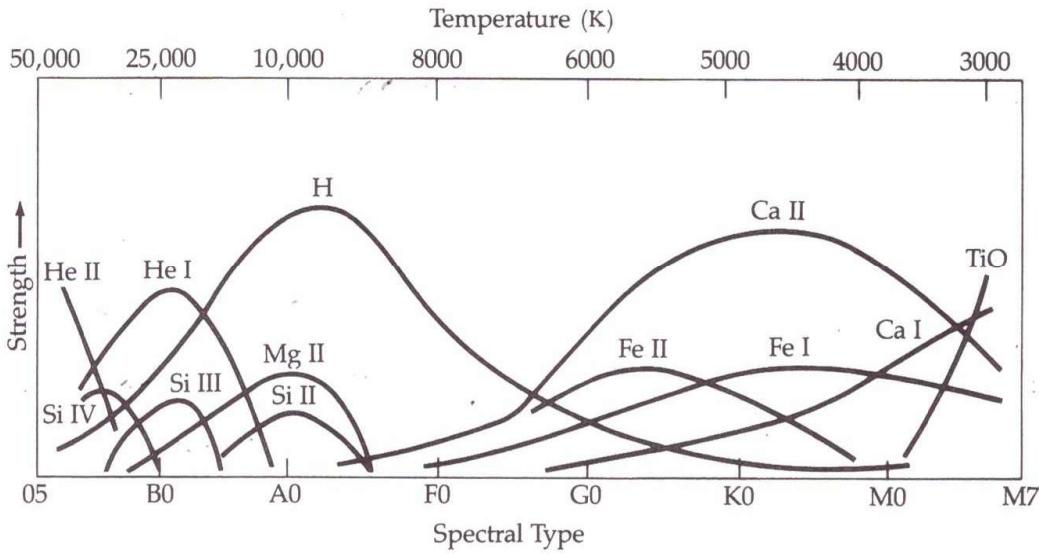
Her bir geçiş, yıldız tayfında bir tayf çizgisine karşılık geldiği için, gözlenen tayfta A atomun çizgileri gözlenir. Düzeyler arası geçiş olasılıkları ve düzeylerdeki atom sayıları (n_1, n_2, \dots, n_n) tayflardaki çizgi şiddetlerini belirler.

Termodinamik denge halinde ortamın sıcaklığı, ortam içindeki atomların enerji düzeylerinde kaç tane atom olacağını, düzeydeki atom sayıları (n_1, n_2, \dots, n_n) da, geçiş olasılıkları ile birlikte, tayftaki A atomunun çizgi şiddetlerini belirlemiştir.

Şimdi, duruma tersten bakıyoruz. Aldığımız yıldız tayflarından, tayf çizgilerinin oluştuğu ortamın (atmosferin) sıcaklığı belirlenebilir mi? Evet. Çünkü tayf çizgilerinin analizinden, her hangi iki düzey arasındaki $n_{üst}/n_{alt}$ oranı belirlenebilir. Çizgi oluşumuna katkı veren iki düzey arasındaki enerji farkı (ΔE), çizginin, dalga boyu (veya frekans) ile bellidir. $g_{üst}$ ve g_{alt} istatistik ağırlıklarının da bilinmesiyle, 2.9 denkleminde tek

bilinmeyen kT dir. k Boltzmann sabitinin değeri de belli olduğu için, söz konusu çizginin olduğu yerdeki sıcaklık T , hesaplanmış olur. Bu şekilde tayf çizgileri ve Boltzmann denkleminin kullanılmasıyla elde edilen sıcaklıklara, **uyartılma sıcaklığı** denir.

Zeilik vd'den (1992b) alınmış Şekil 2.3, uyartılma sıcaklıklarının farklı tayf türündeki yıldızlarda nasıl değiştiğini gösterir. Örneğin, Hidrojen Balmer çizgilerinin şiddeti (şekilde H), M0 türünde ön tayf türüne doğru gidildikçe artar. Çünkü M0'dan ön tayf türlerine doğru atmosfer sıcaklıkları artmaktadır. Artan sıcaklık, nedeniyle H atomlarının üst düzeylerindeki (2 ve daha üstü) sayıları da artar. İkinci ve daha üst düzeydeki sayıların artması, H çizgilerinin şiddetlenmesine neden olur. Ancak, H çizgileri A0 tayf türünde ($T \sim 10\,000$ K) maksimuma ulaşmıştır. A0'dan sonra O türüne doğru H çizgilerinin şiddeti azalmaya başlar. Daha sıcak olduğu halde, bu azalmanın sebebi nedir? Azalmaya sebep olan, A0'dan itibaren daha sıcak yıldızlarda iyonlaşmanın başlaması ve sıcaklığın artmasıyla, iyonlaşmanın da artmasıdır. Sıcaklık ile iki ve daha üstü düzeylerde sayının artması devam etmesine rağmen (Boltzmann yasası), iyonlaşmayla iki ve daha üstü düzeylerde gerçek anlamda atom sayısı azalır. Bu azalma, H çizgilerinin şiddetlerinin azalması olarak yıldız tayflarında gözlenir.



Şekil 2.3. Uyartılma ve iyonlaşma sıcaklıklarının sıcaklık (tayf türü) dağılımı

2.1.3.5. İyonlaşma Sıcaklığı

Tayftan elde edilen diğer bir sıcaklık da iyonlaşma sıcaklığıdır. İyonlaşma sıcaklığı Saha iyonlaşma denklemiyle elde edilen sıcaklıktır. Saha iyonlaşma denklemi;

$$n_e \frac{N_{m+1}}{N_m} = 2 \frac{Z_{m+1}}{Z_m} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^3} \right)^{3/2} e^{-\frac{\chi_m}{kT}} \quad (2.10)$$

ile ifade edilir. Buradaki N_m ve N_{m+1} iyonlaşma dereceleridir. Element bir elektronunu kaybederse, bir derece iyonlaşmış demektir. m derece iyonlaşmış element m elektronunu kaybetmiş elementtir. 2.10 denklemi m ve $m+1$ derece elektronlarını kaybetmiş her hangi bir elementin temel düzeydeki (en alt düzey) popülasyonlarının (atom sayılarının) oranını vermektedir. N_m , m defa iyonlaşmış A atomunun en alt düzeyinde olan Atom sayısı, N_{m+1} , $m+1$ defa iyonlaşmış A atomunu en alt düzeyindeki sayısıdır. n_e , elektron yoğunluğudur. Sağ tarafta Z_m ve Z_{m+1} , sırasıyla m ve $m+1$ defa iyonlaşan A atomu için katılım fonksiyonunun değerleridir. m_e bir elektron kütlesi, h Planck sabiti, k Boltzmann sabitidir. χ_m iyonlaşma potansiyeli olarak bilinir ve m defa iyonlaşmış A atomunu temel düzeyinde, $m+1$ defa iyonlaşmış A atomunun temel düzeyi arasındaki enerji farkıdır. Yani $\chi_m = E_{m+1} - E_m$ 'dir.

Uyartılma sıcaklığının ölçülmesindeki aynı temel prensip iyonlaşma sıcaklığı için de geçerlidir. Eğer yıldız tayflarının analizinden N_{m+1}/N_m oranı elde edilebiliyorsa, n_e ve Z_m , Z_{m+1} katılım fonksiyonlarının bilinmesiyle (χ_m zaten bilinir, iyonlaşma potansiyellerinin listesi vardır), kT ve T hesaplanır.

Saha denklemini (denklem 2.10) kullanarak, gözlenen tayftaki iyonlaşmış çizgilerden hesaplanan sıcaklıklara **iyonlaşma sıcaklığı** denir. İyonlaşma sıcaklığı belirlemenin, şöyle pratik yolu da olabilir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, bazı elementlerin iyonlaşmış çizgileri, belli sıcaklık aralığında ortaya çıkar. Örneğin, Si III çizgileri B0 tayf türündeki yıldızlarda görülür. Görüldüğü sıcaklık aralığı 25 000 K civarındadır. Bir gözlemci, gözlediği tayfta, Si III çizgisi gördüğü takdirde, bu yıldızın B0 yıldızı olduğunu, atmosfer sıcaklığının 25 000 K civarında olduğunu hesap yapmadan, Şekil 2.3 vasıtasıyla bilir. Ama daha detaylı hesap için, Saha denklemini (denklem 2.10) çözmek zorundadır.

2.1.3.6. Etkin Sıcaklık (T_{eff})

Bir yıldız için etkin sıcaklık, yıldızın tüm dalga boylarında, birim zamanda, tüm uzaya yaydığı toplam radyasyon enerjisine, yani ışınım gücüne (L) bağlı olarak tarif edilen sıcaklıktır. R yarıçapındaki bu yıldız, aynı yarıçapta (R) , aynı ışınım gücü (L) yayan bir kara cisim ile eşdeğer kabul edilmesi durumunda, kara cismin sıcaklığı yıldızın **etkin sıcaklığıdır** denir.

Sıcaklığı belli olan bir kara cisimden yayılan radyasyon enerjisinin, dalga boyu (veya frekans) dağılımı (Şekil 2.1) belli olduğu gibi, tüm dalga boylarında, tüm uzaya birim zamanda tüm yüzeyinden yaydığı enerji (ışınım gücü) de bellidir. T sıcaklığındaki kara cismin, birim yüzeyden, birim katı açı içine, birim zamanda, birim frekans

aralığında yaydığı enerjinin frekans dağılımı ışık şiddeti $B_\nu(T)$ denklem 2.1 ile verilmektedir. $B_\nu(T)$ 'nin tüm frekanslarda integralinin alınmasıyla

$$\int_0^\infty B_\nu(T) d\nu = \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (2.11)$$

elde edilir. Yani kara cismin tüm frekanslarda (veya dalga boylarında) yaydığı ışınım, kara cismin sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle orantılıdır. 2.11 denklemindeki $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$, Stefan-Boltzmann sabitidir. İntegre edilen ışık şiddeti olduğu için $\sigma T^4/\pi$ elde edilmiştir. Bu ışık şiddeti yarım uzayda integre edilirse, sıcaklığı T olan kara cismin birim yüzeyinden, yarım uzaya yayılan tüm dalga boylarındaki enerji, yani kara cismin akısı (σT^4) elde edilir.

σT^4 , sıcaklığı T olan bir kara cismin birim yüzeyinden, yarım uzaya (diğer yarısı kara cismin içine doğrudur, bu yüzden hesaba katılmaz) yaydığı enerji, yani kara cisim akısı ise, yarıçapı R olan, kara cisimden, tüm uzaya yayılan enerji miktarı (ışınım gücü)

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (2.12)$$

olur.

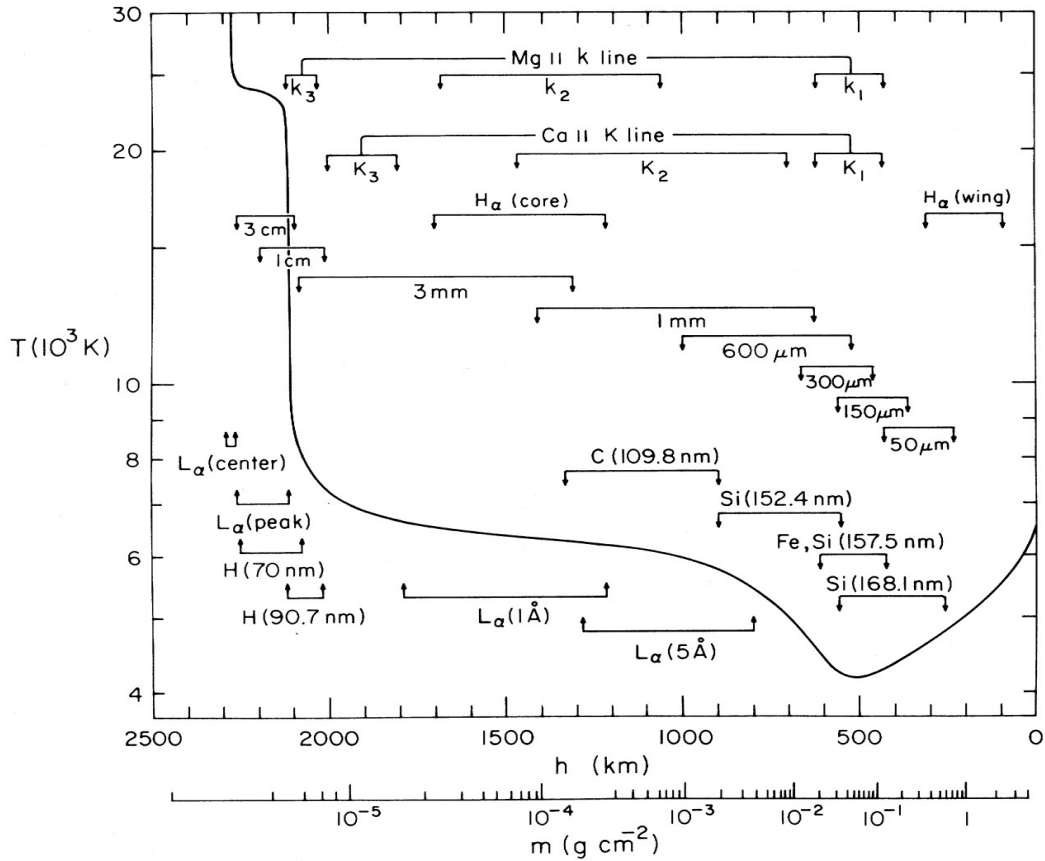
Bu denklem aynı zamanda Stefan-Boltzmann yasası olarak bilinmektedir. Denklem 2.12'de L yıldızın ışınım gücünü, R ise yıldızın yarıçapını ifade etmektedir. Böylece, ışınım gücü yıldızın tüm yüzeyinden tüm uzaya birim zamanda tüm dalga boylarında kaçan radyasyon enerjisini (ışıma gücünü) ifade eder. Bu sayede yıldız yüzeyinden birim zamanda tüm dalga boylarında kaçan enerjiyi temsil eden tek bir sıcaklık (*etkin sıcaklık*- T_{eff}) tarif edilmektedir.

Bu sebeple etkin sıcaklık (T_{eff}) bir yıldız kara cisim ile bağdaştıran bir sıcaklıktır. Yıldızın tüm dalga boylarında birim zamandaki ışınımına eşit miktarda ışınım yayan kara cismin sıcaklığı yıldız için etkin sıcaklık olarak tarif edilmiştir.

2.1.4. Yıldız Temsil Eden En Uygun Sıcaklık Etkin sıcaklıktır, Neden?

Şimdiye kadar sözü edilen kinetik, renk, parlaklık, uyarılma ve iyonlaşma sıcaklıkları aynı yıldız için birbirinden farklı olabilir. Etkin sıcaklık da dâhil bütün bu sıcaklıkların birbirine eşit olması termodinamik denge durumunda mümkündür. Ayrıca farklı gözlem yöntemleriyle ölçülen yıldız sıcaklıklarının etkin sıcaklıkla aynı olması, gözlem ve hesaplarda kullanılan kalibrasyonların doğru olmasına da bağlıdır.

Yukarda tanımlanan sıcaklıkların neden farklı olabileceğini, bir yıldızın atmosfer modelinin üstünden anlatacak olursak, buna en iyi örnek Güneş atmosfer modelidir. Vernazza vd'den (1981) alınmış standart Güneş atmosfer modelinin Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4. Güneş atmosferinde oluşan çizgilerin derinlikleri ve kinetik sıcaklığın atmosfer içinde değişimi

Şekil 2.4'teki diyagram Güneş atmosferinde bazı tayf çizgilerinin nerede oluştuğunu göstermektedir. Yatay ekseninde, Güneş atmosferinin (fotosfer) tabanından başlayarak, yukarı doğru ve dikey ekseninde Kelvin biriminin 1000 katı olarak ifade edilmiştir. Fotosferin tabanında, Güneş'in daha sıcak ve daha büyük basınç altındaki katmanlarında üretilen kara cisim tayfı (sürekli tayf) Güneş atmosferine girer. Fotosferden yukarı doğru yükseldikçe fotosferin sıcaklığı düşmektedir. Sıcaklığın minimum olduğu 500 km yükseklikte, fotosfer biter. Fotosferden sonra kromosfer başlar. Şekle göre kromosferin sıcaklığı ~7000 K civarındadır. Fotosferde ve kromosferde oluşan çizgilerin oluşum yükseklikleri belirtilmiştir. Örneğin H_{α} çizgisinin merkezi kromosferde oluşurken, çizgi kanatları (wings) fotosferde oluşmaktadır. Fotosferden sonra ~25 000 K de geçiş bölgesi vardır. Geçiş bölgesinden sonra, korona içlerine doğru, kinetik sıcaklıklar artmaktadır. Kısaca, kinetik sıcaklık bölgesel bir sıcaklıktır. Belli derinlikteki atmosfer şartlarına bağlıdır.

Renk sıcaklığının iki farklı şekilde belirlendiğini hatırlayalım. Ya Wien yasası gereği $\lambda_{i\text{epe}}$ 'nin gözlenmesi ya da iki farklı dalga boyunda gözlem gereklidir. Şekil 2.4'den de görüldüğü gibi Güneş'in belirgin yüzeyi yoktur. Gözlem yapılan dalga boyuna (veya frekansa) ve o dalga boyundaki soğurma katsayısının değerine göre, atmosferin belli derinliklerinden gelen fotonlar görülebilir. İster $\lambda_{i\text{epe}}$, isterse önceden belirlenmiş iki farklı dalga boyunu temsil eden iki farklı filtrede gözlem yapılsın, gözlem dalga boyu ve bu dalga boyundaki soğurma katsayısıyla yıldız atmosferini

tamamıyla temsil eden bir sıcaklık değil, daha çok, fotonların ağırlıklı olarak geldiği derinliği temsil eden sıcaklıklarla belirlenecektir. Uyartma ve iyonlaşma sıcaklıkları da, uyarılmanın (çizgi oluşumu) ve iyonlaşmanın gerçekleştikleri sıcaklıklardan haber verir.

Bu sebeple farklı yöntemlerle belirlenen yıldız sıcaklıklarının birbirine benzememesi doğaldır. Oysa etkin sıcaklığın tanımına bakılacak olursa yıldızın tüm yüzeyinden tüm dalga boylarındaki radyasyonu temsil etmesi bakımından yıldızı en iyi temsil eden sıcaklık etkin sıcaklıktır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

Klasik yöntem ile kütlesi ve yarıçapı bilinen anakol yıldızlarının Stefan-Boltzmann yasası çerçevesinde yarı-empirik etkin sıcaklık hesabında metal bolluğunun etkisinin araştırılmasını hedefleyen bu tez çalışması için gerekli olan temel malzeme fiziksel parametreleri ve metal bollukları yeterince duyarlı ölçülmüş anakol yıldızlarıdır. Gözlemler ile belirlenebilen en duyarlı yıldız parametreleri ayrıık örten çift çizgili (SB2) tayfsal çift yıldızların gözlemlerinden gelmektedir (Andersen 1991, Torres vd 2010, Eker vd 2014). En güncel ayrıık örten SB2 tayfsal çift yıldızlar katalogu Eker vd (2014) tarafından yayınlanmıştır. Bu katalogta 257 çift sistem, yani 514 yıldızın kütlesi (M), yarıçapı (R), gözlenen etkin sıcaklığı (T), ışınım gücü ($\log L$), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve her bir sistem için yörünge yarı büyük eksen (a) yayınlanmıştır. Makalede görünmeyen, elektronik olarak yayınlanmış tablodaki veriler daha zengindir. Tayf türünden, paralaks ölçümüne, yörünge parametrelerinden dönme (rotasyon) ölçümlerine kadar, yıldızların metal bolluğu ölçümleri hariç, bir çift yıldız sisteminde ölçülebilecek 60 değişik parametreyi bu katalogta bulmak mümkündür.

Bileşen yıldızların metal bolluğu ölçümleri bu kataloga eklenmemiştir. Çünkü, yazarların ifadesine göre, metal bolluğu duyarlı ölçülmüş ayrıık örten SB2 tayfsal çift yıldız sayısı çok azdır. Örneğin, Southworth (2015) tarafından yayınlanan DEBCat¹ katalogunda mevcut 176 çift sistem arasından, sadece 66 tanesinin metal bolluğu mevcuttur. Bunlarında çoğu gerçek ölçüm değil, varsayımlardan ibarettir. Ölçümü mevcut olanların da duyarlılığı küçüktür. Gerçekten, çift yıldız gözlemlerinde metal bolluğu ölçümleri sınırlı sayıdadır. Örneğin, anakol yıldızlarında metal bolluğu ve yaş parametrelerinin kütle-parlaklık (MLR) bağıntısına etkisini araştıran Gafeira, Patacas ve Fernandes (2012) tarafından literatürden toplanan güvenilir metalisite ölçümüne sahip sadece 13 tane çift yıldız sistemi kullanılmıştır.

3.1.1. Metalisite verisi eklenerek temel katalogun güncellenmesi

Eker vd'nin (2014) yayınladığı katalog verileri 02 Ocak 2013 tarihinden önce literatürde yayınlanan makalelerden toplandığı metin içinde belirtilmektedir. Yine, literatür taramasıyla, söz konusu katalogun güncellenmesi, eksik metal bolluğu bilgisinin kataloga eklenmesi, bu tezi destekleyen 114R072 nolu TÜBİTAK projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Katalogun güncellenmesi iki adımda gerçekleştirilmiştir.

1) Katalogdaki tek tek yıldızlara gidilerek, yıldız hakkında yeni yayın ve bu yayında güncellenmesi gereken bilgi varsa güncellenmesi, metal bolluğu verisi aranması varsa kataloga eklenmesi.

2) Katalogda adı geçmeyen, yeni ayrıık örten SB2 tayfsal çift yıldızların 2 Ocak 2013 tarihinden sonra yayınlanmış makaleler arasında aranması, varsa ve Eker vd

¹ <http://www.astro.keele.ac.uk/jkt/debcats/>

(2014) kriterlerine uyuyorsa, metal bolluğu verisi dâhil diğer parametreleri ile ilgili bu yeni yıldız hakkındaki diğer yayınlara gidip katalog bilgilerinin tamamlanması.

Bu iş paketleri 114R072 nolu proje bursiyerleri (Mehmet Alpsoy ile Gürkan Aslan, Akdeniz Üniversitesi, yüksek lisans ve Fahri Aliçavuş, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, doktora) arasında iş bölümü yapılarak gerçekleştirilmiştir ve 2 Ocak 2017 tarihine kadar ana katalog güncellenmiştir. Bu güncelleme işlemlerinde, 67 tane yeni yıldız sistemi kataloga ilave edilmesiyle, katalogdaki çift yıldız sayımı 257'den 324'e yükselmiştir. Ayrıca, katalogda mevcut 32 tane çift yıldızın verileri, yeni yayınlanmış veriler ile değiştirilmiş ve güncellenmiştir. Geri kalan 225 çift yıldızın literatür verileri ise kontrol edilmiş ve metal bolluğu verisinin literatürde olup olmadığı araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasını doğrudan ilgilendiren konu, yıldız tayflarından ölçülmüş $[Fe/H]$ metal bolluğu değerleridir. Güvenilir $[Fe/H]$ metal bolluğu verisi bulunan 37 ayrıık örten SB2 tayfsal çift yıldız bulunmuştur.

Eker vd'nin (2014) katalogunda listelenen çift yıldızlar, henüz kütle aktarım aşamasına gelmemiş ayrıık sistemlerdir. Ayrıık çift yıldız tanımı gereği, her bir bileşen, aynı yıldızlararası buluttan oluştuğu için aynı kimyasal kompozisyona sahiptir ve henüz kütle aktarım aşamasına gelmedikleri için, her bir bileşen bağımsız evrimleşmiş bileşen olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden $[Fe/H]$ metal bolluğu ölçümü yapılmış yıldızlar listesinde 37 olarak değil 74 yıldız olarak Çizelge 3.1'de Güneş kütlesi biriminde küçükten büyüğe doğru sıralanmış şekilde verilmiştir.

Bu liste bu tez çalışması için seçilmiş yıldızların ilk listesini (ham örnek) oluşturmaktadır. Bu listeden anakol dışı yıldızların ayıklanmasıyla temel liste (örnek) daha sonra oluşturulacaktır.

Çizelge 3.1. Kimyasal kompozisyon verisi mevcut olan ayrıklıktan çift çizgili tayfsal çift yıldız üyesi yıldızların temel astrofizik parametreleri

Sıra	Kat.no	Yıldız Adı	Bileşen	Kütle (M_{\odot})	Yarıçap (R_{\odot})	Sıcaklık (K)	Kaynak	[Fe/H]	Z	Kaynak	Açıklama
1	188	V568 Lyr	Yoldaş	0.8292 ±0.0026	0.7997 ±0.0015	4734 ±80	2	0.26 ±0.06	0.0264	3	
2	126	V636 Cen	Yoldaş	0.854 ±0.003	0.835 ±0.004	5000 ±100	1	-0.20 ±0.08	0.0098	4	
3		V375 Cep	Yoldaş	0.871 ±0.008	0.897 ±0.003	5151 ±50	5	0.09 ±0.02	0.0185	5	
4	187	V565 Lyr	Yoldaş	0.929 ±0.003	0.971 ±0.009	5430 ±125	1	0.31 ±0.06	0.0293	3	
5	245	EF Aqr	Yoldaş	0.946 ±0.006	0.956 ±0.012	5185 ±110	1	0.00	0.0152	6	
6	187	V565 Lyr	Baş	0.995 ±0.003	1.101 ±0.007	5600 ±95	1	0.31 ±0.06	0.0293	3	
7	126	V636 Cen	Baş	1.052 ±0.005	1.024 ±0.004	5900 ±85	1	-0.20 ±0.08	0.0098	4	
8	5	NGC188 KR V12	Yoldaş	1.080 ±0.007	1.374 ±0.019	5875 ±100	1	-0.14	0.0112	7	
9	188	V568 Lyr	Baş	1.0886 ±0.0031	1.4203 ±0.0058	5645 ±95	2	0.26 ±0.06	0.0264	3	*
10	5	NGC188 KR V12	Baş	1.102 ±0.007	1.425 ±0.019	5900 ±100	1	-0.14	0.0112	7	
11	89	VZ Hya	Yoldaş	1.146 ±0.006	1.113 ±0.007	6290 ±150	1	-0.20	0.0098	8	
12	128	AD Boo	Yoldaş	1.209 ±0.006	1.218 ±0.01	6145 ±120	1	0.10 ±0.15	0.0189	8	
13	149	WZ Oph	Yoldaş	1.220 ±0.006	1.419 ±0.012	6115 ±100	1	-0.27 ±0.07	0.0084	8	
14	149	WZ Oph	Baş	1.227 ±0.007	1.401 ±0.012	6165 ±100	1	-0.27 ±0.07	0.0084	8	
15	245	EF Aqr	Baş	1.244 ±0.008	1.338 ±0.012	6150 ±65	1	0.00	0.0152	6	
16	19	V505 Per	Yoldaş	1.254 ±0.001	1.267 ±0.014	6462 ±12	1	-0.12	0.0117	9	
17	255	BK Peg	Yoldaş	1.257 ±0.005	1.472 ±0.017	6320 ±30	1	-0.12 ±0.07	0.0117	10	
18		V342 And B	Baş	1.270 ±0.01	1.210 ±0.01	6395 ±30	11	-0.10	0.0122	11	
19	89	VZ Hya	Baş	1.271 ±0.009	1.315 ±0.005	6645 ±150	1	-0.20	0.0098	8	
20	19	V505 Per	Baş	1.272 ±0.001	1.288 ±0.014	6512 ±21	1	-0.12	0.0117	9	
21		V2653 Oph	Yoldaş	1.273 ±0.019	2.000 ±0.056	6350 ±650	12	-0.11 ±0.08	0.0119	12	*
22		V342 And B	Yoldaş	1.280 ±0.01	1.250 ±0.01	6200 ±30	11	-0.10	0.0122	11	
23		V375 Cep	Baş	1.288 ±0.017	1.623 ±0.006	6230 ±50	5	0.09 ±0.02	0.0185	5	
24		CoRoT 105906206	Yoldaş	1.290 ±0.03	1.340 ±0.01	6152 ±162	13	0.00	0.0152	13	
25	34	V1130 Tau	Baş	1.306 ±0.008	1.490 ±0.01	6650 ±70	1	-0.25	0.0088	14	
26	4	YZ Cas	Yoldaş	1.325 ±0.007	1.331 ±0.006	6880 ±240	15	0.50	0.0429	15	
27	26	V570 Per	Yoldaş	1.328 ±0.006	1.354 ±0.11	6580 ±70	1	0.02	0.0159	16	
28		V421 Peg	Yoldaş	1.356 ±0.029	1.328 ±0.029	6980 ±120	17	-0.11 ±0.08	0.0119	17	
29	47	CD Tau	Yoldaş	1.366 ±0.016	1.584 ±0.02	6200 ±50	1	0.08	0.0181	18	
30		NGC 7142 V2	Baş	1.377 ±0.009	1.616 ±0.005	6238 ±52	5	-0.03 ±0.06	0.0142	5	

Çizelge 3.1'in devamı

Sıra	Kat. no	Yıldız Adı	Bileşen	Kütle (M_{\odot})	Yarıçap (R_{\odot})	Sıcaklık (K)	Kaynak	[Fe/H]	Z	Kaynak	Açıklama
31		NGC 7142 V2	Yoldaş	1.377 ±0.009	1.613 ±0.005	6276 ±63	5	-0.03 ±0.06	0.0142	5	
32	34	V1130 Tau	Yoldaş	1.392 ±0.008	1.784 ±0.011	6625 ±70	1	-0.25	0.0088	14	
34	255	BK Peg	Baş	1.414 ±0.007	1.985 ±0.008	6265 ±85	1	-0.12 ±0.07	0.0117	10	
33	128	AD Boo	Baş	1.414 ±0.009	1.614 ±0.014	6575 ±120	1	0.10 ±0.15	0.0189	8	
35		KIC 9777062	Yoldaş	1.419 ±0.011	1.544 ±0.004	7106 ±255	19	0.46 ±0.13	0.0396	19	
36	26	V570 Per	Baş	1.425 ±0.006	1.494 ±0.11	6842 ±25	1	0.02	0.0159	16	
37	47	CD Tau	Baş	1.441 ±0.016	1.798 ±0.017	6200 ±50	1	0.08	0.0181	18	
38		V501 Mon	Yoldaş	1.4588 ±0.0025	1.592 ±0.028	7000 ±90	20	0.01 ±0.06	0.0155	20	
39	67	GX Gem	Yoldaş	1.467 ±0.01	2.244 ±0.012	6166 ±100	1	-0.12 ±0.10	0.0117	21	
40	67	GX Gem	Baş	1.488 ±0.011	2.334 ±0.012	6194 ±100	1	-0.12 ±0.10	0.0117	21	
41		HD 187669	Baş	1.504 ±0.004	11.330 ±0.280	4650 ±80	34	-0.25 ±0.10	0.0088	34	x
42		HD 187669	Yoldaş	1.505 ±0.004	22.620 ±0.500	4330 ±70	34	-0.25 ±0.10	0.0088	34	x
43		VV Crv	Yoldaş	1.513 ±0.008	1.650 ±0.008	6638 ±200	22	0.00	0.0152	22	
44	63	RR Lyn	Yoldaş	1.517 ±0.004	1.582 ±0.03	6980 ±100	1	0.31 ±0.08	0.0293	23	
45		V2653 Oph	Baş	1.537 ±0.021	2.215 ±0.055	6950 ±480	12	-0.11 ±0.08	0.0119	12	
46	123	ZZ Boo	Yoldaş	1.568 ±0.01	2.164 ±0.07	6930 ±20	1	-0.10 ±0.08	0.0122	24	
47		V421 Peg	Baş	1.594 ±0.029	1.584 ±0.028	7250 ±80	17	-0.11 ±0.08	0.0119	17	
48		KIC 9777062	Baş	1.603 ±0.022	1.744 ±0.006	7700 ±250	19	0.46 ±0.13	0.0396	19	
49		KIC 4544587	Yoldaş	1.610 ±0.06	1.580 ±0.03	7750 ±180	25	0.00	0.0152	25	
50	22	XY Cet	Yoldaş	1.615 ±0.014	1.776 ±0.029	7620 ±125	1	0.50	0.0429	26	
51	123	ZZ Boo	Baş	1.616 ±0.01	2.164 ±0.07	6860 ±20	1	-0.10 ±0.08	0.0122	24	
52		V501 Mon	Baş	1.6455 ±0.0043	1.888 ±0.029	7510 ±100	20	0.01 ±0.06	0.0155	20	
53	72	HW Cma	Baş	1.719 ±0.011	1.649 ±0.018	7560 ±150	1	0.33 ±0.10	0.0305	27	
54		KIC 9851944	Baş	1.760 ±0.07	2.270 ±0.03	7026 ±100	28	-0.06 ±0.05	0.0133	28	
55	91	RS Cha	Yoldaş	1.764 ±0.012	2.360 ±0.06	7228 ±72	29, 30	0.17 ±0.01	0.0219	29	
56	229	OO Peg	Yoldaş	1.770 ±0.02	1.960 ±0.01	7600 ±450	31	-0.10 ±0.01	0.0122	31	
57	22	XY Cet	Baş	1.773 ±0.016	1.876 ±0.035	7870 ±115	1	0.50	0.0429	26	
58	72	HW Cma	Yoldaş	1.779 ±0.012	1.668 ±0.021	7700 ±150	1	0.33 ±0.10	0.0305	27	
59		KIC 9851944	Yoldaş	1.790 ±0.07	3.190 ±0.04	6902 ±100	28	-0.06 ±0.05	0.0133	28	
60	229	OO Peg	Baş	1.820 ±0.02	2.210 ±0.01	7850 ±350	31	-0.10 ±0.01	0.0122	31	
61	91	RS Cha	Baş	1.823 ±0.012	2.150 ±0.06	7638 ±76	29, 30	0.17 ±0.01	0.0219	29	
62	170	HD 172189	Yoldaş	1.869 ±0.14	2.969 ±0.07	7608 ±15	1	-0.28	0.0082	31	
63	63	RR Lyn	Baş	1.931 ±0.008	2.557 ±0.02	7570 ±100	1	0.31 ±0.08	0.0293	23	
64		VV Crv	Baş	1.978 ±0.01	3.375 ±0.01	6500 ±200	22	0.00	0.0152	22	
65		KIC 4544587	Baş	1.980 ±0.07	1.820 ±0.03	8600 ±100	25	0.00	0.0152	25	

Çizelge 3.1'in devamı

Sıra	Kat. no	Yıldız Adı	Bileşen	Kütle (M_{\odot})	Yarıçap (R_{\odot})	Sıcaklık (K)	Kaynak	[Fe/H]	Z	Kaynak	Açıklama
66	170	HD 172189	Baş	2.060 ±0.15	4.017 ±0.094	7920 ±15	1	-0.28	0.0082	31	*
67	71	SW CMa	Yoldaş	2.105 ±0.018	2.496 ±0.042	8100 ±150	1	0.49 ±0.15	0.0420	27	
68	71	SW CMa	Baş	2.240 ±0.014	3.015 ±0.02	8200 ±150	1	0.49 ±0.15	0.0420	27	
69		CoRoT 105906206	Baş	2.250 ±0.04	4.240 ±0.02	6750 ±150	13	0.00	0.0152	13	
70	4	YZ Cas	Baş	2.263 ±0.012	2.525 ±0.011	9520 ±120	15	0.50	0.0429	15	
71	62	IM Mon	Yoldaş	3.338 ±0.161	2.361 ±0.03	14500 ±550	1	0.20 ±0.15	0.0233	32	
72	2	MU Cas	Yoldaş	4.575 ±0.09	3.671 ±0.04	15100 ±500	1	-0.22	0.0094	33	
73	2	MU Cas	Baş	4.657 ±0.1	4.192 ±0.05	14750 ±500	1	-0.22	0.0094	33	
74	62	IM Mon	Baş	5.506 ±0.24	3.151 ±0.04	17500 ±350	1	0.20 ±0.15	0.0233	32	

*: Kaynaklar: 1) Eker vd. (2014); 2) Yakut vd. (2015); 3) Brogaard vd. (2011); 4) Clausen vd. (2009); 5) Sandquist vd. (2013); 6) Vos vd. (2012); 7) Meibom vd. (2009); 8) Clausen vd. (2008); 9) Tomasella vd. (2008a); 10) Clausen vd. (2010b); 11) Dimitrov vd. (2015); 12) Çakırlı ve İbanoğlu (2016); 13) Da Silva vd. (2014); 14) Clausen vd. (2010a); 15) Pavlovski vd. (2014); 16) Tomasella vd. (2008b); 17) Özdarcan vd. (2016); 18) Ribas vd. (1999); 19) Sandquist vd. (2016); 20) Torres vd. (2015); 21) Lacy vd. (2008); 22) Fekel vd. (2013); 23) Khaliullin vd. (2001); 24) Kang vd. (2012); 25) Hambleton vd. (2013); 26) Southworth vd. (2011); 27) Torres vd. (2012); 28) Guo vd. (2016); 29) Alecian vd. (2005); 30) Woollands vd. (2013); 31) Çakırlı (2015); 32) Bakış vd. (2011); 33) Bach vd. (2015); 34) Helminiak vd (2015).

Çizelge 3.1'deki sütunlar sırasıyla, sıra numarası, katalog numarası (257'e kadar olan numaralar ve 257'den büyük olanlar yazılmamış olup, kataloga yeni dâhil edilmiş olan yeni sistemlerdir), yıldızın adı, çift yıldız sisteminde hangi (baş/yoldaş) bileşen olduğu, kütle ve hatası, yarıçap ve hatası, yayınlanmış sıcaklığı ve hatası, kütle, yarıçap ve sıcaklık için kaynak kodu, [Fe/H] ölçüm değerleri ve hataları, [Fe/H]'nin ağır element bolluğu (Z) değerlerine dönüştürülmüş değeri, metal bolluğu verisi için kaynak kodu ve son sütunda açıklama olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1'deki sütunlar içindeki kaynak sütunlarında 1'den 34'e kadar sıralanmış numaralar; kaynakların numarayla ifade edilmiş şeklidir. Her bir numaraya karşılık gelen kaynakların kısa ifadesi, yani referansı çizelgenin sonunda ve kaynağın uzun künyesi tezin kaynaklar bölümünde verilmiştir. Çift yıldızlarda baş bileşen genellikle kütlesi büyük olandır. Bazen bu durum değişmektedir; çünkü ışık eğrisi ile ilgilenen astronomlar baş bileşeni sıcak bileşen olarak kabul ederler ve bu seçimde sıcak bileşen sistemin en büyük kütleli yıldızı olmayabilir.

3.1.1.1. [Fe/H] ifadesi ve Z dönüşümü

Yıldız iç yapı ve evrimi modellerinde X , Y ve Z sırasıyla bir gram yıldız maddesindeki hidrojen oranı X , helyum oranı Y ve diğer elementlerin topluca oranı Z olarak ifade edilir. $X+Y+Z=1$ 'dir ve bu paylaşım hacim değil, kütle paylaşımıdır. Yıldız tayflarında He çizgisi sadece O-B türü yıldızlarda gözlenir, bu yüzden çok sayıda yıldız için metal çizgilerinden metal bolluğunu belirlemek mümkündür. Metalleri temsilen Fe bolluğu referans olarak kullanılmaktadır. Kısaca [Fe/H] yazılmasına rağmen, bu yazılımın açık ifadesi

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log [\text{Fe}/\text{H}]_x - \log [\text{Fe}/\text{H}]_{\odot} \quad (3.1)$$

dir. Yani [Fe/H] ile ifade edilmek istenen, yıldız tayflarında ölçülen Fe atomlarının H atomlarına sayı oranı, Güneş demir bolluğuna oranı (Güneş tayfindan ölçülen Fe atomlarının H atomlarına sayı oranı) demektir. Bu notasyona göre Güneş benzeri demir bolluğuna sahip bir yıldızın [Fe/H] değeri sıfırdır. Güneş'ten daha çok demir elementine sahip yıldızlarda [Fe/H] > 0 dex ve Güneş'ten daha az demir elementine sahip yıldızlarda [Fe/H] < 0 dex'tir.

Fe bolluğu bir bakıma H ve He dışındaki diğer elementleri temsil etse de, yıldız iç yapı modellerinde doğrudan kullanılmaz. Bu yüzden bir yıldız için ölçülen [Fe/H] oranı Z değerlerine dönüştürülmesi gerekir. Küme yıldızlarının metal bolluğu araştırmalarında kullanılan PARSEC yıldız evrimi modelleri (Bressan vd 2012) için uyarlanmış aşağıdaki dönüşüm formülleri²

$$Z_x = 10^{[[\text{Fe}/\text{H}] + \log(\frac{Z_{\odot}}{1 - 0.2485 - 2.78 \times Z_{\odot}})]} \quad (3.2)$$

$$Z = \frac{Z_x - 0.2485 \times Z_x}{2.78 \times Z_x + 1} \quad (3.3)$$

² <https://github.com/jobovy/isodist/blob/master/isodist/Isochrone.py>

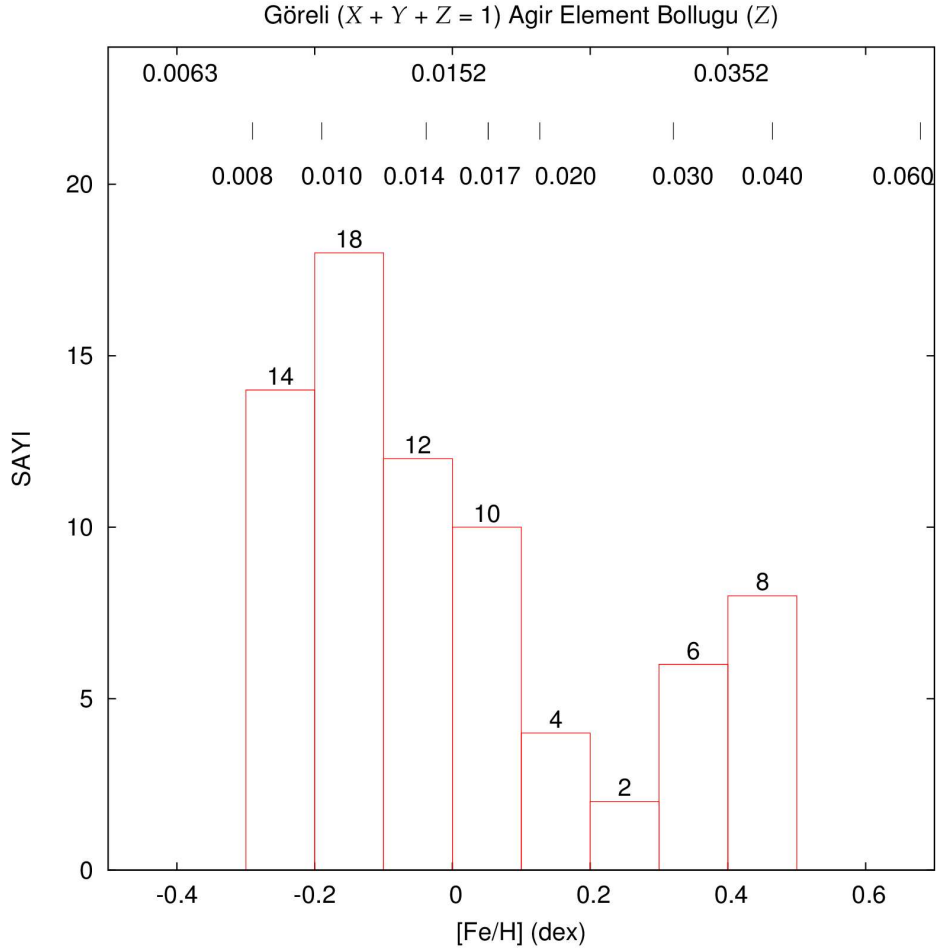
bu tez için kullanılan iç yapı ve evrim modellerine uygun olması bakımından tercih edilmiştir. Bu formüller ile $[Fe/H]$ değerinden iki adımda yıldızın ağır element bolluğunu (Z) hesaplamak mümkündür.

Birinci adım yıldız için ölçülen $[Fe/H]$ verileriyle Güneş için kabul edilen $Z=0.0152$ değerlerinden hesaplanan Z_x ara değerini verir. İkinci adım, Z değeri Z_x 'in fonksiyonu olarak hesaplar.

Çizelge 3.1'deki Z değerleri denklem 3.2 ve 3.3'teki formüller kullanılarak hesaplanmış değerlerdir.

3.1.2. Seçilmiş yıldızların (ham örnek) Z dağılımı

Bu tez çalışması için seçilmiş ham örnek içindeki yıldızların $[Fe/H]$ ve Z dağılımı histogram biçiminde Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ham örnek (Çizelge 3.1) içinde ağır element bolluğu (Z) (üst skala) ve $[Fe/H]$ (alt skala) dağılımını gösteren histogram. Her bir aralıktaki yıldız sayısı histogram üstünde belirtilmiştir. Teorik yıldız evrimi (PARSEC; Bressan vd., 2012) modellerinden tercih edilen Z 'ler üst skalanın alt tarafında düşey çizgilerle gösterilmiştir

Bu dağılım, bu tez çalışması için seçilecek teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modelleri arasında muhtemel Z aralığını ve dağılımını önceden görmek bakımından önemlidir. Şekilden de görüleceği gibi mevcut $[Fe/H]$ değerleri $-0.3 < [Fe/H] < 0.5$ dex aralığında dağılmıştır. Örnek için metal bollukları Güneş bolluğundan fakir 36 yıldız, Güneş metal bolluğuna eşit sekiz yıldız (şekilde -1 ile 0 arasındaki 12 yıldızdan) ve Güneş metal bolluğundan zengin 30 yıldız bulunmaktadır. Bu $[Fe/H]$ aralığı Z aralığı olarak, denklem 3.2 ve 3.3'teki denklemlere göre $0.0078 < Z < 0.0429$ olarak ifade edilmektedir. Bu aralık bize teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modellerinde serbest parametre olarak kütle yanında ikinci parametre olarak Z değerlerinde hangisini seçeceğimiz konusunda yardımcı olmuştur. Bu ham örnek içinden seçilecek teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modelleri kullanılarak, anakola gelmemiş veya anakol dışına evrimleşmiş yıldızların ayıklanmasıyla, tez çalışmasının temel materyali yani yıldızlar listesi (örnek) oluşturmak için ikinci adım teorik yıldız iç yapı modellerinin seçimidir.

3.1.3. Teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modellerinin seçimi

PARSEC evrim modelleri daha önceden Bressan, Chiosi ve Bertelli (1981), Girardi vd (2000), Bertelli vd (2008, 2009) tarafından kullanılan ve Bressan vd (2012) tarafından anlatıldığı şekliyle güncellenmiş teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modelleridir. Modeller ağır element bolluğu $0.0001 \leq Z < 0.07$ ve He içeriği $0.248 < Y < 0.400$ aralığında 16 farklı kimyasal kompozisyondan oluşmaktadır. Bressan vd'nin (2012) ilk yayınladığı küçük kütleli modeller 0.09 ile $12 M_{\odot}$ arasında kütleler içindir. PARSEC modellerinin kütle üst sınırı daha sonra $350 M_{\odot}$ 'e kadar çıkartılmıştır (Chen vd 2015).

Ancak, bu tez çalışması için seçilen örnek yıldızların kütle aralığı $0.8292 \leq M/M_{\odot} \leq 5.506$ (bkz çizelge 3.1) olduğundan, bu tez çalışmasında sözü edilen büyük kütleli ($M > 12 M_{\odot}$) modeller dikkate alınmamış, Chen vd (2015) makalesinde belirtilen web³ adresinden $0.09 \leq M/M_{\odot} \leq 12$ ve her bir M/M_{\odot} modeli için $0.008 \leq Z \leq 0.06$ aralığındaki modeller alınmıştır. M/M_{\odot} boyutunda 82 adet ve Z boyutunda sekiz adet modelin 82×8 adet şeklinde iki boyutlu grid tablosu oluşturulmuştur. $82 \times 8 = 656$ model adreslerinde bazı M/M_{\odot} konumları eksiktir, yani bazı Z değerlerinde 82 değil daha düşük sayıda model vardır. Bu gridin M/M_{\odot} boyutu bazı durumlarda 75'e kadar düşmektedir. Her bir M/M_{\odot} ve Z değeri bağımsız hesaplanmış bir modeli temsil edeceği için arada birkaç modelin eksik olması bu tez çalışması için problem olmamıştır.

Grid üstündeki her bir model bağımsız kütle (M/M_{\odot}) ve metal bolluğu (Z) için tek bir evrim yolunu vermektedir. PARSEC evrim modellerinde rotasyon dikkate alınmamış, protostar yani anakol öncesi evrelerden başlayıp, yıldızın anakola gelmesi, anakol evresi, anakol sonrası evresi hesaplanmış tablo halinde verilmektedir. $M/M_{\odot} > 12$ kütleli modeller için (Chen 2015), yıldız rüzgârları ile kütle kaybı hesaba katılmıştır. Bu tez çalışması için seçilen en büyük kütleli yıldızın kütlesi $5.5 M_{\odot}$ olduğu için (Bkz Çizelge 3.1) kütle kayıplı bu modeller bu tez çalışmasında kullanılmamıştır.

Proje bilgisayarına indirilen her bir model tek tek incelenmiştir. Evrim yolları çizilerek anakol başlangıcı (ZAMS) ve anakol ömrünün sonu (TAMS) zamanlara

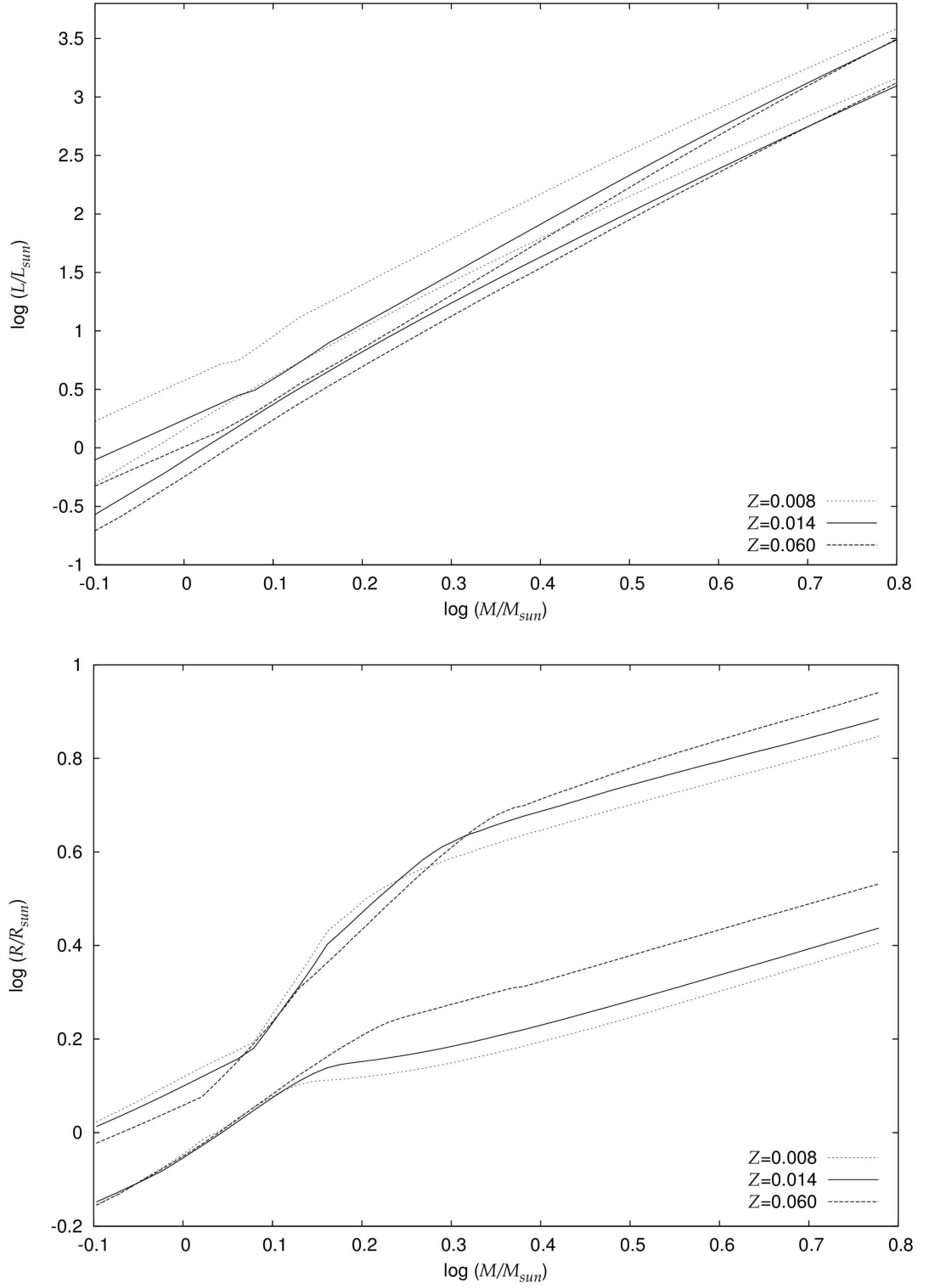
³ http://people.sissa.it/~sbressan/CAF09_V1.2S_M36_LT/

(yaşlara) karşılık gelen $\log L/L_{\odot}$, $\log R/R_{\odot}$ değerleri tespit edilmiştir. Yayınlanmış bu modeller arasında Güneş metal bolluğu $Z=0.0152$ değerini temsil eden modeller mevcut değildir. Bu yüzden halka açık olan bu modelleri kullanan kullanıcılar, $Z=0.0152$ değerine en yakın $Z=0.014$ modellerini kullanmaktadırlar. Bu tez çalışmasında da referans olması bakımından $Z=0.014$ modelleri, kütle aralığı ham örneği kapsayacak şekilde $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığındaki modeller için (50 farklı kütle değeri) tespit edilen ZAMS ve TAMS noktalarına karşılık gelen $\log L/L_{\odot}$ ve $\log R/R_{\odot}$ değerleri Çizelge 3.2'de listelenmiştir. $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığında logaritmik skalada ZAMS ve TAMS çizgileri $\log M - \log L$ ve $\log M - \log R$ diyagramı üstünde çizilmiştir (Bkz Şekil 3.2).

Çizelge 3.2. PARSEC evrim modellerine (Bressan vd 2012) göre Güneş metal bolluğu için anakol sınırları başlangıcı (ZAMS) ve sonu (TAMS). L ışınım gücü, R yarıçap, T etkin sıcaklık

$Z=0.014$						
Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff}(\text{K})^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff}(\text{K})^*$
0.8	-0.556170	-0.148217	3.696768	-0.092350	0.012963	3.732133
0.85	-0.435730	-0.125697	3.715618	-0.002200	0.035073	3.743616
0.9	-0.322240	-0.103117	3.732701	0.082620	0.056913	3.753901
0.95	-0.216810	-0.080697	3.747848	0.162850	0.078243	3.763293
1	-0.107750	-0.054117	3.761823	0.239180	0.099033	3.771981
1.05	-0.005280	-0.028007	3.774386	0.311980	0.119393	3.780001
1.1	0.090210	-0.002607	3.785558	0.381650	0.138943	3.787643
1.15	0.182540	0.022883	3.795896	0.448310	0.156933	3.795313
1.2	0.272400	0.047773	3.805916	0.492830	0.180863	3.794478
1.25	0.357350	0.070903	3.815588	0.573580	0.225513	3.792341
1.3	0.437070	0.092013	3.824963	0.653800	0.271543	3.789381
1.35	0.512140	0.110793	3.834341	0.734040	0.314413	3.788006
1.4	0.583320	0.126613	3.844226	0.813830	0.358183	3.786068
1.45	0.650730	0.138643	3.855063	0.893530	0.402573	3.783798
1.5	0.716150	0.145783	3.867848	0.955380	0.427483	3.786806
1.55	0.778830	0.149693	3.881563	1.015170	0.452683	3.789153
1.6	0.838840	0.152993	3.894916	1.074710	0.477473	3.791643
1.65	0.896260	0.156383	3.907576	1.131550	0.500763	3.794208
1.7	0.951450	0.160093	3.919518	1.186180	0.522133	3.797181
1.75	1.004420	0.163713	3.930951	1.239810	0.542993	3.800158
1.8	1.055370	0.167763	3.941663	1.292960	0.562893	3.803496
1.85	1.104300	0.171773	3.951891	1.344500	0.581653	3.807001
1.9	1.151620	0.175933	3.961641	1.393240	0.597373	3.811326
1.95	1.197470	0.180133	3.971003	1.441710	0.611103	3.816578
2	1.241910	0.184573	3.979893	1.487950	0.621123	3.823128
2.05	1.284940	0.189063	3.988406	1.534770	0.631263	3.829763
2.1	1.326640	0.193483	3.996621	1.579730	0.639093	3.837088
2.15	1.367320	0.198003	4.004531	1.622980	0.645523	3.844686
2.2	1.406980	0.202353	4.012271	1.666040	0.652543	3.851941
2.25	1.445570	0.207033	4.019578	1.707850	0.658913	3.859208
2.3	1.483030	0.211433	4.026743	1.748510	0.664893	3.866383
2.4	1.555290	0.219953	4.040548	1.827280	0.676143	3.880451
2.6	1.688990	0.236863	4.065518	1.974950	0.694763	3.908058
2.8	1.812680	0.253713	4.088016	2.110280	0.713133	3.932706
3	1.926930	0.269483	4.108693	2.236150	0.730543	3.955468
3.2	2.032620	0.284513	4.127601	2.352010	0.745413	3.976998
3.4	2.131530	0.298963	4.145103	2.459670	0.758943	3.997148
3.6	2.224080	0.312463	4.161491	2.560620	0.771943	4.015886
3.8	2.311040	0.325633	4.176646	2.654630	0.783853	4.033433
4	2.392740	0.337953	4.190911	2.742440	0.794543	4.050041
4.2	2.469890	0.349663	4.204343	2.825900	0.805433	4.065461
4.4	2.543190	0.360803	4.217098	2.904330	0.815303	4.080133
4.6	2.612680	0.371733	4.229006	2.978540	0.824573	4.094051
4.8	2.679020	0.382073	4.240421	3.048830	0.833623	4.107098
5	2.742010	0.392243	4.251083	3.116030	0.842823	4.119298
5.2	2.802190	0.401793	4.261353	3.179530	0.851463	4.130853
5.4	2.859810	0.411143	4.271083	3.240660	0.860113	4.141811
5.6	2.915180	0.420063	4.280466	3.299000	0.868313	4.152296
5.8	2.968290	0.428883	4.289333	3.355160	0.876513	4.162236
6	3.019460	0.437173	4.297981	3.409210	0.884783	4.171613

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Kütle – ışınım gücü ($\log M - \log L$) ile kütle – yarıçap ($\log M - \log R$) diyagramı üstünde Güneş metal bolluğu ($Z=0.014$) (—), Z aralığının alt sınırı ($Z=0.008$) (.....) ve üst sınırı ($Z=0.060$) (----) için Bressan vd'ne (2012) göre ZAMS ve TAMS'ın belirlediği sınırlar

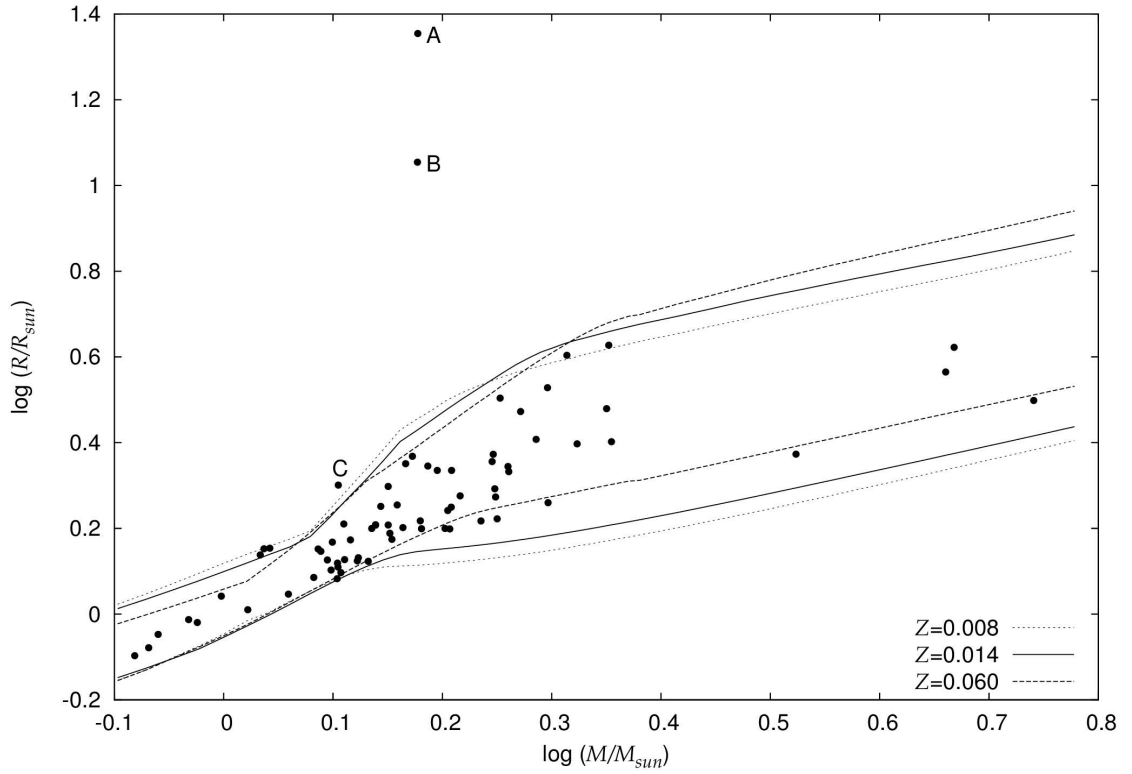
ZAMS ve TAMS çizgileri, anakol yıldızları söz konusu olduğunda sıfır ve terminal (anakol ömrünün sonu) yaşları temsil ettikleri için, bu çizgiler ham örneğin homojenleştirilmesinde kullanılacaklardır. Ancak, ham örnek içinde alt sınırı $Z=0.008$ ve üst sınırı $Z=0.06$ sırasıyla nokta nokta (...) ve çizgi çizgi (---) biçiminde Şekil 3.2 üstüne eklenmiştir.

Her iki diyagramda ($\log M - \log L$ ve $\log M - \log R$) metal bolluklarının ZAMS ve TAMS sınırlarını nasıl değiştirdiği açıkça görülmektedir. Daha küçük Z değerleri, anakol aralığını (ZAMS ve TAMS arasındaki alan) daha büyük L değerlerine taşıdığı, $\log M - \log R$ diyagramında ZAMS çizgisini, $M > 1.25 M_{\odot}$ ($\log M = 0.1$) değerleri için, daha küçük R değerlerine taşıdığı görülmektedir.

Daha küçük Z değerleri, iç yapı denklemlerin de daha büyük μ değerine karşılık gelmektedir. Ayrıca, daha küçük Z değerleri, opasitenin daha küçük olması anlamına gelmektedir. Sonuçta küçük Z , büyük L ve küçük R 'ye sebep olmaktadır.

3.1.4. Anakol yıldızlarının seçimi

Tezin amacı çerçevesinde uygulanacak yöntem sadece anakol yıldızlarına uygulanabildiği için literatürden toplanan hem örneğin homojenleştirilmesi yani, varsa içindeki anakol evresine gelmemiş veya anakol evresini bitirmiş yıldızların ayıklanması gerekmektedir. Teorik yıldız iç yapısı ve evrimi hesaplarını test etmede kullanılabilecek gözlemsel parametreler (kütle, yarıçap, etkin sıcaklık, metal bolluğu, yüzey çekim ivmesi, ışınım gücü) arasında en duyarlı belirlenebilen, radyal hız ve ışık eğrisi çözümlerinden doğrudan elde edilebilen, iki parametre yıldızların kütleleri ve yarıçaplarıdır. Bu yüzden anakol yıldızlarının seçilmesinde $\log M - \log R$ diyagramının kullanılması en isabetli bir yaklaşımdır (bkz Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Ham örneğin homojenleştirilmesi. Altteki üç çizgi ZAMS, üsteki üç çizgi TAMS sınırlarını belirtmektedir. Metal bolluğunun alt ve üst sınırları, ve Güneş metal bolluğu üç farklı çizgi ile gösterilmiş olup diyagram üstünde belirtilmiştir

Ham örnek olarak seçilen, gözlemsel parametreleri Çizelge 3.1'de listelenen 74 yıldızın konumu $\log M - \log R$ diyagramı üstünde işaretlenmiştir (Şekil 3.3). Anakol yıldızları için en küçük yarıçapları temsil eden ZAMS ve en büyük yarıçapları temsil eden TAMS çizgileri, modellerin Güneş metal bolluğu $Z=0.014$ (— sürekli çizgi), alt sınır düşük metal bolluğu (.... nokta nokta çizgi), üst sınır yüksek metal bolluğu (---- kesikli çizgi) olarak belirtilmiştir.

Görüldüğü gibi A, B ve C yıldızları hariç, ham örnek (Çizelge 3.1) içinde tüm yıldızlar anakol yıldızları için ZAMS ve TAMS çizgileriyle belirlenmiş alan içine düşmektedir. A ve B yıldızları, Çizelge 3.1'de listelenen yarıçapları da göstermektedir ki, dev yıldızlardır. Bu yıldızlar anakol ömrünü tamamlayıp devler bölgesinde yer aldıkları için örneğin homojenleştirilmesi adına örnekten çıkarılmıştır. Örnekten çıkarıldıkları Çizelge 3.1'in son sütununda \times işareti ile belirtilmektedir. C yıldızı, yarıçap üst sınırına (TAMS) çok yakın olması (sınırlı gözlem hatası yüzünden dışarıda görünüyor olabilir) bakımından örnekten çıkarılmamış, C yıldızı da dâhil olmak üzere Çizelge 3.1'deki 72 yıldızın anakol yıldızları oldukları, bu tez çalışmasında kullanılmak üzere homojen örneği oluşturduğu kabul edilmiştir.

3.1.5. Grid ara modelleri için ZAMS ve TAMS sınırlarının belirlenmesi

ZAMS ve TAMS noktaları bir yıldızın evrim yolu üstünde anakola giriş ve anakoldan çıkış noktalarını ifade eder. Teorik evrim yolları iki serbest model parametreleriyle hesaplanmaktadır. Bu serbest parametrelerden biri yıldızın kütlesi (M), diğeri yıldızın ağır element bolluğu (Z)'dir. Bu durumda her bir yıldız için özel hesaplanmış evrim yolu ve bu evrim yolunu temsil eden ZAMS ve TAMS noktalarının bilinmesi gereklidir. Ancak, teorik evrim yolu hesaplayan teorisyenler, önceden karar verilmiş belli M ve belli Z değerleri için hesap yapmaktadırlar. Yıldızın kütlesi ve metal bolluğu önceden belirlenmiş M ve Z 'lere uygun olmayabilir. Bu durumda, hem M hem de Z değerlerinde bir ara değer (interpolasyon) hesabı ile yıldızın M ve Z değerlerine uygun ZAMS ve TAMS noktalarının belirlenmesi lazımdır.

Ham örnek içindeki yıldızlarının (Çizelge 3.1) Z değerlerine bakıldığında 25 farklı değer olduğu görülmektedir. Teorik evrim yolları $\log M - \log R$, $\log M - \log T_{eff}$ gibi diyagramlar üstünde incelendiği için, 25 farklı Z değerine karşılık gelen, Çizelge 3.2'de olduğu gibi, $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığında standart M 'ler için ZAMS ve TAMS noktalarında $\log L/L_{\odot}$ ve $\log M/M_{\odot}$ değerlerini veren çizelgeler $M \times Z$ boyutları 82×8 olan mevcut PARSEC evrim modellerini (Bressan vd 2012) kullanarak ara değer yöntemiyle hazırlanmıştır. Ara değer hesabında,

$$\frac{X_0 - X_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y_0 - Y_1}{Y_2 - Y_1} \quad (3.4)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Bu denklemde X_1 , X_2 ve Y_1 , Y_2 grid noktalarını, X_0 ve Y_0 ise hesaplamak istenen ara değer noktasının koordinatını temsil etmektedir. Örneğin, X_1 ve X_2 , yıldızın Z değerine en yakın PARSEC evrim modellerinde yıldızın Z 'sinden küçük Z_1 ve yıldızın Z 'sinde büyük Z_2 modellerdir. Buna karşılık Y_1 ve Y_2 bu modeller üstünde ulaşılmak istenen Y_0 noktasına en yakın, küçük tarafta Y_1 büyük tarafında Y_2 noktalarıdır. Örneğin $\log M - \log R$ diyagramında ZAMS için yapılan hesapta Y_0 , ulaşılmak istenen R/R_{\odot} değeridir. Y_1 ve Y_2 de, söz konusu Z_1 ve Z_2 modellerinde mevcut R/R_{\odot} değerleridir.

Ara değer hesabı, yani belli Z değerleri için $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığındaki PARSEC modelleri için, ZAMS ve TAMS noktalarının hesaplanması logaritmik düzlemde değil, doğrusal düzlemde gerçekleştirilmiştir. Yani, ZAMS ve TAMS noktalarındaki L/L_{\odot} ve R/R_{\odot} hesaplanırken, logaritmik değerler önce logaritmadan kurtarılmıştır, interpolasyon yapıldıktan sonra tekrar logaritmaya çevrilmiştir.

Çizelge 3.1'deki homojen örneği oluşturan 72 yıldızın toplamda birbirinden farklı 25 Z değerlerine sahiptir. Kütlesi $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığında ZAMS ve TAMS değerleri, ara değer hesabıyla hesaplanmış bu 25 Z değerlerini içeren tablolar Ekler bölümünde, Ek 1 - Ek 25 arasında, 25 tane ek olarak verilmiştir.

Yıldızın tayfsal ve fotometrik gözlemlerinden belirlenmiş kütlesine (M) ve metal bolluğu (Z) değerine uygun tez çalışmasının Ekler kısmında verilen tablolardan birini kullanarak, ZAMS ve TAMS değerlerini bulmak için yapılması gereken şudur:

1) Önce, yıldızın Z 'sine uygun olan çizelge (Eklerdeki 25 Çizelge arasında) seçilmeli.

2) Seçilen çizelge üstünde yıldızın M kütesine en yakın, biri küçük, biri büyük olan iki satır seçilerek (sütun 1) bu yıldız için teorik ZAMS ve TAMS yine aynı ara değer hesabıyla

$$\frac{M-M_1}{M_2-M_1} = \frac{R_x-R_1}{R_2-R_1} \quad (3.5)$$

(M, Z) modelinin evrim yolu üstünde ZAMS ve TAMS noktasındaki R/R_\odot değerleri hesaplanmalıdır. 3.5 denklemini değiştirilerek,

$$\frac{M-M_1}{M_2-M_1} = \frac{L_x-L_1}{L_2-L_1} \quad (3.6)$$

bağıntısıyla ZAMS ve TAMS noktalarında (M, Z) modeli için L/L_\odot değerleri hesaplanmalıdır. Ancak, 3.5 ve 3.6 denklemlerinin kullanılabilmesi için Z çizelgelerinde (Ek 1, Ek 2, ..., Ek 25) verilen $\log L/L_\odot$ ve $\log R/R_\odot$ değerlerinin logaritmadan kurtarılması gerekmektedir.

ZAMS veya TAMS için ara değer yöntemiyle hesaplanan L/L_\odot ve R/R_\odot değerlerinden sonra, Stefan-Boltzmann yasasını ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$) kullanılarak ZAMS ve TAMS noktalarındaki etkin sıcaklıklar da hesaplanmalıdır. Çizelge 3.2'deki $Z = 0.014$ ve Çizelge 3.1'deki farklı Z 'ler için oluşturulan 25 ayrı çizelgede (Ek 1'den Ek 25'e kadar) listelenen ZAMS ve TAMS noktaları için verilen sıcaklıklar bu yolla hesaplanan sıcaklıklardır.

3.2. ETKİN SICAKLIK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

3.2.1. Güncel Klasik ($L \propto M^a$) Kütle Işınım Gücü Bağıntısı

Anakol yıldızlarının kütle - parlaklık veya kütle - ışınım gücü bağıntısı (MLR) astrofiziğin tanınmış ve test edilmiş evrensel yasalarından biridir. 20. yüzyılın ilk yarısının ortalarında empirik olarak çift yıldız gözlemlerinden Hertzsprung (1923) ve Russell vd (1923) tarafından bağımsız olarak keşfedilmiştir. Yıldız örneğinin gözlem sayısı ve kalitesinin artmasıyla zaman zaman güncellenmiştir. Güncellemelere katkı veren araştırmacılar arasında Eddington (1926); McLaughlin (1927); Kuiper (1938); Petrie (1950a, 1950b); Strand vd (1954); Eggen (1956); Cester vd (1983); Henry ve McCarthy (1993); Popper (1967, 1980); Demircan ve Kahraman (1991); Andersen (1991); Henry (2004); Malkov (2007); Torres vd'ni (2010) saymak mümkündür.

MLR bağıntısı kütle (M) ve ışınım gücü (L) veya kütle (M) ile bolometrik parlaklık (M_{bol}) arasındaki ilişkiye bağlı olarak farklı farklı araştırmacılar tarafından farklı farklı ifade edilmiştir. Bazı araştırmacılar $\log M - \log L$ diyagramı üstüne işaretlenmiş verileri tek bir doğruyla ifade ederken, bazı araştırmacılar ise bu ilişkiyi ikinci hatta üçüncü dereceden bir fonksiyon kullanarak ifade etmeyi tercih etmişlerdir (Demircan ve Kahraman 1991). Ancak, bu bağıntının en temel ifadesi: $L \propto M^a$ yani ışınım gücünün yıldız kütesinin bir fonksiyonu olarak bir kuvvet yasasıyla ifade

edilmesidir. Bu ifade $\log M - \log L$ diyagramında eğimi α olan bir doğru anlamına gelmektedir.

Önceleri, $H-R$ diyagramında, sınırlı sayıda yıldız varken, tüm diyagramı tek bir doğruyla ifade etmek mümkün görünüyordu. Ancak, verilerin kalitesi, duyarlılığı ve sayısı arttıkça tek bir doğrunun mevcut anakol yıldızlarını ifade etmekte yetersiz kaldığı anlaşıldı. Bu nedenle birçok araştırmada (Kuiper 1938; Cester vd 1983; Demircan ve Kahraman 1991; Henry ve McCarthy 1993; Malkov 2003, 2007; Fang ve Yan-ning 2010) farklı kütle aralıkları için farklı eğimli doğruların kullanılması kaçınılmaz hale geldi.

Farklı araştırmacılar arasında, farklı kütle aralıkları rastgele seçiliyordu. Ancak, Eker vd (2015b) α 'nın sabit olduğu doğal kütle aralıklarını keşfetti. Normal şartlar altında, standart $\log M - \log L$ diyagramı üstünde kütle aralıkları ve eğimin aniden değiştiği kırılma noktaları fark edilmez durumdadır. Anakol yıldızlarının kütlelenin fonksiyonu olarak birim kütle başına ışınım gücü (L/M) miktarını araştıran Eker vd (2015b) $\log(L/M)$ değerlerini kütlelenin fonksiyonu olarak işaretlendiğinde, söz konusu kırılma noktalarının açıkça görüldüğünü fark etti (Bkz Eker vd 2015b makalesinde Şekil 3).

Bu yüzden, en son, ayırık örten SB2 türü tayfsal çift yıldız gözlemlerinden gelen en duyarlı yıldız parametrelerini kullanan Eker vd (2015b) $0.38 < M/M_{\odot} < 32$ kütle aralığındaki anakol yıldızlarının MLR bağıntısını $\log M - \log L$ diyagramı üstünde eğimleri farklı dört doğru parçasıyla ifade etmiştir.

Dört parçalı MLR denklemlerinin üretildiği ham veri tabanı Eker vd (2015b) katalogunun güncellendiği, ayırık örten SB2 tayfsal çift yıldız sayısı 257'den 324'e çıkartıldığı Bölüm 3.1.1'de metal bolluğu verisi eklenerek temel katalogun güncellenmesi kapsamında bahsedilmiştir. TÜBİTAK 114R072 nolu proje çerçevesinde güncellenen katalogdan sonra MLR bağıntıları da güncellenmiş, ancak sonuçlar henüz bir dergide yayınlanmıştır.

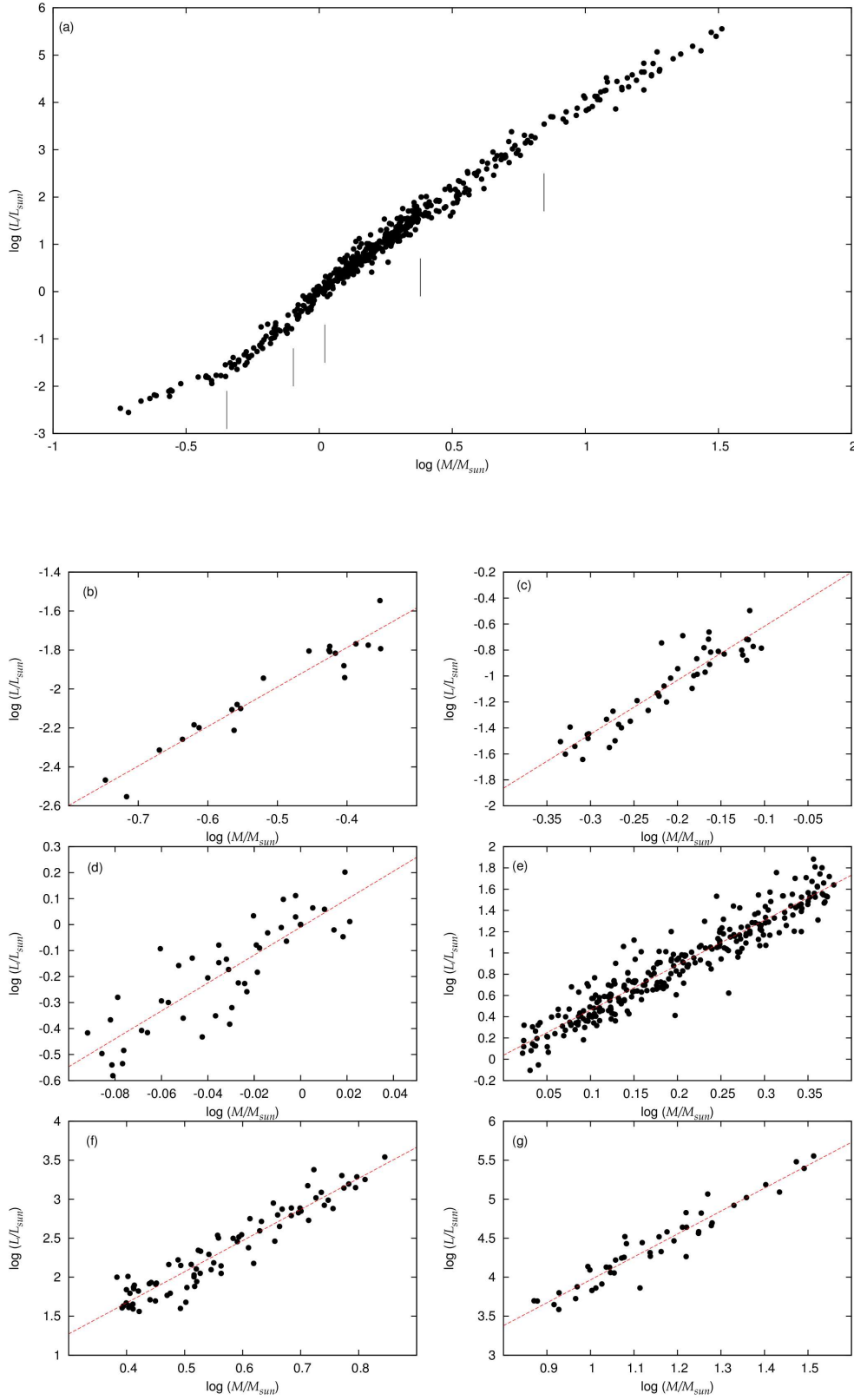
Proje yürütücüsü, tez danışmanı Prof. Dr. Zeki Eker ve proje araştırmacılarının bilgisi dâhilinde altı parçalı bu yeni MLR bağıntıları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Farklı kütle aralıklarına göre yeni MLR bağıntıları, \mathcal{R} korelasyon katsayısı, σ standart sapma ve α eğim değerleri

Kütle Aralığı Adı	Sayı	Kütle Aralığı	MLR Bağıntıları	\mathcal{R}	σ	α
Çok Küçük Kütleli	22	$0.179 \leq M/M_{\odot} \leq 0.45$	$\log L = 2.0281 \times \log M - 0.9757(704)$	0.9186	0.0756	2.02806
Küçük Kütleli a	46	$0.45 < M/M_{\odot} \leq 0.80$	$\log L = 4.1565 \times \log M - 0.2014(600)$	0.8438	0.1234	4.15652
Küçük Kütleli b	44	$0.80 < M/M_{\odot} \leq 1.05$	$\log L = 5.3741 \times \log M - 0.0098(204)$	0.7438	0.1019	5.37414
Orta Kütleli	283	$1.05 < M/M_{\odot} \leq 2.4$	$\log L = 4.2313 \times \log M + 0.0385(187)$	0.8983	0.1395	4.23134
Büyük Kütleli	81	$2.4 < M/M_{\odot} \leq 7$	$\log L = 3.9911 \times \log M + 0.0742(856)$	0.9019	0.1716	3.96105
Çok Büyük Kütleli	47	$7 < M/M_{\odot} < 32.6$	$\log L = 2.9405 \times \log M + 1.0252(228)$	0.9135	0.1509	2.94049

Çizelge 3.3'ün birinci sütununda kütle aralığı adı, ikinci sütunda bu aralıktaki yıldız sayısı, üçüncü sütunda aralığın sınırları verildikten sonra dördüncü sütunda güncellenmiş MLR bağıntısı, sonraki sütunlarda sırasıyla korelasyon katsayısı (\mathcal{R}), standart sapma (σ) ve MLR bağıntısında eğim (α) listelenmiştir. Kütle üst sınırı değişmeden, kütle alt sınırı değiştiği, $0.38 M_{\odot}$ 'den $0.179 M_{\odot}$ 'e uzandığı, Eker vd (2015b) makalesinde küçük kütleli anakol yıldızlarının parçasının da ikiye bölündüğü, bu yüzden, $\log M - \log L$ diyagramında kütle aralıklarının sayısının dörtten altıya çıktığı açıkça görülmektedir.

Yayınlanmış etkin sıcaklık (T_{eff}) ve yarıçaplardan Stefan-Boltzmann yasası çerçevesinde hesaplanmış ışınım güçleri, $\log M - \log L$ diyagramda dağılımı ve düşey çizgilerle (kırılma noktaları) ayrılmış kütle aralıkları Şekil 3.4'ün üst panelinde gösterilmiştir. Üst panelin altında bulunan altı panelde, her bir kütle aralığındaki verilere doğrusal fit edilen MLR bağıntıları ve verilerin dağılımları görülmektedir.



Şekil 3.4. Kütle – ışınım gücü grafiği. Altta altı panel üstteki panelde dikey çizgilerle sınırlanmış kütle aralıklarındaki verilere fit edilmiş doğrusal fonksiyonları göstermektedir

Verilerin diyagram üstünde saçılması yani standart sapmaları (σ) sadece gözlem hatalarından kaynaklanmadığı, daha çok yıldızlar arasında metal bolluğu ve evrim farklarından kaynaklandığı Eker vd (2015b) de tartışılmıştır. Standart sapma bir bakıma, yatay ekseninde, $\Delta L/L = \sigma/0.4343$ bağıntısına göre, kütle hatalarında toleransın hangi boyutta olduğunu göstermektedir. Kütle ve yarıçapta %3 ve daha duyarlı verileri kullanan, Eker vd (2015b) kütle hatalarındaki toleransın, σ değerine göre %6 ile %15 arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu yüzden $\log M - \log R$ diyagramında kütlelerdeki hata sınırı serbest bırakılarak, %3'den %15'e çıkarılmıştır. Gerçekten, diyagram üstünde yıldız konumunu doğrudan etkileyen görelî hataların beş misli büyümesine karşılık, Çizelge 3.3'teki standart sapmalar aynı merteye sınırları içinde kaldığı tespit edilmiştir.

Görelî hataların daha büyük sınıra çekilmesi, diyagram üstünde yıldızların sayısını neredeyse iki misli arttırmıştır %3 ve daha duyarlı veriler ile ortaya çıkmayan çok küçük kütleli anakol yıldızları ($0.179 \leq M/M_{\odot} \leq 0.45$) aralığı ortaya çıkmıştır.

Ancak, bu tez çalışmasında kullanılacak örnek içindeki en küçük kütleli yıldızın (V568 Lyr yoldaş bileşen) kütlesi $M=0.8292 M_{\odot}$ 'dır (Bkz Çizelge 3.1). Yeni ortaya çıkan bu kütle aralığının bu tez çalışmasında kullanılmaması, gereksizliğinin bir ifadesi değildir. Bu kadar küçük kütle sınırına kadar uzanan MLR bağıntısı astrofizik açılarından önemlidir. Bu tez çalışması için önemli olan en güncel MLR bağıntıları kullanılıyor olmasıdır. Bu tez çalışmasında, $0.80 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığında kalan, küçük kütleli (b), orta kütleli ve büyük kütleli anakol yıldızları için belirlenmiş MLR bağıntıları kullanılacaktır.

3.2.1.1. Klasik Yöntem

Klasik yöntem, yani yıldızın gözlemler ile belirlenmiş kütle (M) ve yarıçapından (R), bir MLR bağıntısını kullanarak, etkin sıcaklığını (T_{eff}) hesaplamak yeni bir yöntem değil, yaklaşık bir asırdan beri bilinen ve kullanılan bir yöntemdir.

Eker vd (2015b) klasik yöntemi, dört parçalı MLR bağıntılarıyla güncel verilere uygulamış ve yöntemin detaylarını tartışmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse:

Stefan-Boltzmann yasasından, T_{eff} çekildiğinde

$$T_{eff} = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi\sigma R^2}} \quad (3.7)$$

elde edilir. Bu formüldeki L , yıldızın yüzeyinden birim zamanda, tüm dalga boylarında elektromanyetik dalgalar halinde yayılan enerji, yani yıldızın ışınım gücüdür. $4\pi R^2$ yıldızın yüzey alanı ve $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ w m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ de Stefan-Boltzmann sabitidir. Yıldızın ışınım gücü (luminositesi), Güneş'in ışınım gücüne oranlanırsa, 3.7 denklemi

$$T_{eff} = 5777 \times \sqrt[4]{\frac{L/L_{\odot}}{(R/R_{\odot})^2}} \quad (3.8)$$

şeklinde yazılıp daha kullanışlı hale gelebilir. 3.8 denkleminde görüldüğü gibi, yıldızın etkin sıcaklığını belirlemek için sadece iki parametreye ihtiyaç vardır. Bu iki parametre (L ve R) yıldız iç yapı denklemlerinin çözümünden elde edilen parametrelerdir. Bu iki parametre, gözlemler ile de belirlenebilir. Tutulma gösteren, örten değişen yıldızların ışık eğrisi çözümlerinden en duyarlı R ölçümleri elde edilmektedir. Ancak gözlemler ile, L belirlemek pek de kolay değil, hatta L tüm dalga boylarında ışınımı ifade ettiği için imkânsızdır da denebilir. İnsan gözü 400 - 800 nm dalga boyu aralığında görebilmesi gibi, teleskop arkasına takılan elektromanyetik dalga (ışık) detektörlerinin de çalıştığı belli dalga boyu aralığı vardır. Bu yüzden, farklı dalga boylarındaki ışınımı gözlemek için farklı teleskoplar ve algılayıcılar tasarlanmıştır. Örneğin, X-ışın teleskopları, γ -ışın teleskopları, kızıl ötesi teleskopları, radyo teleskopları gibi.

Gözlemler ile L elde etmenin bir yolu da şudur: Yıldızın uzaklığı biliniyorsa, $V - M_v = 5 \log d - 5$ formülüyle, yani Pogson formülü kullanarak M_v mutlak parlaklık ve $BC = M_{bol} - M_v$ yani bolometrik düzeltme uygulayarak M_{bol} hesaplanır. Daha sonra

$$M_{bol}(\odot) - M_{bol} = 2.5 \log \frac{L}{L_\odot} \quad (3.9)$$

bağıntısı yardımıyla L elde edilebilir. Yıldızın yarıçapı da biliniyorsa, 3.8 denkleminde yıldızın etkin sıcaklığı hesaplanabilir ve gözlemlerden elde edilen etkin sıcaklıklar ile karşılaştırılabilir (Bkz Bölüm 2.3. yıldız sıcaklık çeşitleri). Ancak, uzaklığı bilinmeyen, trigonometrik paralaksı ölçülmeyen yıldızlar için bu yöntem uygulanamaz.

Yarıçaplar gibi gözlemler ile belirlenebilen bir diğer yıldız parametresi, yıldızın kütlesidir. Çift yıldızların radyal hız eğrisi çözümlerinden kütleler elde edilebilir. SB1, yani tek çizgili tayfsal çift yıldızların radyal hız eğrilerinden ancak, kütle fonksiyonu, SB2, yani çift çizgili tayfsal çift yıldızların radyal hız eğrilerinden toplam kütle ve kütle oranı elde edilirse de her bir bileşenin özgün kütlesi tayin edilemez. Çünkü radyal hız eğrisinde yörüngenin bakış doğrultusuyla yaptığı açı bilinmemektedir. Ancak, ayrık örten SB2 türü tayfsal çift yıldızların ışık eğrileri ve radyal hız eğrileri eş zamanlı çözümlerse, hem R hem M duyarlı olarak belirlenebilir.

Bu tez çalışması için seçilen yıldızlar M ve R ölçümleri güvenilir ayrık örten SB2 türü tayfsal çift yıldızlar arasından seçilmişlerdir. M ve R 'nin bilinmesi, klasik yöntemin kullanılabilir olması bakımından önemlidir. Yıldızın kütlesi hangi kütle aralığında ise, Çizelge 3.3'de verilen MLR bağıntıları kullanılarak yıldızın ışınım gücü hesaplanır. MLR bağıntısı şu şekilde verilir:

$$\log L = \alpha \log M + a. \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'daki α doğrunun eğimi ve a 'da doğrunun sabitidir. L ve R den, 3.8 denklemindeki bağıntısı kullanılarak yıldızın etkin sıcaklığı, T_{eff} klasik yöntem ile hesaplanmış olur.

Eker vd (2015b) klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff} değerlerindeki bağıl hataların

$$\frac{\Delta T_{eff}}{T_{eff}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{4 \times L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{2 \times R}\right)^2} \quad (3.11)$$

formülüyle hesaplanabileceğini söylemektedir. Burada $\frac{\Delta R}{R}$, fotometrik gözlemlerden belirlenen yarıçaplardaki görelî hataları temsil eder. Aynı şekilde, $\frac{\Delta L}{L}$, bir bakıma gözlemlerden geliyor olsaydı (mutlak parlaklık metodu), $\frac{\Delta L}{L}$ doğrudan görelî hata olarak denklemde yerine konur. $\frac{\Delta T_{eff}}{T_{eff}}$ hesaplanabilirdi. Ancak, $\log M - \log L$ diyagramı üstündeki saçılmanın kaynağı sadece gözlem hataları değildir. Saçılmaya etki eden yıldız evrimi ve metal bolluğun katkıları daha önemlidir (Andersen 1991, Torres vd 2010, Eker vd 2015b).

Bu yüzden, kütlesi ve yarıçapı (M ve R) bilinen bir yıldızın gözlemsel T_{eff} değeri bilinmiyorsa, $\log M - \log L$ diyagramındaki konumu bilinemez. Yıldız doğrudan MLR çizgisi üstünde olabileceği gibi, çok saçılmış, yıldızlardan biri de olabilir. Yıldızın yayınlanmış T_{eff} değeri bilinse bile, yayınlanmış etkin sıcaklık, elde edilen yöntemle ilgili olarak gerçek anlamda yıldızın etkin sıcaklığını temsil etmeyebilir. Çünkü sıfırdan sonsuza, tüm dalga boylarında yıldız gözlemek mümkün değildir. Böylesi durumlarda ışınım gücündeki belirsizlik doğrudan doğruya belirlenmiş standart sapmadan hesaplanabilir.

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{0.4343} \quad (3.12)$$

bağıntısıyla elde edilen $\frac{\Delta L}{L}$, 3.11 denklemde kullanılmalıdır. $\frac{\Delta L}{L}$ aynı zamanda, yatay eksenindeki (kütle) toleransı ifade eder.

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \frac{\Delta M}{M} \quad (3.13)$$

denkleminde, $\frac{\Delta L}{L}$ ye bağılı olarak $\frac{\Delta M}{M}$ toleransı o kütle aralığındaki α 'ya bağılı olarak hesaplanabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur: gözlemler ile belirlenmiş, görelî kütle hatası, σ ile hesaplanan hatadan büyük ise, 3.12 denklemdeki bağıntısı değil 3.13 denklemdeki bağıntısıyla belirlenmiş $\Delta L/L$ kullanılmalıdır.

3.2.1.2. Güneş benzeri Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY-ZG)

3.2.1.2.1. Klasik yöntemin yetersizliği, HSY gerekçesi

Klasik yöntem ile hesaplanan etkin sıcaklıklar yeterince duyarlı değildir. Örneğin, %6 ve daha duyarlı ölçülmüş M ve R 'den hesaplanan T_{eff} 'lerin duyarlılığı %8 sınırı içindedir. Yarıçap ölçümlerindeki gözlemsel hatalar 3.11 denklemine göre, sonuca doğrudan etki etmektedir. $\log M - \log L$ diyagramındaki verilerin saçılmasından hesaplanan $\Delta L/L$ belirsizliğinin σ 'ya bağlı olması nedeniyle, %6 ve daha duyarlı M ölçümlerinin, sonucu değiştirmedeği görülmüştür. Yani, M ve R %1 ve daha duyarlı ölçülse bile, klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff} 'lerdeki görece hatalar %6'dan daha iyi olmamaktadır. Yaklaşık %6 hata, Güneş ve güneş benzeri yıldızlar için 300-400 K mutlak hataya karşılık gelmektedir. Bu hata sınırı gözlemsel rastgele hatalar yanında, kabul edilemeyecek kadar büyüktür. Günümüzde kabul edilebilir sıcaklık hatası % 1-2 mertebesinde (Masana vd 2006).

Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY), klasik yöntem ile hesaplanan etkin sıcaklıkları daha duyarlı yapmak için Prof. Dr. Zeki Eker tarafından geliştirilmiş, Aslan'ın (2015) tez çalışmasında uygulamaya konmuş yeni bir yöntemdir. Literatüre henüz tanıtılmamıştır; çünkü 114R072 nolu proje çerçevesinde hakkında araştırmalar devam etmektedir. Bu tez çalışması da TÜBİTAK proje araştırmasının bir parçasıdır.

HSY prensip olarak, klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff} 'lerdeki yanlışlığın giderilmesiyle ilgilidir. Klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff} 'lerde yanlışlık vardır; çünkü bir MLR bağıntısı $\log M - \log R$ diyagramındaki yıldız dağılımını, tek bir doğru denklemlerle ifade eder. Oysa dağılım bir doğru değil, kalınlığı olan standart sapmaları σ ile ifade edilen bir bant şeklindedir. $H-R$ diyagramındaki anakol yıldızlarının dağılımında olduğu gibi, bant genişliğine sebep olan faktörlerin başında yıldız evrimi ve farklı metal bolluğundaki yıldızların bir arada olması gelmektedir. Evrim ve metal bolluğunun $\log M - \log L$ diyagramındaki saçılmaya (σ 'ya) katkısı, gözlemsel rastgele hatalardan büyüktür (Andersen 1991, Torres vd 2010, Eker vd 2015b).

MLR bağıntısında ifade edilmesinin aksine, kütlesi M olan bir yıldızın özgün bir ışınım gücü yoktur. $M > 1.15 M_{\odot}$ olan yıldızlarda anakol yaşamı boyunca yıldızın hem ışınım gücü (L) hem de yarıçap (R) artar. $M < 1.15 M_{\odot}$ olan yıldızlarda benzer şekilde L ve R artar, ancak R 'deki artış çok daha yavaştır, bu yüzden L 'deki artış R artışıyla karşılanamaz, R ile birlikte T_{eff} de artmak durumundadır. Stefan-Boltzmann yasası ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$) bu durumu açıkça göstermektedir. Örneğin Güneş, bu gün 4.5 milyar yaşındadır ve ilkel Güneş'e göre hem L , hem R hem T_{eff} artmıştır. Oysa daha büyük kütleli yıldızlarda, R artışı öylesine hızlıdır ki, yıldız evrimleştikçe T_{eff} azalır.

Klasik yöntem ile hesaplanan etkin sıcaklık (T_{eff}) değerleri yanlışlık gösterir, çünkü yıldızın $\log M - \log L$ diyagramındaki gerçek konumu, MLR bağıntısının ifade ettiği L değerinde olmayabilir. MLR doğrusunun ifade ettiği L değerlerin M kütleli bir yıldız için ortalama değer olarak düşünürsek, anakol yaşamının sonuna gelmiş bir yıldızın L 'si, bu ortalama değerden büyüktür. Dolayısıyla, 3.8 denklemlerle hesaplanan T_{eff} değeri daha küçük L değeriyle hesaplandığı için, olması gerekenden daha küçüktür. Bu durum, anakol yaşamının başında (ZAMS) olan yıldızlar için tam tersidir. Kısaca

özetlersek, klasik yöntem, anakolda ileri evrim aşamasındaki yıldızların sıcaklıklarını daha az, henüz ZAMS'a yakın yıldızların sıcaklıklarını olması gerekenden daha yüksek hesaplar.

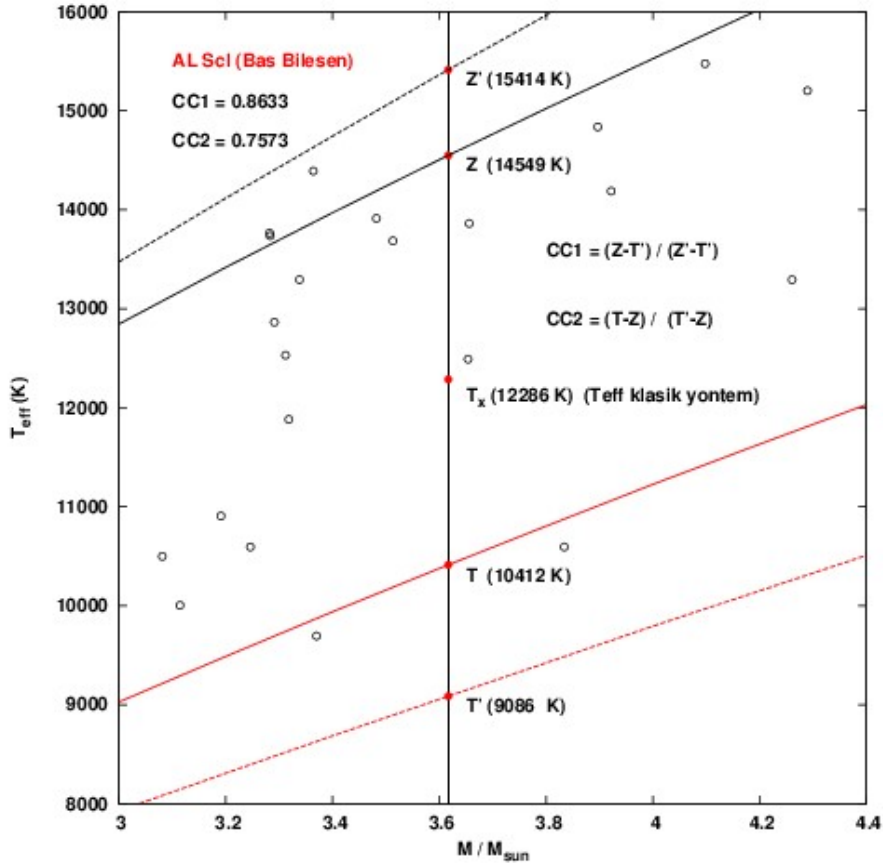
HSY bu yanlışlığı düzeltmek, doğru T_{eff} hesabı yapabilmek için, teorik yıldız iç yapısı çözümleri ve evrim modellerinden yararlanır. PARSEC evrim modelleri (Bressan vd 2012) tercih edilen modeller arasındadır; çünkü bu modeller son zamanlarda metal bolluğunun fonksiyonu olarak yıldız rüzgârlarıyla kütle kaybı, konveksiyon, ileri atım (overshooting) ve yıldız maddesinin konveksiyonla karışması gibi yıldız iç yapısıyla ilgili fiziksel parametreleri bakımından güncellenmiş (Chen vd 2015) model olarak bilinmektedir.

Bu hazır yıldız evrimi modellerinin kullanmanın bir dezavantajı, istenilen her kütle ve metal bolluğu için hazır modellerin olmamasıdır. Ancak belli M ve belli Z değerleri için hazır evrim yolları bulunmaktadır.

Aslan (2015) HSY'ni Güneş civarında 450 tane anakol yıldızına uygularken Bressan vd'nin (2012) ürettiği kütle aralığı $0.35 < M/M_{\odot} < 40$ olan 76 farklı kütle değeri için $Z=0.014$ metal bolluğu varsayımı altında hesaplanmış modelleri kullanmıştır. Farklı Z modellerini kullanmaya gerek duymamıştır. Çünkü kullandığı örnek, Eker vd (2014) katalogunda seçilmiş Güneş komşuluğundaki ayırık örten SB2 tayfsal çift yıldızlar arasından seçmiştir. Bu yıldızlar Güneş komşuluğundaki Galaktik ince disk yıldızlarıdır. Güneş komşuluğundaki ince disk yıldızlarının metal bollukları ± 0.5 dex aralığına dağılmış $[Fe/H]=0$ dex olan Güneş metal bolluğuna yakın olan yıldızlardır (Cox 2000). Aslan'ın (2015) uygulamasında ilk yaklaşım da, farklı Z değerlerinden kaçınmak uygun görülmüştür. Önemli olan yöntemin oturması ve uygulanmasının yapılmasıdır. HSY yöntemine farklı Z 'lerin eklenmesi daha sonraki çalışmalara bırakılmıştır. Nitekim bu tez çalışması mevcut eksikliği gidermek için önerilmiştir.

3.2.1.2.2. HSY'de kullanılan tanımlar

Kütle - Yarıçap ($M-R$) diyagramında ZAMS ve TAMS arasında dağılmış anakol yıldızlarına klasik yöntem uygulandığında, hesaplanan T_{eff} 'leri kütle - sıcaklık ($M-T$) grafiği üstüne işaretlediğimizi düşünelim. ZAMS'a yakın olan yıldızlar olması gerektiği sıcaklıktan daha büyük ve TAMS'a yakın olan yıldızlar olması gereken sıcaklıktan daha küçük hesaplandığı yukarıda anlatıldı. $M-R$ diyagramı üstündeki anakol yıldızlarının dağılımı ZAMS ve TAMS arasına dağılmışken, yukarıda sözü edilen yanlışlık yüzünden, $M-T$ grafiğinde klasik yöntemle hesaplanan T_{eff} 'lerin dağılımı artık ZAMS ve TAMS arasında değil, ZAMS ve TAMS sınırlarının dışına taşmış durumdadır.



Şekil 3.5. M - R diyagramında ZAMS ve TAMS arasında dağılmış yıldızlar, M - T diyagramında bu sınırlar arasında kalmaz taşar. ZAMS (yukarıdaki düz çizgi) ve TAMS (aşağıdaki düz çizgi) dışına taşan yıldızların konumları (içi boş daireler), klasik yöntemle hesaplanmıştır. Yıldızlar gibi, M - R diyagramındaki ZAMS ve TAMS çizgileri de aynı formülasyonla transfer edilirse, noktalı çizgi (...) ve alttaki noktalı çizgi (...) dönüştürülmüş ZAMS ve dönüştürülmüş TAMS çizgileridir. Yıldızların gerçek ZAMS ve TAMS arasında değil, dönüştürülmüş ZAMS ve TAMS (noktalı çizgiler) arasında kaldığına dikkat edin (Aslan'dan 2015 alınmıştır)

Şekil 3.5 klasik yöntemin sebep olduğu yanlışlık yüzünden, M - R diyagramında ZAMS ve TAMS arasında dağılmış yıldızlar, M - T diyagramında ZAMS ve TAMS arasında kalmayıp, noktalı çizgiler arasında dağıldığını göstermektedir.

Şekil 3.5'deki yıldızların konumları 3.8 denklemiyle M ve R 'lerden hesaplanmış konumlardır. Yani 3.8 denklemi bir bakıma transfer denklemi olarak kullanılmış gibidir. M - R üstündeki yıldızların konumlarının transfer edilmesi gibi, aynı denklem, M - R üstündeki ZAMS ve TAMS çizgilerinin transfer edilmesinde kullanılmış, Şekil 3.5'de noktalı (...) ile gösterilen çizgiler elde edilmiştir. Şekil 3.5'de açıkça görülmektedir ki, ZAMS'a yakın yıldızların sıcaklıkları olması gereken sıcaklıktan daha sıcak, TAMS'a yakın yıldızların sıcaklıkları olması gereken sıcaklıktan daha küçük hesaplanmıştır. ZAMS üstünde bir yıldız olsaydı, klasik yöntem ile hesaplanan konumu, yatay eksen konumu değişmeden üstteki nokta noktalı çizgi yani transfer edilmiş ZAMS üstünde

olacaktı. Aynı şekilde TAMS üstünde bir yıldız olsaydı, klasik yöntem ile hesaplanan konumu bu yıldızı, M değeri değişmeden daha soğuk olan dönüştürülmüş TAMS üstüne yerleştirecekti.

Dönüştürülmüş ZAMS'ı ZAMS üstüne, dönüştürülmüş TAMS'ı TAMS üstüne homojen, yani $M-T$ diyagramındaki yıldız konumlarıyla orantılı olarak düşey eksende sıkıştırabilirsek, yıldız konumları doğru konuma getirilmiş olacaktır. HSY'nin temeli de budur.

Bu işlem iki adımda tanımlanır.

1- Her yıldız için iki tane, CC1 ve CC2 sıkıştırma katsayılarının tanımlanması ve hesaplanması.

2- Sıkıştırma işleminin uygulanıp yıldızın düzeltilmiş etkin sıcaklığı T_{eff} 'nin hesaplanması.

3.2.1.2.2.1. Homojen sıkıştırma katsayıları

Sıkıştırma homojen olacak ve düşey eksende gerçekleştirilecektir. Bu bir zorunluluktur; çünkü klasik yöntem yıldızın kütlelerini değiştirmeden sadece sıcaklığını sistematik olarak hatalı hesaplanmasına sebep olmaktadır. Sıkıştırma katsayılarını tanımlamadan önce, $M-R$ diyagramı üstünde Z , T , Z' ve T' noktalarını tanımlamak gerekir. Tanımlama işleminde Şekil 3.5'in kullanılması uygundur. Diyagram üstünde yıldızın konumundan geçen düşey doğru, ZAMS, TAMS, dönüştürülmüş ZAMS ve dönüştürülmüş TAMS doğrularını sırasıyla Z , T , Z' ve T' noktalarında keser. Z ve T yıldız evrimi modellerinden doğrudan hesaplanır. Z' ve T' evrim modellerinden alınan $M-R$ diyagramı üstündeki ZAMS ve TAMS'a klasik yöntem uygulanarak bulunur. Z , T , Z' ve T' tanımladıktan sonra, sıkıştırma katsayıları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$CC1 = \frac{Z-T'}{Z'-T'} \quad (3.14)$$

$$CC2 = \frac{T-Z}{T'-Z'}$$

ZAMS sıcaklığı, TAMS sıcaklığından büyük olmak koşuluyla, CC1 ve CC2 katsayıları birden küçük, sıfırdan büyüktür. $M < 1.15 M_{\odot}$ olan küçük kütleli yıldızlarda, ZAMS sıcaklıkları TAMS sıcaklıklarına göre daha küçük olabilmektedir. Böylesi durumlarda bu katsayıların birden büyük ve negatif olma olasılığı vardır.

3.2.1.2.2.2. Düzeltilmiş sıcaklıkların hesaplanması

Normal şartlar altında örneğin $Z > T$ ise, $M-T_{eff}$ diyagramında, bir dikey uzunluk değeri, CC1 ve CC2 katsayılarıyla çarpılırsa, uzunluğun değeri azalır. Yani homojen sıkıştırma sağlanmış olur. $M-T$ diyagramında, yıldızın kütlesi dikey çizgi boyunca sabit olduğundan, sıkıştırmalar dik eksen boyunca homojendir. Örneğin AL Scl yıldızının birinci bileşeni için hesaplanan katsayıları $CC1=0.8633$ ve $CC2=0.7573$ 'tür (Şekil 3.5).

Önce, yıldızın konumu, dönüştürülmüş TAMS referans alınarak, birinci sıkıştırma işlemi

$$T_1 = (T_x - T') \times CC1 + T' \quad (3.15)$$

ile kısmen düzeltilcektir. Daha sonra, ZAMS çizgisi referans alınarak, ikinci ve son düzeltme

$$T_2 = Z - (Z - T_1) \times CC2 \quad (3.16)$$

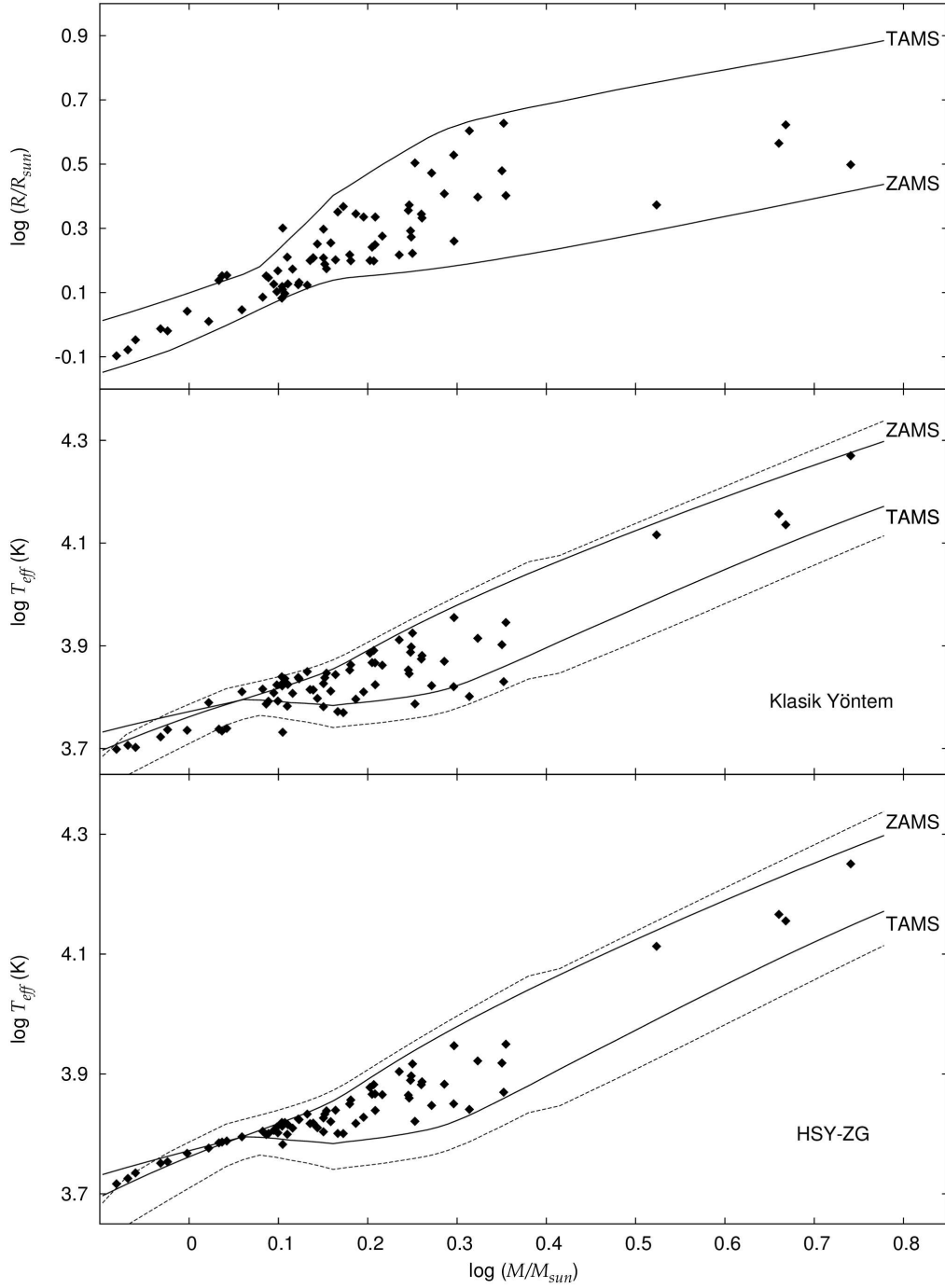
yapılacaktır. Bu denklemde T_x yıldızın M - R diyagramında konumunu belirleyen, klasik yöntem ile hesaplanmış etkin sıcaklığıdır. T_1 birinci düzeltme sonucu, T_2 de ikinci ve son düzeltmeden sonra bulunan yıldızın gerçek konumu, yani yıldızın düzeltilmiş etkin sıcaklığıdır.

Bu tez çalışması için seçilmiş örnek yıldızlarının, $Z=0.014$, PARSEC evrim modelleri (Bressan vd 2012) kullanarak HSY ile hesaplanmış düzeltilmiş etkin sıcaklıkları Şekil 3.6'da görülmektedir.

Şekil 3.6'da görülen, M - R diyagramındaki her bir yıldızın klasik yöntem ile hesaplanmış sıcaklıkları orta panelde işaretlenmiştir. M - R diyagramındaki ZAMS ve TAMS çizgileri, aynı dönüşüm formülü (Denklem 3.8) ile orta ve alt panellere dönüştürülmüş ZAMS (Z') ve dönüştürülmüş TAMS (T') olarak (noktalı çizgiler) aktarılmıştır.

M - T_{eff} diyagramlarında ($\log M$ - $\log T_{eff}$ diyagramının logaritmadan kurtarılmış hali) ZAMS (Z), TAMS (T) ile birlikte Z' ve T' çizgileri ve yıldız konumlarından her yıldız için CC1 ve CC2 katsayıları hesaplanmış, Çizelge 3.4'de listelenmiştir.

Çizelge 3.4, Homojen sıkıştırma yönteminin, $Z=0.014$ kabulü altında örnek yıldızlara uygulanmasının özetini vermektedir. Birinci sütunda sıra numarası, ikinci, üçüncü ve dördüncü sütunda sırasıyla yıldızın kütlesi, yarıçapı ve gözlenen etkin sıcaklığı vardır. Beşinci sütunda, $Z=0.014$ değeri tekrarlanmıştır, çünkü yıldızların Z değerleri bilinmemiş olsaydı, Z değeri $Z=0.014$ alınmış olsaydı anlamına gelmektedir. 6. sütunda $L(M)$, yani yıldızın kütlesi ve uygun aralıktaki MLR bağıntıları (Çizelge 3.3) kullanılarak hesaplanan lüminosite, 7. sütunda $L(M)$ ve R kullanılarak hesaplanan T_x (klasik yöntem T_{eff} değerleri), 8. ve 9. sütunlarda, Çizelge 3.2'deki modellerde ara değer yöntemiyle yıldızın kütlesine uygun hesaplanmış $R(ZAMS)$ ve $R(TAMS)$ değerleri, 10. ve 11. sütunlarda, $R(ZAMS)$ ve $R(TAMS)$ değerlerinden hesaplanmış Z' ve T' değerleri 12. ve 13. sütunlarda, yıldız kütlesine uygun $T_{eff}(ZAMS)$ ve $T_{eff}(TAMS)$ değerleri, yani Z ve T değerleri listelenmiştir. Z , Z' , T ve T' belli ise CC1 ve CC2 hesaplanabilir. Her bir yıldız için hesaplanan CC1, CC2 ve sonuç T_{eff} değerleri sırasıyla 14., 15. ve 16. sütunlarda verilmiştir.



Şekil 3.6. $Z=0.014$ modelleri kullanılarak, HSY ile düzeltilmiş sıcaklıkların elde edilmesi. ZAMS ve TAMS her üç diyagramda belirtilmiştir. Üstte, örnek yıldızları ZAMS ve TAMS arasında yayılmış iken, klasik yöntemle hesaplanan sıcaklıklar (ortada) ZAMS ve TAMS dışına taşmış ve dönüştürülmüş ZAMS ve TAMS (noktalı çizgiler) arasında dağılmıştır. Altta, HSY'nin uygulamasıyla klasik sıcaklıklar düzeltildikten sonra, ZAMS ve TAMS arasında dağılmaktadır

Çizelge 3.4. Homojen sıkıştırma yönteminin, Z=0.014 kabulüyle, örnek yıldızlara uygulanıp, T_{eff} 'lerinin hesaplanması

Sıra	M (M_{\odot})	R (R_{\odot})	T_{eff} (K)	Bolluk (Z)	L(M) (L_{\odot})	T_x (K)	R(ZAMS) (R_{\odot})	R(TAMS) (R_{\odot})	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	T_{eff} (HSY) (K)
1	0.8292	0.7997	4734	0.014	0.357328	4994.7	0.73295	1.06172	5217.1	4334.7	5113.3	5487.0	0.882345	-0.479927	5207.5
2	0.854	0.835	5000	0.014	0.418647	5085.4	0.75189	1.08858	5359.0	4453.8	5215.0	5553.7	0.840901	-0.444864	5317.4
3	0.871	0.897	5151	0.014	0.465427	5038.1	0.76547	1.10759	5453.8	4533.9	5292.2	5602.4	0.824287	-0.409187	5432.4
4	0.929	0.971	5430	0.014	0.658132	5280.5	0.81288	1.17331	5771.2	4803.7	5523.1	5750.8	0.743569	-0.316544	5638.6
5	0.946	0.956	5185	0.014	0.725499	5453.0	0.82709	1.19282	5862.5	4881.7	5582.6	5789.7	0.714571	-0.295444	5669.1
6	0.995	1.101	5600	0.014	0.951702	5437.9	0.87760	1.25025	6090.9	5103.0	5763.4	5905.2	0.668490	-0.214735	5857.1
7	1.052	1.024	5900	0.014	1.354114	6158.4	0.93981	1.31884	6428.3	5426.5	5955.6	6030.5	0.528148	-0.141571	5975.8
8	1.08	1.374	5875	0.014	1.513303	5466.3	0.97143	1.35278	6501.0	5509.0	6048.1	6093.5	0.543495	-0.084131	6095.4
9	1.0886	1.4203	5645	0.014	1.564952	5421.7	0.98114	1.36321	6523.2	5534.1	6072.8	6110.8	0.544641	-0.070597	6115.2
10	1.102	1.425	5900	0.014	1.648098	5483.3	0.99642	1.37936	6557.3	5573.3	6110.2	6137.5	0.545664	-0.050853	6140.0
11	1.146	1.113	6290	0.014	1.945037	6466.8	1.04930	1.43061	6660.2	5703.9	6240.4	6234.1	0.561015	0.011661	6239.1
12	1.209	1.218	6145	0.014	2.439329	6541.8	1.12727	1.54613	6800.0	5806.3	6425.8	6226.0	0.623519	0.322564	6373.9
13	1.22	1.419	6115	0.014	2.534629	6119.1	1.14070	1.58226	6824.9	5794.9	6459.7	6220.2	0.645512	0.360329	6295.6
14	1.227	1.401	6165	0.014	2.596737	6195.7	1.14925	1.60525	6840.7	5788.1	6480.0	6215.9	0.657308	0.381737	6318.2
15	1.244	1.338	6150	0.014	2.752412	6432.8	1.17002	1.66108	6879.2	5773.4	6525.4	6204.0	0.680028	0.427453	6395.6
16	1.254	1.267	6462	0.014	2.847255	6666.8	1.18203	1.69582	6902.3	5762.6	6553.3	6196.6	0.693790	0.451100	6479.6
17	1.257	1.472	6320	0.014	2.876189	6200.9	1.18555	1.70710	6909.5	5758.1	6563.0	6194.5	0.699036	0.457734	6336.2
18	1.27	1.21	6395	0.014	3.004171	6914.2	1.20080	1.75596	6940.6	5739.5	6602.7	6184.6	0.718641	0.484367	6593.5
19	1.271	1.315	6645	0.014	3.014193	6637.9	1.20197	1.75972	6943.0	5738.2	6605.6	6183.8	0.719957	0.486292	6498.8
20	1.272	1.288	6512	0.014	3.024240	6712.7	1.20315	1.76348	6945.4	5736.8	6608.5	6183.0	0.721247	0.488200	6526.6
21	1.273	2	6350	0.014	3.034313	5391.4	1.20432	1.76723	6947.8	5735.5	6611.4	6182.1	0.722513	0.490094	6060.3
22	1.28	1.25	6200	0.014	3.105543	6859.3	1.21253	1.79354	6964.5	5726.4	6631.1	6176.1	0.730704	0.502941	6592.4
23	1.288	1.623	6230	0.014	3.188504	6059.5	1.22191	1.82361	6983.6	5716.5	6652.6	6168.8	0.738748	0.516845	6299.8
24	1.29	1.34	6152	0.014	3.209506	6679.7	1.22426	1.83113	6988.4	5714.2	6657.8	6166.9	0.740557	0.520205	6538.9
25	1.306	1.49	6650	0.014	3.381352	6417.7	1.24254	1.89198	7027.8	5695.3	6702.6	6156.1	0.755972	0.542549	6452.4
26	1.325	1.331	6880	0.014	3.594447	6894.8	1.26329	1.96565	7077.1	5673.6	6760.9	6150.2	0.774705	0.561636	6681.6
27	1.328	1.354	6580	0.014	3.629009	6852.4	1.26657	1.97728	7084.9	5670.4	6769.6	6149.0	0.777066	0.564596	6667.5
28	1.356	1.328	6980	0.014	3.963971	7073.5	1.29635	2.08884	7159.4	5640.0	6849.7	6135.6	0.796193	0.590344	6809.4
29	1.366	1.584	6200	0.014	4.089145	6527.3	1.30593	2.13258	7188.7	5625.5	6883.3	6131.3	0.804621	0.597872	6565.1
30	1.377	1.616	6238	0.014	4.230300	6517.4	1.31646	2.18070	7220.9	5610.4	6918.4	6125.5	0.812139	0.606233	6572.0

Çizelge 3.4'ün devamı

Sıra	M (M \odot)	R (R \odot)	T $_{eff}$ (K)	Bolluk (Z)	L(M) (L \odot)	T $_x$ (K)	R(ZAMS) (R \odot)	R(TAMS) (R \odot)	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CCI	CC2	T $_{eff}$ (HSY) (K)
31	1.377	1.613	6276	0.014	4.230300	6523.5	1.31646	2.18070	7220.9	5610.4	6918.4	6125.5	0.812139	0.606233	6575.0
32	1.392	1.784	6625	0.014	4.428745	6274.4	1.33082	2.24631	7264.6	5591.6	6963.3	6116.0	0.819884	0.617682	6461.8
34	1.414	1.614	6265	0.014	4.732565	6706.9	1.34901	2.35005	7336.2	5558.3	7039.0	6103.5	0.832877	0.631784	6707.9
33	1.414	1.985	6575	0.014	4.732565	6047.8	1.34901	2.35005	7336.2	5558.3	7039.0	6103.5	0.832877	0.631784	6361.1
35	1.419	1.544	7106	0.014	4.803780	6882.9	1.35277	2.37460	7353.4	5550.1	7057.3	6100.6	0.835791	0.634753	6807.7
36	1.425	1.494	6842	0.014	4.890315	7028.5	1.35728	2.40406	7374.0	5540.7	7078.7	6096.9	0.838908	0.638372	6893.6
37	1.441	1.798	6200	0.014	5.126901	6482.9	1.36931	2.48262	7428.7	5517.1	7133.2	6085.6	0.845424	0.648244	6614.9
38	1.4588	1.592	7000	0.014	5.400267	6979.7	1.38009	2.55307	7496.4	5511.6	7202.7	6087.5	0.852020	0.659427	6912.4
39	1.467	2.244	6166	0.014	5.529880	5913.8	1.38383	2.57753	7530.8	5518.0	7239.1	6095.2	0.855090	0.664597	6320.2
40	1.488	2.334	6194	0.014	5.872659	5886.5	1.39341	2.64018	7618.5	5534.7	7328.1	6112.5	0.860644	0.677853	6317.7
41	1.513	1.65	6638	0.014	6.301624	7125.6	1.40218	2.71755	7729.7	5552.4	7441.1	6131.2	0.867428	0.693507	7077.7
42	1.517	1.582	6980	0.014	6.372418	7297.5	1.40319	2.73034	7748.5	5554.8	7460.5	6134.2	0.868687	0.695988	7187.8
43	1.537	2.215	6950	0.014	6.735551	6253.3	1.40825	2.79428	7842.5	5567.5	7554.5	6147.1	0.873417	0.708336	6571.3
44	1.568	2.164	6930	0.014	7.329389	6461.6	1.41542	2.89582	7989.6	5585.8	7702.1	6168.9	0.880394	0.724481	6727.5
45	1.594	1.584	7250	0.014	7.857580	7685.1	1.42101	2.98244	8113.8	5600.7	7823.8	6186.0	0.884606	0.736693	7544.4
46	1.603	1.744	7700	0.014	8.047022	7367.8	1.42297	3.01235	8156.7	5606.1	7865.6	6192.0	0.885876	0.740662	7348.0
47	1.61	1.58	7750	0.014	8.196762	7776.5	1.42453	3.03551	8189.9	5610.4	7899.6	6198.1	0.887454	0.743281	7626.9
48	1.615	1.776	7620	0.014	8.305015	7359.0	1.42565	3.05205	8213.6	5613.6	7923.5	6202.2	0.888426	0.745182	7357.7
49	1.616	2.164	6860	0.014	8.326796	6671.0	1.42587	3.05536	8218.3	5614.2	7928.2	6203.0	0.888605	0.745565	6903.1
50	1.6455	1.888	7510	0.014	8.989204	7280.0	1.43245	3.15295	8357.8	5633.4	8063.3	6223.4	0.891880	0.757213	7335.4
51	1.719	1.649	7560	0.014	10.81491	8158.3	1.45035	3.38983	8699.1	5690.1	8395.6	6287.1	0.899158	0.779339	8016.7
52	1.76	2.27	7026	0.014	11.94917	7128.9	1.46058	3.52409	8887.4	5721.5	8574.6	6323.0	0.901203	0.789195	7323.9
53	1.764	2.36	7228	0.014	12.06450	7008.5	1.46167	3.53718	8905.4	5724.7	8592.1	6327.2	0.901510	0.789867	7241.4
54	1.77	1.96	7600	0.014	12.23909	7718.1	1.46331	3.55683	8932.5	5729.4	8618.2	6333.4	0.901874	0.790919	7752.0
55	1.773	1.876	7870	0.014	12.32711	7903.2	1.46413	3.56665	8946.0	5731.8	8631.0	6336.4	0.902015	0.791465	7886.6
56	1.779	1.668	7700	0.014	12.50459	8411.5	1.46577	3.58629	8973.0	5736.5	8656.5	6342.1	0.902218	0.792591	8255.0
57	1.79	3.19	6902	0.014	12.83503	6122.2	1.46878	3.62231	9022.4	5745.3	8702.3	6352.1	0.902327	0.794773	6622.4
58	1.82	2.21	7850	0.014	13.77019	7485.9	1.47697	3.71958	9157.0	5770.2	8829.1	6383.1	0.903205	0.799623	7622.2
59	1.823	2.15	7638	0.014	13.86649	7602.8	1.47779	3.72927	9170.4	5772.7	8841.7	6386.3	0.903268	0.800084	7708.9
60	1.869	2.969	7608	0.014	15.40850	6642.6	1.49059	3.86985	9374.8	5818.3	9031.2	6438.3	0.903388	0.807018	7039.3
61	1.931	2.557	7570	0.014	17.69011	7409.2	1.50849	4.03586	9646.4	5897.5	9280.8	6527.0	0.902480	0.813929	7637.4
62	1.978	3.375	6500	0.014	19.58494	6615.2	1.52274	4.13754	9848.5	5974.6	9465.0	6612.8	0.900989	0.817172	7084.4

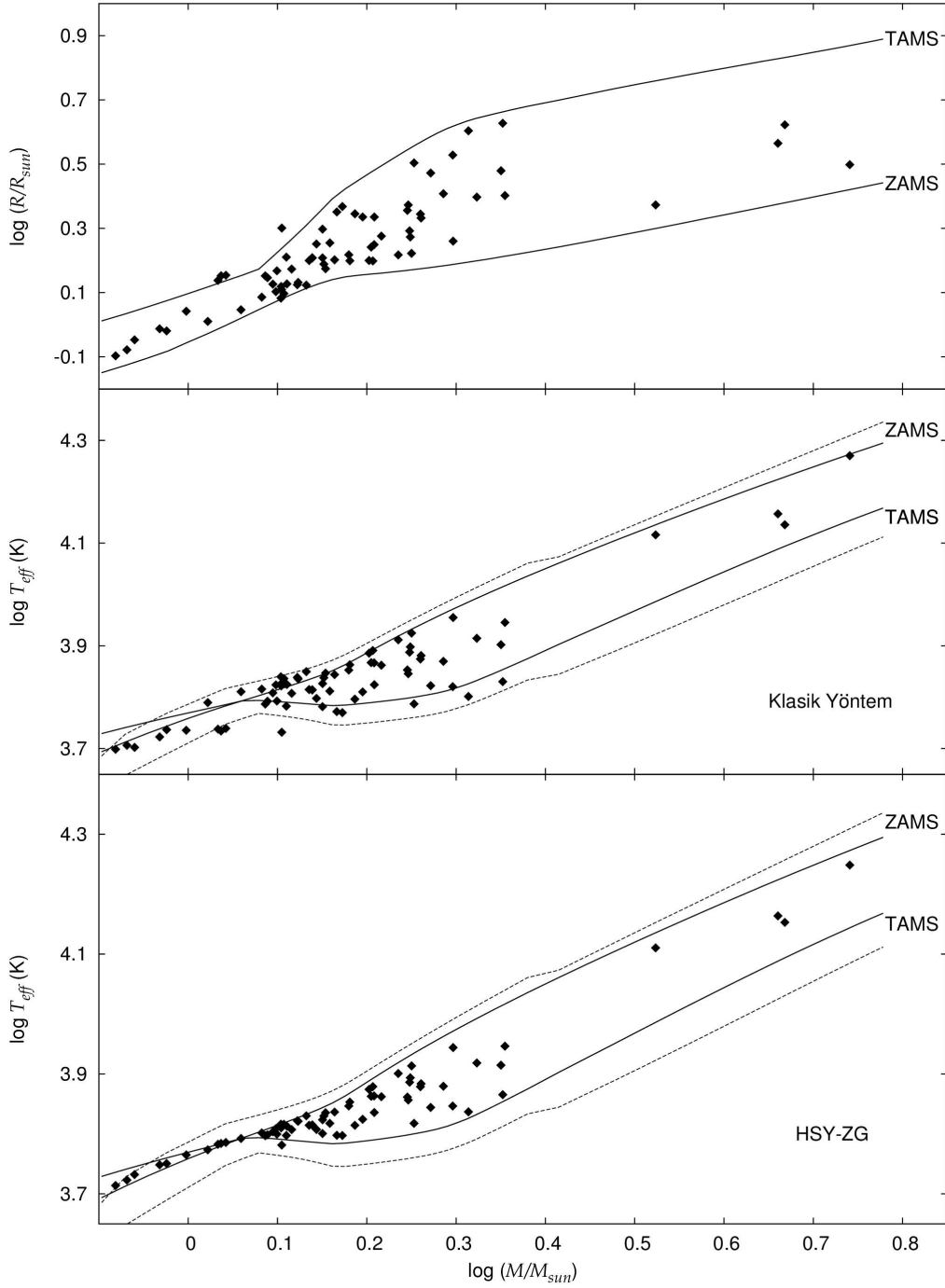
Çizelge 3.4'ün devamı

Sıra	M (M \oplus)	R (R \oplus)	T $_{eff}$ (K)	Bolluk (Z)	L(M) (L \oplus)	T $_x$ (K)	R(ZAMS) (R \oplus)	R(TAMS) (R \oplus)	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	T $_{eff}$ (HSY) (K)
63	1.98	1.82	8600	0.014	19.66887	9018.0	1.52336	4.14136	9857.0	5978.3	9472.6	6616.7	0.900894	0.817299	8854.9
64	2.06	4.017	7920	0.014	23.25768	6329.8	1.54864	4.29379	10194.6	6122.4	9775.3	6781.4	0.897033	0.819607	6933.9
65	2.105	2.496	8100	0.014	25.48453	8215.8	1.56292	4.36255	10382.5	6214.4	9941.6	6884.9	0.894206	0.820120	8352.6
66	2.24	3.015	8200	0.014	33.15160	7983.3	1.60731	4.54618	10934.0	6501.4	10427.5	7208.3	0.885750	0.819957	8284.6
67	2.25	4.24	6750	0.014	33.78235	6763.8	1.61077	4.55946	10973.8	6522.6	10461.1	7231.2	0.884817	0.820086	7406.2
68	2.263	2.525	9520	0.014	34.61599	8818.4	1.61503	4.57589	11026.3	6550.6	10507.9	7263.8	0.884179	0.819791	8907.6
69	3.338	2.361	14500	0.014	145.7090	13062.5	1.97031	5.68583	14299.0	8417.4	13811.4	9807.8	0.917085	0.742236	12969.6
70	4.575	3.671	15100	0.014	512.7279	14347.7	2.34629	6.65924	17946.6	10652.7	16891.0	12372.9	0.855274	0.724256	14661.7
71	4.657	4.192	14750	0.014	550.4005	13666.6	2.36976	6.71694	18176.9	10796.6	17080.9	12533.0	0.851495	0.723684	14301.6
72	5.506	3.151	17500	0.014	1073.869	18630.1	2.60551	7.31945	20487.7	12223.7	18891.4	14047.6	0.806835	0.726455	17802.6

$Z=0.014$ modelleri (Çizelge 3.2) PARSEC evrim modelleri arasında, sınırlı sayıda hesaplanmış modellerden bazılarıdır. $Z=0.014$, bugün Güneş için kabul edilen $Z=0.0152$ metal bolluğuna en yakın halka açık modeller zinciridir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen, ara değer hesabıyla (Denklem 3.4) aynı kütle aralığında $Z=0.0152$ modeller zinciri de hesaplanmıştır (Ek 12). $Z=0.0152$ Güneş metal bolluğu modelleri standart $Z=0.014$ ile $Z=0.017$ modelleri arasında olup, bu modeller kullanılarak ara değer hesabı yaparak hesaplanmış modellerdir.

Şekil 3.6'ya benzer şekilde, $Z=0.0152$ modelleri kullanılarak HSY ile hesaplanmış düzeltilmiş etkin sıcaklıklar Şekil 3.7'de gösterilmiştir. $Z=0.0152$ modelleri kullanılarak, yani bu tez çalışması için seçilen örnek yıldızların, bollukları bilinmeseydi ve $Z=0.0152$ oldukları kabul edilseydi, HSY hesaplarıyla T_{eff} değerlerini hesaplanmasının özeti, Çizelge 3.4'dekine benzer sütunlar ile Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

Sabit Z ile HSY'nin nasıl bir farklılık üreteceği, yani Z 'nin değişmesiyle HSY sonuçlarının nasıl değiştiğini görmek için, $Z=0.014$ ve $Z=0.0152$ varsayımlarına dayalı Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5 hazırlanmıştır.



Şekil 3.7. $Z=0.0152$ modelleri kullanılarak, HSY ile düzeltilmiş sıcaklıkların elde edilmesi. ZAMS ve TAMS her üç diyagramda belirtilmiştir. Üste, örnek yıldızları ZAMS ve TAMS arasına yayılmış iken, klasik yöntemle hesaplanan sıcaklıklar (ortada) ZAMS ve TAMS dışına taşmış ve dönüştürülmüş ZAMS ve TAMS (noktalı çizgiler) arasına dağılmıştır. Alttta, HSY'nin uygulamasıyla klasik sıcaklıklar düzeltildikten sonra, ZAMS ve TAMS arasına dağılmaktadır

Çizelge 3.5. Homojen sıkıştırma yönteminin, $Z=0.0152$ kabulüyle, örnek yıldızlara uygulanıp, T_{eff} lerinin hesaplanması

Sıra	M (M_{\odot})	R (R_{\odot})	T_{eff} (K)	Bolluk (Z)	$L(M)$ (L_{\odot})	T_v (K)	$R(ZAMS)$ (R_{\odot})	$R(TAMS)$ (R_{\odot})	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	$T_{eff}(HSY)$ (K)
1	0.8292	0.7997	4734	0.0152	0.357328	4994.7	0.73085	1.05803	5224.6	4342.3	5077.5	5450.0	0.833243	-0.506733	5174.6
2	0.854	0.835	5000	0.0152	0.418647	5085.4	0.74986	1.08460	5366.3	4462.0	5178.1	5516.9	0.791836	-0.473152	5283.3
3	0.871	0.897	5151	0.0152	0.465427	5038.1	0.76349	1.10334	5460.9	4542.7	5254.3	5565.7	0.774992	-0.437676	5397.7
4	0.929	0.971	5430	0.0152	0.658132	5280.5	0.81113	1.16805	5777.4	4814.5	5482.7	5714.6	0.693914	-0.347136	5602.4
5	0.946	0.956	5185	0.0152	0.725499	5453.0	0.82543	1.18725	5868.4	4893.2	5541.5	5753.6	0.664815	-0.327157	5631.9
6	0.995	1.101	5600	0.0152	0.951702	5437.9	0.87764	1.24381	6090.7	5116.2	5723.0	5869.4	0.622678	-0.241258	5821.1
7	1.052	1.024	5900	0.0152	1.354114	6158.4	0.93791	1.31127	6434.8	5442.1	5912.8	5995.4	0.474165	-0.175467	5935.8
8	1.08	1.374	5875	0.0152	1.513303	5466.3	0.96985	1.34460	6506.3	5525.7	6006.9	6058.6	0.490743	-0.107515	6061.8
9	1.0886	1.4203	5645	0.0152	1.564952	5421.7	0.97966	1.35484	6528.2	5551.2	6032.0	6076.1	0.492137	-0.091781	6082.0
10	1.102	1.425	5900	0.0152	1.648098	5483.3	0.99505	1.37074	6561.8	5590.8	6069.9	6102.9	0.493366	-0.068950	6106.5
11	1.146	1.113	6290	0.0152	1.945037	6466.8	1.04758	1.42208	6665.6	5721.0	6200.5	6198.4	0.507630	0.004305	6200.1
12	1.209	1.218	6145	0.0152	2.439329	6541.8	1.12531	1.51918	6805.9	5857.5	6382.6	6214.5	0.553713	0.320282	6335.8
13	1.22	1.419	6115	0.0152	2.534629	6119.1	1.13879	1.55433	6830.6	5846.7	6416.7	6210.0	0.579340	0.362628	6267.2
14	1.227	1.401	6165	0.0152	2.596737	6195.7	1.14737	1.57669	6846.3	5840.3	6437.1	6206.6	0.593187	0.386269	6288.0
15	1.244	1.338	6150	0.0152	2.752412	6432.8	1.16820	1.63102	6884.5	5826.4	6482.6	6196.5	0.620183	0.436029	6360.5
16	1.254	1.267	6462	0.0152	2.847255	6666.8	1.18030	1.66407	6907.4	5817.3	6510.6	6190.6	0.635970	0.461517	6440.0
17	1.257	1.472	6320	0.0152	2.876189	6200.9	1.18386	1.67448	6914.4	5813.9	6520.1	6189.2	0.641738	0.468661	6305.5
18	1.27	1.21	6395	0.0152	3.004171	6914.2	1.19929	1.71958	6945.0	5799.9	6559.6	6181.9	0.663452	0.497217	6549.5
19	1.271	1.315	6645	0.0152	3.014193	6637.9	1.20047	1.72305	6947.3	5798.9	6562.5	6181.3	0.664920	0.499274	6459.8
20	1.272	1.288	6512	0.0152	3.024240	6712.7	1.20166	1.72652	6949.7	5797.9	6565.4	6180.6	0.666361	0.501313	6486.2
21	1.273	2	6350	0.0152	3.034313	5391.4	1.20285	1.72999	6952.0	5796.9	6568.3	6180.0	0.667776	0.503335	6043.7
22	1.28	1.25	6200	0.0152	3.105543	6859.3	1.21115	1.75428	6968.5	5790.1	6587.8	6175.4	0.676973	0.517039	6549.6
23	1.288	1.623	6230	0.0152	3.188504	6059.5	1.22064	1.78204	6987.2	5782.8	6609.1	6169.7	0.686084	0.531843	6270.6
24	1.29	1.34	6152	0.0152	3.209506	6679.7	1.22302	1.78898	6991.9	5781.1	6614.3	6168.2	0.688147	0.535417	6499.3
25	1.306	1.49	6650	0.0152	3.381352	6417.7	1.24160	1.84667	7030.5	5764.8	6658.7	6158.0	0.706237	0.560126	6416.3
26	1.325	1.331	6880	0.0152	3.594447	6894.8	1.26286	1.91947	7078.4	5741.4	6716.0	6148.1	0.728951	0.582746	6638.0
27	1.328	1.354	6580	0.0152	3.629009	6852.4	1.26622	1.93097	7085.9	5738.0	6724.5	6146.2	0.731856	0.586183	6624.3
28	1.356	1.328	6980	0.0152	3.963971	7073.5	1.29685	2.04107	7158.0	5705.7	6802.8	6128.4	0.755459	0.614698	6763.6
29	1.366	1.584	6200	0.0152	4.089145	6527.3	1.30687	2.08407	7186.1	5690.6	6835.3	6123.4	0.765441	0.621873	6521.7
30	1.377	1.616	6238	0.0152	4.230300	6517.4	1.31789	2.13136	7217.0	5675.0	6869.2	6116.9	0.774464	0.629931	6527.9

Çizelge 3.5'in devamı

Sıra	M (M _⊙)	R (R _⊙)	T _{eff} (K)	Bolluk (Z)	L(M) (L _⊙)	T _x (K)	R(ZAMS) (R _⊙)	R(TAMS) (R _⊙)	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	T _{eff} (HSY) (K)
31	1.377	1.613	6276	0.0152	4.230300	6523.5	1.31789	2.13136	7217.0	5675.0	6869.2	6116.9	0.774464	0.629931	6530.9
32	1.392	1.784	6625	0.0152	4.428745	6274.4	1.33292	2.19586	7258.9	5655.5	6912.5	6106.7	0.783971	0.641079	6417.7
34	1.414	1.614	6575	0.0152	4.732565	6706.9	1.35232	2.29624	7327.2	5623.0	6985.2	6095.8	0.799361	0.652916	6661.5
33	1.414	1.985	6265	0.0152	4.732565	6047.8	1.35232	2.29624	7327.2	5623.0	6985.2	6095.8	0.799361	0.652916	6317.5
35	1.419	1.544	7106	0.0152	4.803780	6882.9	1.35639	2.31981	7343.5	5615.3	7002.7	6093.6	0.802779	0.655226	6760.4
36	1.425	1.494	6842	0.0152	4.890315	7028.5	1.36127	2.34808	7363.2	5606.3	7023.5	6090.7	0.806467	0.658118	6845.5
37	1.441	1.798	6200	0.0152	5.126901	6482.9	1.37429	2.42349	7415.3	5584.0	7075.3	6081.6	0.814336	0.666344	6569.3
38	1.4588	1.592	7000	0.0152	5.400267	6979.7	1.38648	2.49879	7479.1	5571.1	7140.7	6079.4	0.822646	0.676130	6862.9
39	1.467	2.244	6166	0.0152	5.529880	5913.8	1.39101	2.52944	7511.3	5570.2	7174.7	6082.4	0.826602	0.680791	6275.8
40	1.488	2.334	6194	0.0152	5.872659	5886.5	1.40262	2.60791	7593.5	5568.8	7257.6	6087.3	0.834115	0.692997	6270.9
41	1.513	1.65	6638	0.0152	6.301624	7125.6	1.41338	2.69430	7699.0	5576.3	7364.5	6099.0	0.842426	0.707691	7022.7
42	1.517	1.582	6980	0.0152	6.372418	7297.5	1.41465	2.70708	7717.1	5578.6	7383.2	6101.9	0.843849	0.710038	7131.8
43	1.537	2.215	6950	0.0152	6.735551	6253.3	1.42100	2.77101	7807.3	5590.8	7473.3	6114.5	0.849328	0.721803	6520.7
44	1.568	2.164	6930	0.0152	7.329389	6461.6	1.42935	2.87210	7950.6	5608.8	7616.9	6136.0	0.857480	0.737434	6675.3
45	1.594	1.584	7250	0.0152	7.857580	7685.1	1.43544	2.95811	8072.9	5623.6	7736.4	6153.0	0.862614	0.749455	7485.7
46	1.603	1.744	7700	0.0152	8.047022	7367.8	1.43754	2.98773	8115.2	5629.1	7777.5	6159.0	0.864172	0.753368	7290.9
47	1.61	1.58	7750	0.0152	8.196762	7776.5	1.43917	3.01054	8148.1	5633.7	7811.1	6165.1	0.865970	0.755932	7567.8
48	1.615	1.776	7620	0.0152	8.305015	7359.0	1.44033	3.02683	8171.6	5636.9	7834.7	6169.2	0.867093	0.757799	7300.7
49	1.616	2.164	6860	0.0152	8.326796	6671.0	1.44056	3.03009	8176.3	5637.6	7839.4	6170.1	0.867302	0.758176	6849.6
50	1.6455	1.888	7510	0.0152	8.989204	7280.0	1.44741	3.12619	8314.5	5657.5	7972.7	6190.7	0.871370	0.769693	7278.9
51	1.719	1.649	7560	0.0152	10.81491	8158.3	1.46581	3.36863	8653.1	5708.0	8301.6	6250.2	0.880667	0.790922	7957.0
52	1.76	2.27	7026	0.0152	11.94917	7128.9	1.47648	3.50485	8839.4	5737.2	8478.2	6284.1	0.883578	0.800502	7268.4
53	1.764	2.36	7228	0.0152	12.06450	7008.5	1.47759	3.51792	8857.3	5740.3	8495.6	6288.1	0.883961	0.801188	7186.2
54	1.77	1.96	7600	0.0152	12.23909	7718.1	1.47926	3.53752	8884.2	5745.0	8521.4	6294.0	0.884436	0.802264	7694.0
55	1.773	1.876	7870	0.0152	12.32711	7903.2	1.48009	3.54732	8897.6	5747.3	8534.2	6296.9	0.884632	0.802821	7827.9
56	1.779	1.668	7700	0.0152	12.50459	8411.5	1.48175	3.56692	8924.5	5752.1	8559.4	6302.4	0.884940	0.803972	8194.5
57	1.79	3.19	6902	0.0152	12.83503	6122.2	1.48481	3.60285	8973.6	5760.7	8604.9	6311.9	0.885236	0.806202	6569.9
58	1.82	2.21	7850	0.0152	13.77019	7485.9	1.49319	3.70006	9107.1	5785.4	8730.5	6342.1	0.886632	0.810975	7564.8
59	1.823	2.15	7638	0.0152	13.86649	7602.8	1.49403	3.70974	9120.4	5787.9	8743.0	6345.2	0.886745	0.811421	7651.0
60	1.869	2.969	7608	0.0152	15.40850	6642.6	1.50720	3.85418	9323.0	5830.1	8930.5	6394.1	0.887622	0.818100	6984.1
61	1.931	2.557	7570	0.0152	17.69011	7409.2	1.52563	4.03240	9592.0	5900.0	9177.1	6473.0	0.887604	0.825148	7578.3
62	1.978	3.375	6500	0.0152	19.58494	6615.2	1.54020	4.14721	9792.5	5967.7	9359.2	6548.4	0.886719	0.828779	7024.3

Çizelge 3.5'in devamı

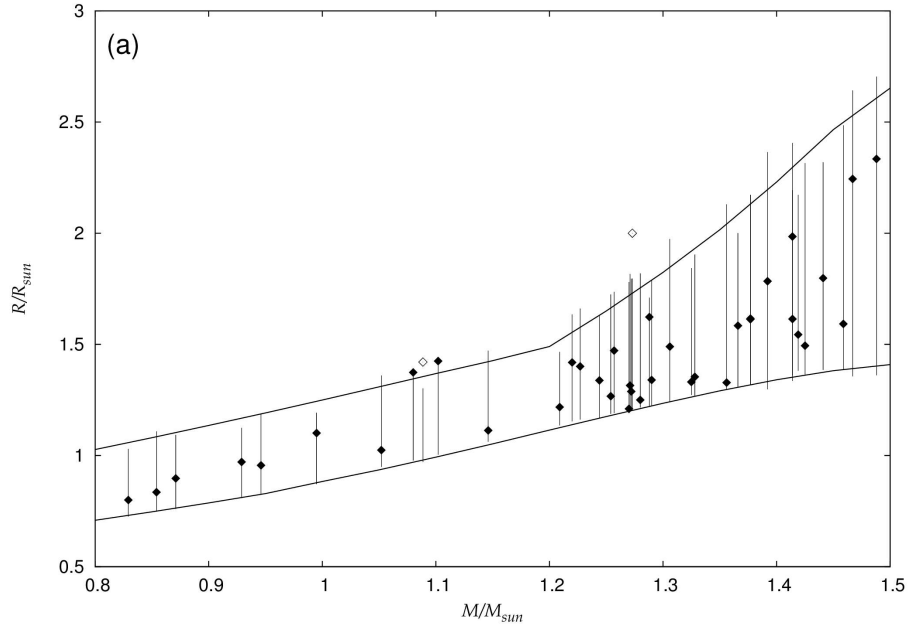
Sıra	M (M_{\oplus})	R (R_{\oplus})	T_{eff} (K)	Bolluk (Z)	$L(M)$ (L_{\oplus})	T_x (K)	$R(ZAMS)$ (R_{\oplus})	$R(TAMS)$ (R_{\oplus})	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	T_{eff} (HSY) (K)
63	1.98	1.82	8600	0.0152	19.66887	9018.0	1.54083	4.15170	9801.0	5970.8	9366.8	6551.8	0.886650	0.828922	8791.4
64	2.06	4.017	7920	0.0152	23.25768	6329.8	1.56636	4.32053	10136.7	6103.5	9667.4	6702.9	0.883636	0.831810	6869.3
65	2.105	2.496	8100	0.0152	25.48453	8215.8	1.58104	4.39680	10322.9	6190.2	9831.9	6800.6	0.881193	0.832389	8286.3
66	2.24	3.015	8200	0.0152	33.15160	7983.3	1.62599	4.58674	10871.0	6472.6	10313.8	7117.5	0.873314	0.832111	8215.3
67	2.25	4.24	6750	0.0152	33.78235	6763.8	1.62943	4.59992	10910.8	6493.8	10347.3	7140.2	0.872417	0.832266	7336.2
68	2.263	2.525	9520	0.0152	34.61599	8818.4	1.63379	4.61699	10962.9	6521.4	10393.7	7172.4	0.871852	0.831880	8838.4
69	3.338	2.361	14500	0.0152	145.7090	13062.5	1.99343	5.74779	14215.9	8371.9	13680.9	9698.9	0.908452	0.750036	12895.0
70	4.575	3.671	15100	0.0152	512.7279	14347.7	2.37297	6.73327	17845.5	10594.0	16752.1	12257.6	0.849216	0.729857	14584.1
71	4.657	4.192	14750	0.0152	550.4005	13666.6	2.39661	6.79171	18074.8	10737.0	16941.8	12417.5	0.845595	0.729165	14223.8
72	5.506	3.151	17500	0.0152	1073.869	18630.1	2.63396	7.39985	20376.8	12157.1	18752.3	13931.2	0.802367	0.730999	17727.8

3.2.1.3. Özgün Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY-ZX)

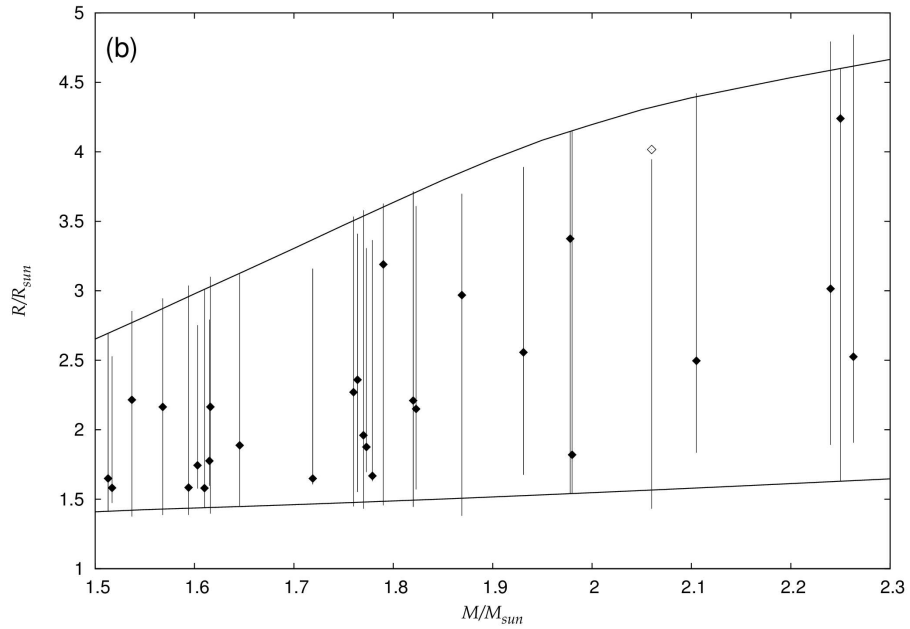
Klasik yöntem ile hesaplanmış T_{eff} 'lerin düzeltilmesinde, HSY'nin tek bir metal bolluğu (Z) ile üretilmiş teorik evrim yollarının kullanılması, HSY'nin en büyük kusurudur. Uygulama için seçilen yıldız örneğindeki yıldızların metal bollukları dar bir aralıkta, mesela Güneş civarındaki yıldızlar için kabul edilen ± 0.5 dex gibi, dağılmış olmalarının ne kadar hataya sebep olduğu henüz bilinmemektedir. Tek bir Z değerinin kullanılması yaklaşımı, hesaplama işlemini çok kısaltmaktadır. Ayrıca böyle bir seçimdeki başka bir zorunluluk, çok az sayıda ayırık örten SB2 tayfsal çift yıldız için metal bolluğu ölçümünün yapılmış olmasıdır. 114R072 nolu TÜBİTAK proje çerçevesinde yapılan güncellemeler ile Eker vd (2014) katalogundaki yıldız sayısı (257), %26 artıp 324'e ulaşmıştır. 324 çift sistem arasında bu tez çalışması için toplanan ham örnekte 37 sistemin (%11) metal bolluğu ölçülmüştür.

Çizelge 3.1'de, ham örnek içine alınmış bu yıldızlar kütle sırasına göre, tek tek listelenmiştir. Ham örnek yıldızları, Bölüm 3.1.4'de anlatıldığı şekliyle homojenleştirilmiş, yani kaba görünüşte $\log M - \log R$ diyagramında ZAMS ve TAMS dışına taşmış olanlar, bir başka ifadeyle anakola henüz gelmemiş veya anakol evrimini tamamlayıp anakoldan ayrılmış yıldızlar ayıklanmıştır. Ham örnekten çıkarılması gereken, dev bileşenlere sahip tek bir sistem olduğu (HD 187669 isimli yıldız sistemi Çizelge 3.1'de, Sıra, 41 ve 42) görülmektedir.

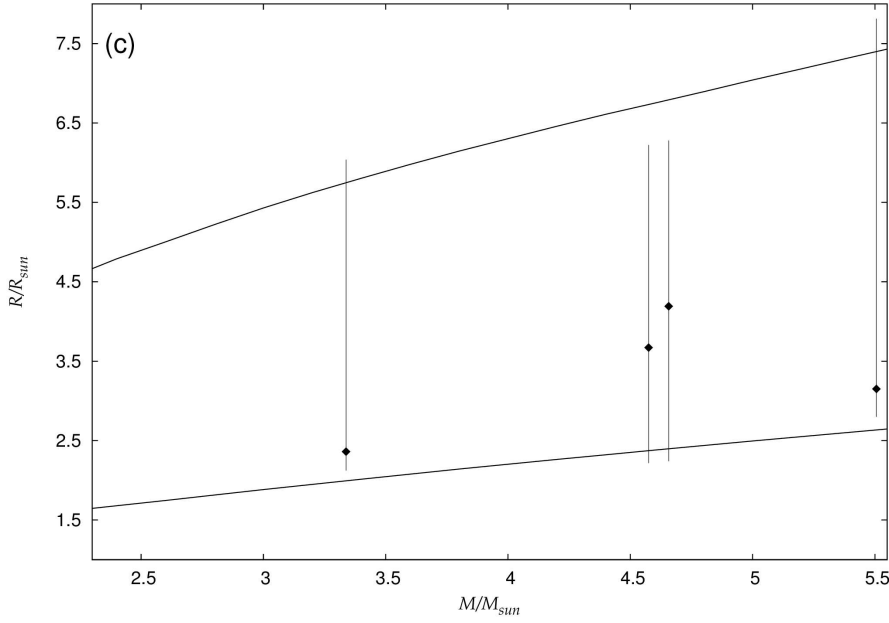
Bölüm 3.1.4'de uygulanan homojenleştirme işlemi, ilk yaklaşımdır. Örnek yıldızların $[Fe/H]$ değerlerinin dağılımındaki, en büyük ve en küçük metal bolluğuna göre $\log M - \log R$ diyagramı üstünde çizilmiş $Z=0.014$ 'nin ZAMS ve TAMS çizgileri kullanarak yapılmış, kaba bir homojenleştirmedir. Çizelge 3.1'de olup, elenmemiş her bir yıldızın metal bolluğu (Z) uygun ZAMS ve TAMS değerlerinin belirlenmesinden sonra, logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramı üstünde, yıldızın Z değerine uygun ZAMS ve TAMS değerlerinin yıldız konumuyla birlikte işaretlenmesiyle, bir bakıma daha ince bir elekten geçirmek suretiyle hassas homojenleştirme işlemi yapılmalıdır.



Şekil 3.8a. $0.8 < M/M_{\odot} < 1.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (◆) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder



Şekil 3.8b. $1.5 < M/M_{\odot} < 2.3$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (◆) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder



Şekil 3.8c. $2.3 < M/M_{\odot} < 5.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (♦) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder

Logaritmadan kurtarılmış $M-R$ diyagramları ve üstünde örnek yıldızlarının konumları Şekil 3.8a, Şekil 3.8b ve Şekil 3.8c'de gösterilmiştir. Görelî bir kıyaslama olsun diye diyagramlar üstüne, Güneş metal bolluğunu ($Z=0.0152$) temsil eden modellerden elde edilmiş ZAMS ve TAMS çizgileri de eklenmiştir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgi o yıldızın metal bolluğuna uygun olarak çizilmiştir. Yıldızın yarıçapının alabileceği en küçük (ZAMS) ve en büyük (TAMS) yarıçap değerlerini gösterir. Görüldüğü gibi üç yıldız hariç, tüm örnek yıldızları şekil üstüne çizilen ZAMS ve TAMS arasında yer almaktadır. Yıldız konumunun düşey çizginin alt sınırına yakın olması, anakol ömründe henüz genç olduğunu, üst sınıra yakın olması, yaşlı olmasına işaretler. Farklı anakol evrimi aşamasında yıldızların olduğu görülmektedir.

Şekil 3.8a'da alt sınır farklı Z değerleri için hemen hemen aynıdır. Bunun böyle olması, Şekil 3.2 ile de tutarlıdır. Küçük kütleli yıldızlarda alt sınırın Z ile değişmediği Şekil 3.2'de görülmektedir. Ama üst sınırlar, yani TAMS değerlerinin farklı Z 'ler için zaman zaman $Z=0.0152$ için çizilen TAMS'ın altında kaldığı gibi, bazıları üstüne çıkmıştır. Farklı Z 'ler için standart bir farkın (düşey çizginin boyu) olmadığı açıktır. Şekil 3.8b ve Şekil 3.8c'de farklı Z 'ler için, TAMS gibi ZAMS noktalarının da değiştiği görülmektedir. $M-R$ diyagramı üstünde (♦) sembolüyle işaretli yıldızlar, o yıldızın gözlemsel Z değerine uygun ZAMS ve TAMS arasında kalan, normal anakol yıldızlarıdır.

Ancak, Şekil 3.8a ve 8b'deki diyagramlar üstünde (\diamond) ile işaretli yıldızlar, anakol ömrünü tamamlamış yıldızlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçekten, Çizelge 3.1'de dokuzuncu sırada olan V568 Lyr yıldızının baş bileşeni hakkında, Yakut vd. (2015) yıldızın anakol ömrünü tamamladığını doğrulamaktadır. Bu yıldız, NGC 6791 isimli açık kümesinin bir üyesidir ve küme için çizilen eş-yaş eğrileri göz önüne alındığında, V568 Lyr yıldızının baş bileşeni, anakol dönüm noktasında, yani küme yaşını belirlerken, anakoldan yeni ayrılmış veya anakoldan ayrılmakta olan yıldızlar arasında olduğu belirtilmiştir.

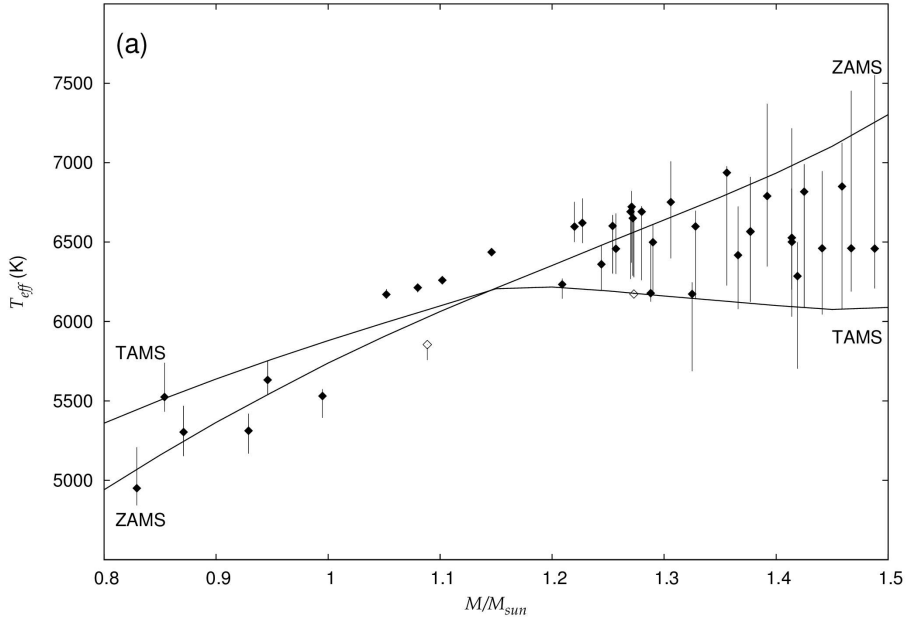
Şekil 3.8a üstünde (\diamond) ile işaretli ikinci yıldız, V2653 Oph çift yıldızın yoldaş bileşenidir. Çizelge 3.1'de yirmi birinci satırda listelenmiştir. Bu yıldız, Çakırlı ve İbanoğlu'na (2016) göre, muhtemelen Colinder 359 isimli açık kümeye üye bir yıldızdır. Sistemin γ Dor tipi pulsasyon yaptığından bahsedilmiş ancak evrim durumundan bahsedilmemiştir. Bu tez çalışmasında bu yıldızın, anakol ömrünü tamamlamış yıldız olduğu görülmektedir.

Anakol ömrünü tamamlamış olarak bulunan üçüncü yıldız HD 172189 isimli çift yıldızın baş bileşenidir, Çizelge 3.1'de atmış altıncı satırda listelenmiştir ve Şekil 3.8b'de (\diamond) ile işaretlenmiştir. İbanoğlu (2009) bu yıldızın anakol ömrünü tamamlamadığını, anakoldan ayrılmak üzere veya anakoldan yeni ayrılmış olduğu doğrulanmaktadır.

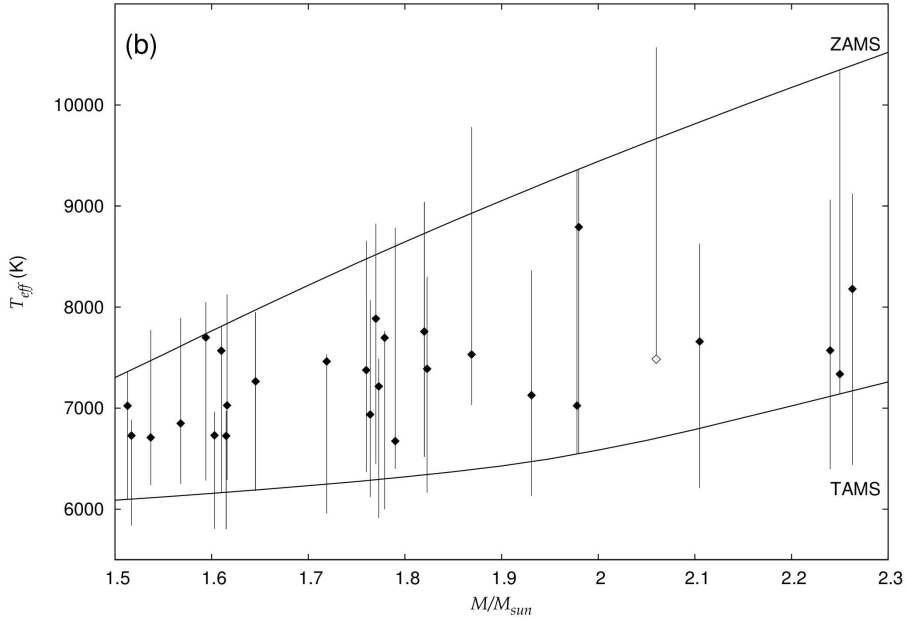
Bu üç yıldız, Çizelge 3.1'in açıklamalar sütununda (*) ile işaretlenmiş, HSY'nin bu yıldızlar için bir farklılık gösterip göstermeyeceğini görmek için, örnek içinde bırakılmıştır.

Logaritmadan kurtarılmış $M - T_{eff}$ diyagramında örnek yıldızların konumları ve $Z=0.0152$ modellerine göre ZAMS ve TAMS sınırları Şekil 3.9a, 3.9b ve 3.9c'de gösterilmiştir.

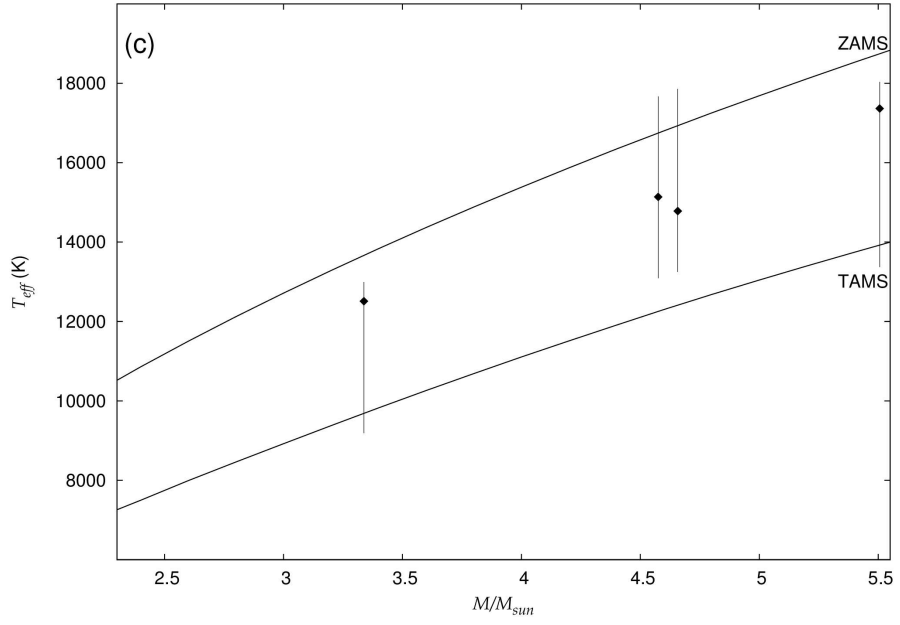
$M-R$ diyagramında, her bir yıldızın Z değerine göre belirlenmiş ZAMS ve TAMS değerleri ve yıldız konumu, standart HSY için tanımlanan CC1 ve CC2 katsayıları hesaplanarak, standart iki adımlı düzeltme işlemine tabi tutulmuş, düzeltilmiş sıcaklıkları hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 3.6'te listelenmiştir.



Şekil 3.9a. $0.8 < M/M_{\odot} < 1.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-T$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (◆) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder



Şekil 3.9b. $1.5 < M/M_{\odot} < 2.3$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-T$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (◆) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder



Şekil 3.9c. $2.3 < M/M_{\odot} < 5.5$ kütle aralığında logaritmadan kurtarılmış $M-T$ diyagramında örnek yıldızların dağılımı. ZAMS ve TAMS sınırlarını gösteren düz (—) çizgiler, $Z=0.0152$ modellerini temsil etmektedir. Her bir yıldızın konumu (◆) sembolüyle gösterilmektedir. Her bir yıldız konumundan geçen düşey çizgilerin alt ve üst ucu söz konusu yıldızın, sırasıyla, ZAMS ve TAMS sınırını temsil eder

Çizelge 3.6. Homojen sıkıştırma yönteminin, gözlemsel Z'ler (özgün Z'ler) ile örnek yıldızlara uygulanıp, T_{eff} 'lerinin hesaplanması

Sıra	M (M \odot)	R (R \odot)	T_{eff} (K)	Bolluk (Z)	L(M) (L \odot)	T_x (K)	R(ZAMS) (R \odot)	R(TAMS) (R \odot)	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	T_{eff} (HSY) (K)
1	0.8292	0.7997	4734	0.0264	0.357328	4994.7	0.72590	1.02986	5242.4	4401.3	4842.3	5208.1	0.524322	-0.829548	4950.1
2	0.854	0.835	5000	0.0098	0.418647	5085.4	0.74776	1.10874	5373.8	4413.2	5431.7	5740.3	1.060208	-0.303021	5524.3
3	0.871	0.897	5151	0.0185	0.465427	5038.1	0.76037	1.09236	5472.1	4565.4	5152.4	5468.8	0.647424	-0.539033	5303.9
4	0.929	0.971	5430	0.0293	0.658132	5280.5	0.80910	1.12442	5784.7	4907.0	5168.2	5419.4	0.297609	-0.961483	5312.5
5	0.946	0.956	5185	0.0152	0.725499	5453.0	0.82543	1.18725	5868.4	4893.2	5541.5	5753.6	0.664815	-0.327157	5631.9
6	0.995	1.101	5600	0.0293	0.951702	5437.9	0.87139	1.19257	6112.5	5225.0	5393.6	5573.7	0.190012	-1.067993	5530.5
7	1.052	1.024	5900	0.0098	1.354114	6158.4	0.94844	1.35986	6399.0	5344.0	6160.4	6204.6	0.773838	-0.054083	6170.5
8	1.08	1.374	5875	0.0112	1.513303	5466.3	0.97755	1.37994	6480.6	5454.5	6184.2	6213.6	0.711213	-0.040237	6213.3
9	1.0886	1.4203	5645	0.0264	1.564952	5421.7	0.97070	1.30201	6558.2	5662.7	5757.3	5834.1	0.105735	-0.810543	5854.7
10	1.102	1.425	5900	0.0112	1.648098	5483.3	1.00368	1.40660	6533.6	5519.0	6245.7	6259.4	0.716303	-0.018739	6259.8
11	1.146	1.113	6290	0.0098	1.945037	6466.8	1.06217	1.47162	6619.7	5623.9	6439.8	6419.7	0.819401	0.024648	6436.8
12	1.209	1.218	6145	0.0189	2.439329	6541.8	1.13566	1.46608	6774.8	5962.7	6270.3	6143.1	0.378772	0.413598	6233.8
13	1.22	1.419	6115	0.0084	2.534629	6119.1	1.15363	1.63450	6786.5	5701.5	6752.8	6500.5	0.968953	0.240033	6597.6
14	1.227	1.401	6165	0.0084	2.596737	6195.7	1.16129	1.66098	6805.2	5690.2	6775.4	6493.1	0.973307	0.260149	6621.1
15	1.244	1.338	6150	0.0152	2.752412	6432.8	1.16820	1.63102	6884.5	5826.4	6482.6	6196.5	0.620183	0.436029	6360.5
16	1.254	1.267	6462	0.0117	2.847255	6666.8	1.18746	1.72462	6886.5	5714.3	6670.2	6302.4	0.815429	0.384717	6601.2
17	1.257	1.472	6320	0.0117	2.876189	6200.9	1.19090	1.73635	6894.0	5709.4	6680.2	6300.2	0.819560	0.391370	6457.9
18	1.27	1.21	6395	0.0122	3.004171	6914.2	1.20473	1.78039	6929.3	5700.0	6696.5	6268.2	0.810634	0.429845	6691.2
19	1.271	1.315	6645	0.0098	3.014193	6637.9	1.21031	1.81679	6919.1	5647.3	6821.9	6370.6	0.923599	0.384231	6722.1
20	1.272	1.288	6512	0.0117	3.024240	6712.7	1.20812	1.79499	6931.1	5686.2	6727.7	6288.2	0.836653	0.422028	6650.6
21	1.273	2	6350	0.0119	3.034313	5391.4	1.20884	1.79615	6934.8	5689.1	6720.7	6278.7	0.828135	0.428466	6173.1
22	1.28	1.25	6200	0.0122	3.105543	6859.3	1.21627	1.81915	6953.8	5685.9	6725.9	6259.4	0.820258	0.448601	6691.1
23	1.288	1.623	6230	0.0185	3.188504	6059.5	1.21900	1.71004	6991.9	5903.3	6493.0	6125.2	0.541653	0.623654	6178.0
24	1.29	1.34	6152	0.0152	3.209506	6679.7	1.22302	1.78898	6991.9	5781.1	6614.3	6168.2	0.688147	0.535417	6499.3
25	1.306	1.49	6650	0.0088	3.381352	6417.7	1.24343	1.97394	7025.3	5575.8	7007.9	6397.4	0.987986	0.426310	6752.0
26	1.325	1.331	6880	0.0429	3.594447	6894.8	1.27245	1.84296	7051.6	5859.4	6246.6	5686.9	0.324790	1.445494	6173.0
27	1.328	1.354	6580	0.0159	3.629009	6852.4	1.26601	1.90395	7086.5	5778.6	6697.7	6143.6	0.702759	0.602818	6598.5
28	1.356	1.328	6980	0.0119	3.963971	7073.5	1.29600	2.12958	7160.3	5585.8	6978.4	6226.7	0.884470	0.539771	6937.0
29	1.366	1.584	6200	0.0181	4.089145	6527.3	1.30995	2.00085	7177.7	5807.7	6724.6	6078.2	0.669301	0.705015	6417.7
30	1.377	1.616	6238	0.0142	4.230300	6517.4	1.31670	2.17247	7220.2	5621.1	6910.2	6124.2	0.806139	0.609710	6564.8

Çizelge 3.6'nın devamı

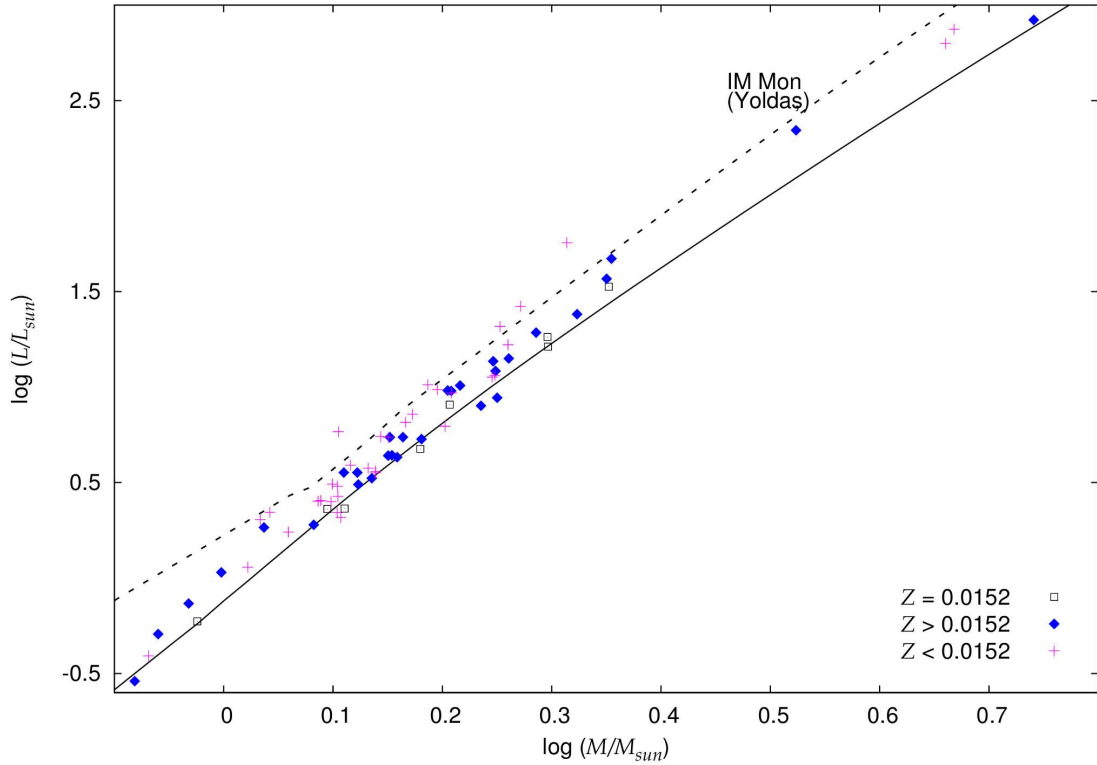
Sıra	M (M_{\oplus})	R (R_{\oplus})	T_{eff} (K)	Bolluk (Z)	L(M) (L_{\oplus})	T_x (K)	R(ZAMS) (R_{\oplus})	R(TAMS) (R_{\oplus})	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CCI	CC2	T_{eff} (HSY) (K)
31	1.377	1.613	6276	0.0142	4.230300	6523.5	1.31670	2.17247	7220.2	5621.1	6910.2	6124.2	0.806139	0.609710	6567.7
32	1.392	1.784	6625	0.0088	4.428745	6274.4	1.29773	2.36467	7356.6	5449.9	7370.6	6347.2	1.007323	0.532839	6789.7
34	1.414	1.614	6575	0.0189	4.732565	6706.9	1.36089	2.19374	7304.1	5752.9	6837.8	6030.1	0.699437	0.744438	6526.9
33	1.414	1.985	6265	0.0117	4.732565	6047.8	1.33567	2.40596	7372.7	5493.3	7216.2	6201.3	0.916718	0.589059	6500.7
35	1.419	1.544	7106	0.0396	4.803780	6882.9	1.38127	2.17280	7277.1	5802.1	6498.7	5702.7	0.472277	1.142776	6286.0
36	1.425	1.494	6842	0.0159	4.890315	7028.5	1.36360	2.31543	7356.9	5645.7	6990.5	6086.0	0.785868	0.672573	6816.9
37	1.441	1.798	6200	0.0181	5.126901	6482.9	1.38481	2.31930	7387.1	5708.0	6947.1	6043.9	0.737991	0.728951	6460.8
38	1.4588	1.592	7000	0.0155	5.400267	6979.7	1.38808	2.48523	7474.8	5586.3	7125.1	6077.1	0.814846	0.681058	6850.4
39	1.467	2.244	6166	0.0117	5.529880	5913.8	1.35627	2.64202	7606.9	5450.2	7452.6	6189.2	0.928475	0.630975	6460.8
40	1.488	2.334	6194	0.0117	5.872659	5886.5	1.36133	2.70460	7707.8	5468.4	7551.8	6208.0	0.930365	0.644988	6459.0
41	1.513	1.65	6638	0.0152	6.301624	7125.6	1.41338	2.69430	7699.0	5576.3	7364.5	6099.0	0.842426	0.707691	7022.7
42	1.517	1.582	6980	0.0293	6.372418	7297.5	1.47313	2.52862	7562.4	5772.1	6882.0	5840.0	0.619964	0.938819	6727.9
43	1.537	2.215	6950	0.0119	6.735551	6253.3	1.37528	2.85376	7936.0	5509.2	7771.8	6238.9	0.932348	0.677490	6708.9
44	1.568	2.164	6930	0.0122	7.329389	6461.6	1.38658	2.94542	8072.3	5538.5	7892.6	6250.9	0.929089	0.697388	6849.0
45	1.594	1.584	7250	0.0119	7.857580	7685.1	1.38707	3.03763	8212.5	5549.5	8049.5	6283.7	0.938781	0.706351	7699.7
46	1.603	1.744	7700	0.0396	8.047022	7367.8	1.57726	2.75319	7747.5	5864.0	6964.3	5805.4	0.584176	1.053289	6730.7
47	1.61	1.58	7750	0.0152	8.196762	7776.5	1.43917	3.01054	8148.1	5633.7	7811.1	6165.1	0.865970	0.755932	7567.8
48	1.615	1.776	7620	0.0429	8.305015	7359.0	1.59669	2.79270	7761.2	5868.5	6974.5	5802.1	0.584372	1.059989	6725.4
49	1.616	2.164	6860	0.0122	8.326796	6671.0	1.39649	3.10010	8304.3	5573.6	8123.5	6290.4	0.933778	0.718869	7027.1
50	1.6455	1.888	7510	0.0155	8.989204	7280.0	1.45115	3.11950	8303.8	5663.6	7950.1	6182.3	0.866056	0.773157	7264.6
51	1.719	1.649	7560	0.0305	10.81491	8158.3	1.60733	3.15918	8263.3	5894.1	7532.0	5957.7	0.691307	0.961177	7462.2
52	1.76	2.27	7026	0.0133	11.94917	7128.9	1.44855	3.53430	8924.2	5713.3	8654.6	6367.2	0.916021	0.777679	7375.7
53	1.764	2.36	7228	0.0219	12.06450	7008.5	1.55232	3.41032	8641.5	5830.2	8066.4	6120.2	0.795437	0.870309	6935.9
54	1.77	1.96	7600	0.0122	12.23909	7718.1	1.43224	3.57859	9028.8	5711.9	8825.1	6447.5	0.938573	0.763738	7885.5
55	1.773	1.876	7870	0.0429	12.32711	7903.2	1.69583	3.30699	8312.4	5952.5	7487.9	5913.1	0.650639	1.025683	7214.9
56	1.779	1.668	7700	0.0305	12.50459	8411.5	1.62979	3.36537	8509.5	5921.8	7762.7	5998.1	0.711401	0.958555	7695.8
57	1.79	3.19	6902	0.0133	12.83503	6122.2	1.45660	3.62727	9060.1	5741.3	8783.5	6400.0	0.916649	0.783469	6673.6
58	1.82	2.21	7850	0.0122	13.77019	7485.9	1.44536	3.71552	9256.6	5773.3	9040.7	6516.4	0.938027	0.772578	7757.5
59	1.823	2.15	7638	0.0219	13.86649	7602.8	1.57088	3.60964	8894.5	5867.6	8299.2	6165.5	0.803313	0.877493	7388.6
60	1.869	2.969	7608	0.0082	15.40850	6642.6	1.38029	3.69842	9742.2	5951.6	9779.7	7029.5	1.009884	0.718430	7530.8
61	1.931	2.557	7570	0.0293	17.69011	7409.2	1.67603	3.89076	9151.5	6006.5	8362.2	6132.4	0.749019	0.946535	7126.9
62	1.978	3.375	6500	0.0152	19.58494	6615.2	1.54020	4.14721	9792.5	5967.7	9359.2	6548.4	0.886719	0.828779	7024.3

Çizelge 3.6'nın devamı

Sıra	M (M_{\odot})	R (R_{\odot})	T_{eff} (K)	Bolluk (Z)	$L(M)$ (L_{\odot})	T_x (K)	$R(ZAMS)$ (R_{\odot})	$R(TAMS)$ (R_{\odot})	Z' (K)	T' (K)	Z (K)	T (K)	CC1	CC2	$T_{\text{eff}}(HSY)$ (K)
63	1.98	1.82	8600	0.0152	19.66887	9018.0	1.54083	4.15170	9801.0	5970.8	9366.8	6551.8	0.886650	0.828922	8791.4
64	2.06	4.017	7920	0.0082	23.25768	6329.8	1.43231	3.94649	10600.5	6386.1	10570.6	7525.7	0.992920	0.727666	7485.0
65	2.105	2.496	8100	0.042	25.48453	8215.8	1.83498	4.42138	9582.0	6172.9	8627.8	6210.3	0.720096	0.984786	7659.0
66	2.24	3.015	8200	0.042	33.15160	7983.3	1.89197	4.79414	10077.9	6331.0	9061.4	6396.0	0.728695	0.976209	7571.4
67	2.25	4.24	6750	0.0152	33.78235	6763.8	1.62943	4.59992	10910.8	6493.8	10347.3	7140.2	0.872417	0.832266	7336.2
68	2.263	2.525	9520	0.0429	34.61599	8818.4	1.90675	4.84263	10147.9	6367.7	9122.1	6438.3	0.728656	0.974364	8178.3
69	3.338	2.361	14500	0.0233	145.7090	13062.5	2.12319	6.03748	13774.6	8168.6	12995.0	9183.8	0.860928	0.789646	12510.8
70	4.575	3.671	15100	0.0094	512.7279	14347.7	2.21688	6.22289	18463.0	11019.9	17671.6	13090.6	0.893675	0.688697	15138.8
71	4.657	4.192	14750	0.0094	550.4005	13666.6	2.23955	6.27959	18697.9	11166.2	17861.6	13251.1	0.888964	0.688605	14781.7
72	5.506	3.151	17500	0.0233	1073.869	18630.1	2.79877	7.81396	19767.7	11830.5	18033.7	13369.6	0.781528	0.751892	17365.2

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışması için oluşturulan örnek içindeki 72 anakol yıldızının (Çizelge 3.1) $\log M - \log L$ diyagramındaki dağılımı Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu diyagram üstündeki dağılıma referans olması bakımından, Bressan vd'nin (2012) modellerinden $Z=0.014$ ile $Z=0.017$ modelleri kullanılarak ara değer hesabıyla hesaplanmış, $Z=0.0152$ metal bolluğuna karşılık gelen, modellerden elde edilmiş ZAMS (sürekli) ve TAMS (kesikli) çizgileri de yerleştirilmiştir. Diyagram üstünde metal bolluğu Güneş'ten daha fakir ($Z < 0.0152$) olan yıldızlar (+) sembolüyle, metal bolluğu Güneş'ten daha zengin ($Z > 0.0152$) olan yıldızlar (◆) sembolüyle ve metal bolluğu Güneş'e benzer olan sekiz yıldız ise (□) sembolüyle gösterilmiştir.

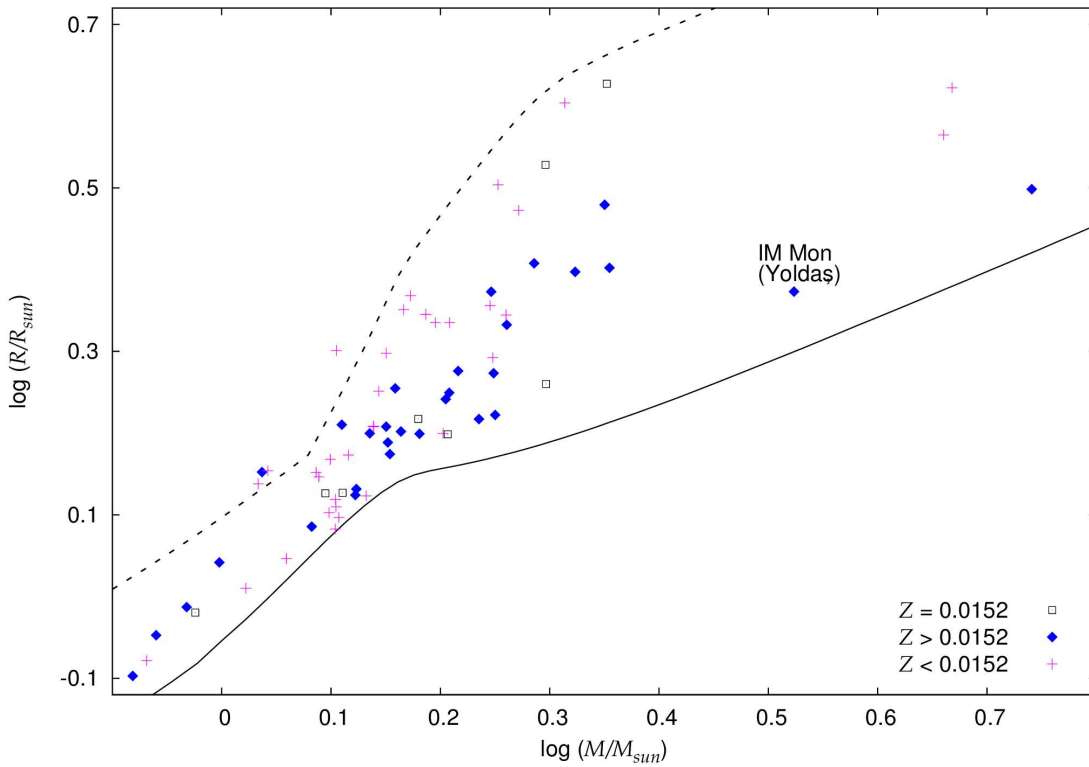


Şekil 4.1. Tez çalışması için seçilen örnek yıldızların $\log M - \log L$ diyagramındaki konumları

Metal bolluğu, Güneş'e göre daha fakir yıldızların ZAMS ve TAMS çizgileri, Şekil 3.2'de gösterildiği ve teorik yıldız iç yapısı ve evrimi modellerinin seçimi (Bölüm 3.1.3) bölümünde anlatıldığı gibi, $\log M - \log R$ diyagramında Güneş metal bolluğu modellerine göre daha büyük ışınım gücüne sahip olduklarından, Şekil 4.1'de Güneş'e göre metalce fakir yıldızların, Güneş'e göre metalce zengin olan yıldızlara göre, görece olarak daha büyük L değerlerine sahip oldukları, daha çok TAMS çizgisine yakın kümellendikleri görülmektedir. Buna karşılık, Güneş'e göre metalce zengin yıldızların daha küçük L değerlerinde, daha çok TAMS çizgisine yakın kümellendikleri de açıkça görülmektedir. Her farklı metal bolluğu özgün bir ZAMS ve TAMS sınırına sahiptir. Şekil üstünde karmaşıklığa sebep olmasın diye sadece Güneş metal bolluğunu temsil

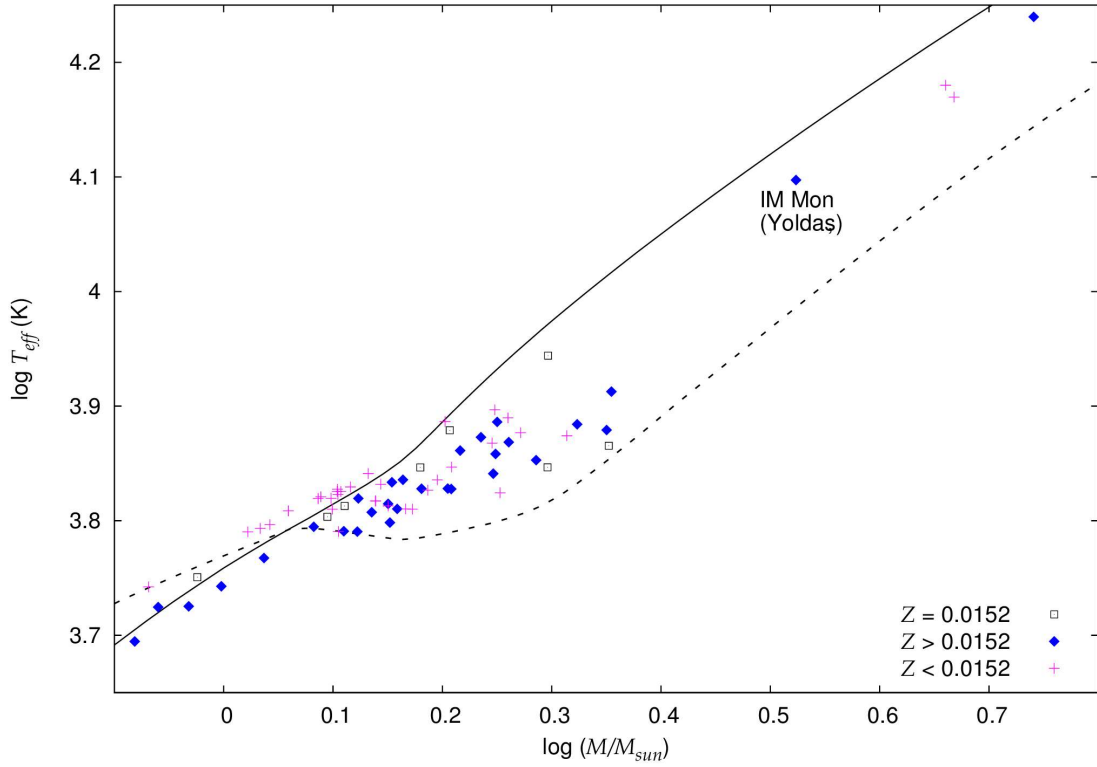
eden $Z=0.0152$ modellerinden elde edilmiş ZAMS ve TAMS sınırları, genel referans olması bakımından şekil üstüne çizilmiştir.

Bu tez çalışması için seçilen örnek yıldızların yarıçaplarının (R) $\log M - \log R$ diyagramında dağılımları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Güneş'e göre metalce fakir (+) ve zengin (\diamond) yıldızların farklı sembol ile gösterilmeleri Şekil 4.1'deki gibidir. Güneş metal bolluğundaki yıldızların (\square) Şekil 4.1'deki gibi ZAMS ve TAMS arasında yer aldığı ve (+) sembollerle gösterilen ($Z<0.0152$) yıldızların, (\diamond) sembollerle gösterilen ($Z>0.0152$) yıldızlarına göre daha büyük çaplara sahip oldukları şekilde açıkça görülmektedir. Şekil 4.1 de olduğu gibi, daha fazla kargaşaya sebep olmasın diye, her farklı Z değeri için farklı olan ZAMS ve TAMS sınırları çizilmemiştir. $Z=0.0152$ 'ye karşılık gelen ZAMS ve TAMS sınırları, genel referans olması bakımından çizilmiştir.



Şekil 4.2. Tez çalışması için seçilen örnek yıldızların $\log M - \log R$ diyagramındaki konumları

HSY-ZX, yani özgül Z 'ler kullanılarak uygulanan Homojen sıkıştırma yöntemiyle elde edilen etkin sıcaklıkların $\log M - \log T_{eff}$ diyagramı üstündeki dağılımları, Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekil üstündeki ZAMS (sürekli) ve TAMS (kesikli) gösterimi ve yıldızları temsil eden sembollerin anlamı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'deki gibidir. Bu önceki iki diyagramdan farklı olarak ZAMS ve TAMS çizgilerinin $\log M \approx 0.05$ civarında birbirlerini kestiği görülmektedir.



Şekil 4.3. Tez çalışması için seçilen örnek yıldızların, özgün Z değerleriyle HSY'ye göre hesaplanan sıcaklıkların $\log M - \log T_{eff}$ diyagramındaki konumları

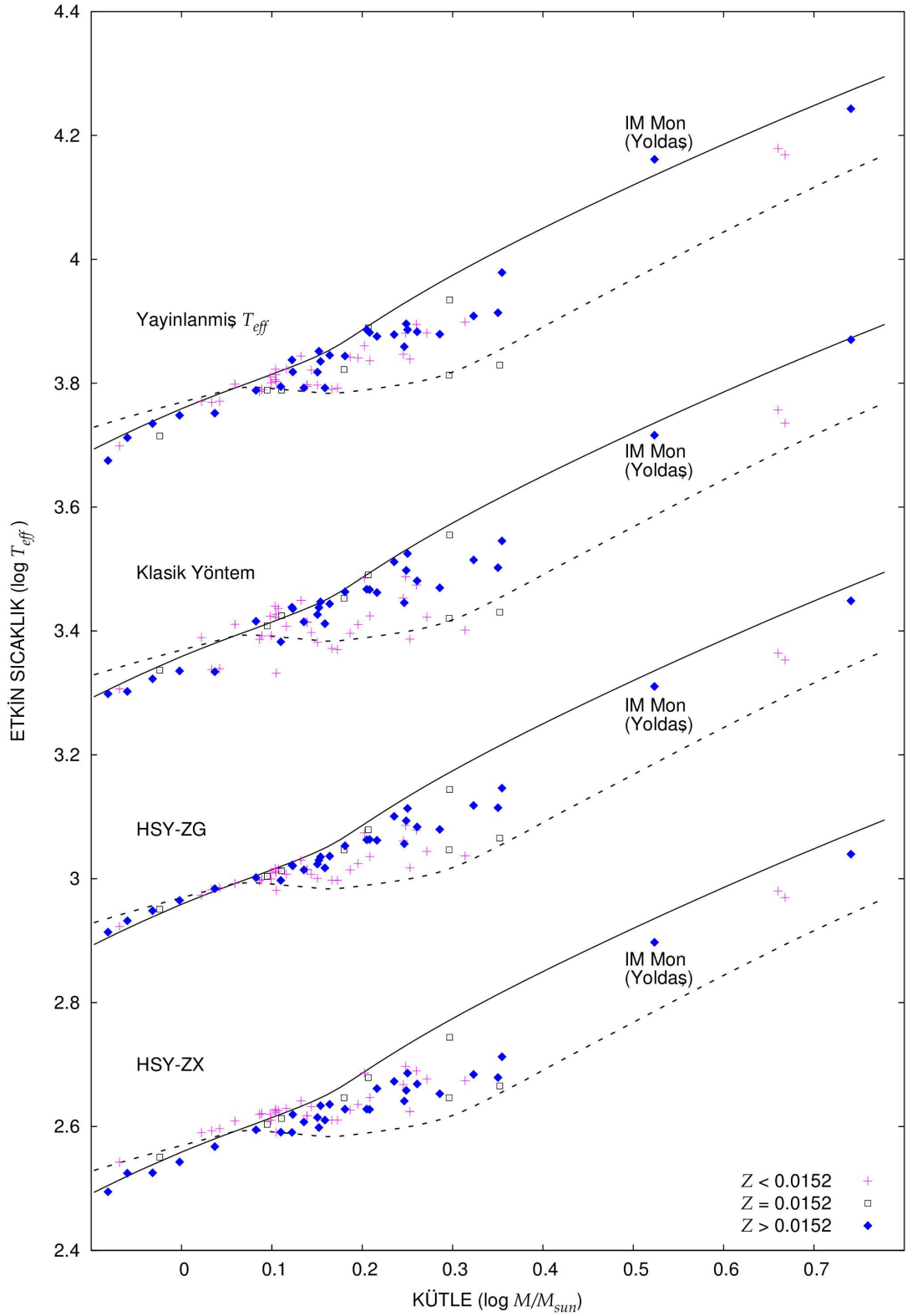
$\log M - \log L$ diyagramında (Şekil 4.1) ve $\log M - \log R$ diyagramında (Şekil 4.2) ZAMS ve TAMS'ın birbirlerini kesmemesinin anlamı şudur: Anakol ömrü boyunca yıldız evrimi ilerledikçe, tüm M ve Z modelleri için, yıldız yarıçapı ve ışınım gücü artmaktadır. Ancak, anakol ömrü boyunca sıcaklık değişimleri için aynı şey söylenemez. Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi, büyük kütleli yıldızlarda, $M \geq 1.1 M_{\odot}$, anakol evrimi boyunca R artış oranı L artış oranından büyüktür. Bir yıldız için R , L ve T_{eff} , Stefan-Boltzmann yasasıyla bağlı olduklarından, $M \geq 1.1 M_{\odot}$ yıldızları için daha büyük bir hızla büyüyen R , $\log M - \log T_{eff}$ aralığında, anakol ömrü boyunca azalan sıcaklıklara karşılık gelmektedir. Oysa, $M \leq 1.1 M_{\odot}$ için, yani kabaca Güneş gibi ve daha küçük kütleli yıldızlarda anakol ömrü boyunca L artışı baskındır. Stefan-Boltzmann yasası çerçevesinde artan L 'yi karşılayabilmesi için, artan yarıçap ile birlikte, yıldızın etkin sıcaklığı da artmak zorundadır. Bu yüzden Şekil 4.3'te küçük kütle tarafında TAMS çizgisi ZAMS çizgisine göre daha büyük T değerleri almaktadır. Büyük kütle tarafında bunun tersi yani ZAMS çizgisi TAMS çizgisine göre daha büyük sıcaklıkları temsil ettiği görülmektedir.

Farklı metal bolluğu, farklı evrim yolu, farklı ZAMS ve TAMS demektir. Küçük kütleli yıldızlarda ve büyük kütleli yıldızlarda sıcaklık evriminin yönünün de farklı olması, öncekinde soğuktan sıcağa olurken, sonrakinde sıcaktan soğuğa doğru olması bakımından Şekil 4.3'teki dağılımın yorumunu yapabilmek için, farklı yöntem sonuçlarının karşılaştırılması gibi, ek bilgilere ihtiyaç vardır. Bu tez çalışmasının nihai

sonucu gibi görünen HYS-ZX yöntemiyle elde edilmiş sıcaklıkların $\log M - \log T_{eff}$ diyagramında dağılımları (Şekil 4.3) bu bölümde değil, bundan sonraki bölümde tartışılacaktır.

4.1. Hesaplanmış ve Yayınlanmış Sıcaklıkların Karşılaştırılması

Bu tez çalışması için seçilen örnek yıldızların gözlemsel yarıçaplarını kullanarak, HSY-ZX yöntemiyle hesaplanmış etkin sıcaklıkları, klasik yöntem ile ve HSY-ZG yöntemiyle elde edilmiş etkin sıcaklıkları ve bu yıldızların yayınlanmış etkin sıcaklıkları karşılaştırma yapabilmek için aynı $\log M - \log T_{eff}$ diyagramı üstüne işaretlenmiştir (Bkz Şekil 4.4). Sıcaklıkların üst üste gelmesini ve dağılımların iç içe girmesini önlemek, daha sağlıklı karşılaştırma yapabilmek için Şekil 4.4'de yayınlanmış ve farklı yöntemler ile hesaplanmış sıcaklıklar düşey eksende kaydırılmış şekilde işaretlenmişlerdir. Yine genel anlamda referans olması bakımından Güneş metal bolluğunu temsil eden $Z=0.0152$ modellerinden elde edilen ZAMS (sürekli) ve TAMS (kesikli) çizgileri de aynı şekilde kaydırılarak şekle eklenmiştir.



Şekil 4.4. Yayınlanmış T_{eff} değerlerinin, klasik yöntem, HSY-ZG ve HSY-ZX yöntemleriyle hesaplanmış T_{eff} değerleriyle karşılaştırılması. Verilerin sağlıklı karşılaştırılma yapılabilmesi için yayınlanmış T_{eff} değerleri hariç, diğerleri 0.4 dex oranında kaydırılmıştır

Şekil 4.4'de yukarıdan aşağı doğru önce yayınlanmış etkin sıcaklıkların, sonra klasik yöntem ile hesaplanmış etkin sıcaklıkların, sonra HSY-ZG yöntemiyle ve en altta HSY-ZX yöntemiyle hesaplanmış etkin sıcaklıkların $\log M - \log T_{eff}$ diyagramı üstünde dağılımları görülmektedir.

Yayınlanmış sıcaklıkların istisnasız ZAMS ve TAMS arasına girdikleri söylenemez, farklı metal bolluğu (Z) farklı ZAMS ve TAMS gerektirdiği için tüm örnek yıldızlarının bu iki sınır arasında kalması da beklenemez. Ama genel görünüme göre büyük kütleli yıldızlarda ($M \geq 1.1 M_{\odot}$) birkaç tanesi hariç yıldızların çoğunun ZAMS ve TAMS arasında yer aldığı görülmektedir. Buna karşılık, küçük kütleli yıldızlara ($M \leq 1.1 M_{\odot}$) bakıldığında istisnasız hepsinin ZAMS ve TAMS dışında kaldığı görülmektedir.

Klasik yöntem ile hesaplanmış sıcaklıklara bakıldığında, benzer görünüş genelde muhafaza edilmekle birlikte, sıcaklıkların düşey ekseninde daha çok saçıldığı, ZAMS ve TAMS dışında kalan yıldızların sayısının arttığı görülmektedir. Klasik yöntem ile yanlılığı yani ZAMS'a yakın yıldızların sıcaklığı daha büyük, TAMS'a yakın yıldızların sıcaklığı daha soğuk hesaplanması bakımından bu beklenen bir sonuçtur.

Yayınlanmış sıcaklıklar farklı gözlem teknikleriyle, sınırlı dalga boyu aralığında yapılan gözlemler ile belirlendikleri için bu sıcaklıkların gerçek anlamda yıldızların etkin sıcaklıklarını temsil ettikleri şüphelidir. Oysa klasik yöntem ile elde edilen sıcaklıklar, Stefan-Boltzmann yasasıyla tarif edilen etkin sıcaklık tanımına uygun olacak şekilde, yıldızın tüm dalga boylarındaki yaptığı ışınımın tamamında, yani yıldızın ışınım gücü ve yarıçapından elde edilmiş sıcaklıklardır. Bu yüzden, klasik yöntem ile elde edilen sıcaklıklar için böylesi bir şüpheli durum söz konusu değildir. Ancak, klasik yöntem ile belirlenen sıcaklıklarda, yöntemden kaynaklanan bir yanlılık bulunur ve hesaplanan klasik etkin sıcaklık hatası gözlemsel etkin sıcaklık hatasıyla karşılaştırıldığında, klasik yöntem etkin sıcaklık hatalarının büyük olduğu görülür. Eker vd'ne (2015b) göre klasik yöntem ile elde edilen sıcaklıkların hataları gözlemsel sıcaklıkların hatalarına göre ortalama olarak üç misli daha büyüktür.

Klasik yöntemden kaynaklanan yanlılığı giderebilmek, daha duyarlı etkin sıcaklık hesabı yapabilmek için ilk yaklaşımla, Galaksimizdeki Güneş civarındaki yıldızların metal bolluğunu yaklaşık Güneş gibi kabul ederek, sabit Z ($Z=0.014$ veya $Z=0.0152$) değerleri kullanarak farklı kütleli teorik evrim yollarından elde edilmiş ZAMS ve TAMS değerleri yardımıyla hesaplanan HSY-ZG yöntemi, 114R072 nolu TÜBİTAK projesi çerçevesinde önerilmiş, Aslan (2015) bu yöntemi tez çalışmasında kullanmıştır. Aslan (2015), Bressan vd (2012) modelleri arasında $Z=0.014$ modellerini seçip, standartları önceden belirlenmiş $0.35 < M/M_{\odot} < 40$ kütle aralığında, 76 farklı kütleli temsil eden evrim yollarından ZAMS ve TAMS değerlerini belirlenmiş ve 450 anakol yıldızına, HSY-ZG sistemini uygulamıştır. Bressan vd'nin (2012) $Z=0.014$ modelleri, bugün kabul edilen $Z=0.0152$ Güneş metal bolluğuna en yakın, hesaplanmış ve yayınlanmış modellerdir. Aslan'ın (2015) tezinde $Z=0.0152$ için ara değer yapılmamış, $Z=0.014$ ile yetinilmiştir.

Bu tez çalışması HSY uygulamalarında metal bolluğunun etkisinin araştırılması hedeflendiği için, yıldız sayısından feragat edip, sınırlı sayıda (72 tane) yıldızın

gözlemsel yarıçapları ve tayflarından belirlenen $[Fe/H]$ ölçümleri ve bu ölçümlere karşılık gelen Z değerleri kullanılarak özgül Z 'ler ile etkin sıcaklıklar hesaplanmıştır (Çizelge 3.6). Yayınlanmış Bressan vd (2012) modellerinin Z aralıkları, bu tez çalışmasındaki yıldızların Z dağılımında kullanılan aralıklardan geniştir. Bu yüzden, her bir yıldızın gözlemler ile belirlenmiş Z metal bolluğuna uygun teorik evrim yolları, $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ aralığındaki kütleler için, ara değer yöntemiyle hesaplanmıştır (Ek 1'den Ek 25'e kadar 25 ek). Bu yüzden Güneş'in bugün kabul edilen, metal bolluğuna uygun $Z=0.0152$ modelleri, bu tez çalışması için ara değer yöntemiyle hesaplanmış özgül Z 'ler için gerekli modeller arasında olduğundan Şekil 4.4'de ZAMS ve TAMS çizimleri için referans kabul edilmiştir. Aslan'dan (2015) farklı olarak $Z=0.014$ değil $Z=0.0152$ modelleri sabit değerli HSY-ZG işleminde uygulanmak üzere seçilmiştir.

Sabit Z ile uygulanan HSY-ZG'den hesaplanan etkin sıcaklıklar Şekil 4.4'de, üstten üçüncü, attan ikinci sıradadır. Kütleleri $M=1.273 M_{\odot}$ ($\log M/M_{\odot} = 0.105$) ve yarıçapı $R=2 R_{\odot}$ olan Çizelge 3.1'de 21. sırada kayıtlı yıldız hariç (V2653 Oph yoldaş), tüm yıldızların bu dağılımda ZAMS ve TAMS arasında yer aldığı açıkça görülmektedir. ZAMS ve TAMS'ın kesim noktasının hemen sağında, kesikli çizginin (TAMS) altında yer alan bu yıldız, 3.2.3. Özgül Z ile Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY-ZX) de sözü edilen anakol ömrünü tamamlamış Şekil 3.8a da (\diamond) ile işaretlemiş iki yıldızdan büyük kütleli olandır. Bu yıldızın Şekil 4.2'deki konumuna bakıldığında, TAMS'ın oldukça üstündeki konumu da dikkat çekicidir. $\log M - \log R$ diyagramındaki TAMS'ın üstündeki bu konumu nedeniyle bu yıldız, Şekil 4.4'de, HSY-ZG sıcaklık dağılımında da TAMS'ın altında bir sıcaklık ile kendini göstermektedir.

V2653 Oph'nin yoldaşından başka, bölüm 3.2.3. Özgül Z ile Homojen Sıkıştırma Yönteminde (HSY-ZX) anakol ömrünü tamamlanmış olan iki yıldızdan daha söz edilmiştir. Bu yıldızlar sırasıyla V568 Lyr çift yıldızın baş bileşeni ($M=1.0886 M_{\odot}$, $R=1.4203 R_{\odot}$) ve HD 172189 çift yıldızının baş bileşenidir ($M=2.06 M_{\odot}$, $R=4.017 R_{\odot}$). Bu iki yıldızdan ilkinin konumu $\log M - \log R$ diyagramında (Şekil 4.2), $Z=0.0152$ için çizilen TAMS'ın üstünde ama TAMS'a çok yakın olduğu için ve diğerinin konumu ZAMS ve TAMS arasında bulunduğu için, bu iki yıldızın HSY-ZG dağılımında fark edilmemesi beklenen bir durumdur.

Kısaca özetlersek, HSY-ZG, yani tek Z ile uygulanan homojen sıkıştırma yöntemi, $\log M - \log R$ diyagramında ZAMS ve TAMS arasında olan anakol yıldızlarını, beklendiği gibi, yıldızın evrim durumuna göre ZAMS ve TAMS arasında konumlandırmaktadır ve bu durum Şekil 4.4'de HSY-ZG dağılımında açıkça görülmektedir.

Gerçekten bu tez çalışması için seçilen örnek yıldızların hepsi, Güneş metal bolluğunda ($Z=0.0152$) olmuş olsalardı, HSY-ZG yöntemi doğru sonuç verecekti. Ancak, biliyoruz ki, örnek yıldızlarımızın $0.008 < Z < 0.050$ bir dağılımı vardır. Farklı Z modelleri, farklı ZAMS ve TAMS değerlerini ortaya koymaktadır. ZAMS ve TAMS değerlerinin değişmesi de, homojen sıkıştırma yöntemiyle elde edilecek sıcaklıkların farklı olmasını sonucunu verecektir. Bu nedenle, Şekil 4.4'deki HSY-ZG dağılım $Z=0.0152$ Güneş metal bolluğu varsayımına dayanan, yapay bir dağılımdır.

Bu yüzden, gözlemler ile ölçülmüş Z değerlerine dayanan, Şekil 4.4'ün en altındaki HSY-ZX dağılımı, örnek yıldızların M ve R ölçümlerinden hesaplanmış en gerçekçi T_{eff} dağılımını vermektedir. HSY-ZG ve HSY-ZX dağılımları karşılaştırıldığında, özellikle $M \lesssim 1.1 M_{\odot}$ küçük kütleli yıldızlar için, HSY-ZG dağılımında görünen ZAMS ve TAMS arasına sıkışmış yapay görünüm, HSY-ZX dağılımında görülmemektedir.

Genel görünüm olarak, yayınlanmış sıcaklıkların dağılımına en çok benzeyen dağılımın, HSY-ZX yöntemiyle elde edilen sıcaklıkların dağılımı olduğu da Şekil 4.4'de açıkça görülmektedir.

4.1.1. Teorik modellere uymayan yayınlanmış T_{eff} 'leri tespit etmek mümkün müdür?

Tek bir teleskop ve/veya tek teleskoba takılmış tek bir algılayıcıyla gözlem yaparak yıldızın tüm dalga boylarında (veya frekanslarda) enerji dağılımını tespit etmek teknik olarak mümkün değildir. Bu nedenle, sonsuza uzanmayan, sınırlı dalga boyu aralığında yapılan gözlemler ile belirlenen sıcaklıkların, gözlemin türüne göre, renk sıcaklığı, parlaklık sıcaklığı, uyarılma sıcaklığı, iyonlaşma sıcaklığı hatta çizgi genişliklerinden hesaplanabilen kinetik sıcaklık olması mümkündür. Tanım gereği, gözlemler ile tespit edilebilen sıcaklıkların etkin sıcaklık olmama durumu veya farklı bir sıcaklığın etkin sıcaklık olarak yayınlanmış olma olasılığı bulunmaktadır.

Madem böylesi bir olasılık mevcuttur, gözlemler ile belirlenmiş ve etkin sıcaklık (T_{eff}) olarak yayınlanmış sıcaklıklar arasında hatalı tayin edilmiş T_{eff} 'ler olabilir. Sadece $\log M - \log T_{eff}$ diyagramı üstündeki sıcaklık dağılımlarına bakarak, yayınlanmış ve hesaplanmış T_{eff} 'ler arasından, hatalı olanlar fark edip çıkarmak mümkün değildir. Ancak bazı özel durumlarda, yıldızın $\log M - \log R$ ve $\log M - \log L$ diyagramındaki konumları da göz önünde tutarak, teorik modellere uymayan yayınlanmış T_{eff} 'leri belirlemek söz konusudur.

Örneğin, Çizelge 3.1'de 71. sırada (sondan dördüncü) listelenmiş olan IM Mon sisteminin yoldaş bileşeninin ($M/M_{\odot} = 3.338 \pm 0.161$, $R/R_{\odot} = 2.361 \pm 0.03$) yayınlanmış etkin sıcaklığı 14500 ± 550 K'dir. Bu yıldızın yayınlanmış etkin sıcaklığının modellere uygun olmadığı, $\log M - \log L$, $\log M - \log R$ ve $\log M - \log T_{eff}$ diyagramlarındaki konumuna bakılarak (Şekil 4.1, 4.2 ve 4.4'teki en üst dağılım) tespit etmek mümkün olmuştur.

Bu yıldızın yayınlanmış T_{eff} 'i HSY-ZX sonucu hesaplanan T_{eff} 'den daha büyük olacak şekilde, teorik modellere uymayan yayınlanmış T_{eff} olarak tespit edilmiştir; çünkü yıldızın Şekil 4.1'deki ve Şekil 4.2'deki konumu, ZAMS ve TAMS arasındadır ve normal bir görünüm sergilemektedir. Ancak, yayınlanmış sıcaklığı $\log M - \log T_{eff}$ diyagramı üstündeki konumu (Şekil 4.4'teki en üst dağılım) normal değildir. 14500 K'lik bir sıcaklığın kütlesi 3.338 olan bir yıldız için, ZAMS sıcaklığından daha sıcak bir konuma yerleşmesi, yıldızın $\log M - \log R$ ve $\log M - \log L$ diyagramındaki konumlarıyla çelişkilidir.

İhtimal odur ki, bu yıldızın T_{eff} 'i yanlış tayin edilmiş, bu yüzden $\log M - \log T_{eff}$ diyagramındaki konumu Güneş metal bolluğunda anakol yıldızlarının sıcaklıklarıyla uyumlu değildir. Sıcaklık hatası, sınırlı kalmış, yıldızın $\log M - \log L$ diyagramındaki konumunu uygunsuz duruma düşürmemiştir. Biraz daha büyük bir sıcaklık, ışınım gücünü $L=4\pi R^2 \sigma T^4$ bağıntısı çerçevesinde, TAMS'ın üstündeki bir ışınım gücü değerinde de bulunabilirdi. Ancak, $\log M - \log R$ diyagramında konumuna bakıldığında, ZAMS'a yakın iken, $\log M - \log L$ diyagramında konumu TAMS'a daha yakındır. Gözlemsel yıldız konumlarını göstermesi bakımından en güvenilir diyagram şüphesiz $\log M - \log R$ diyagramıdır; çünkü doğrudan gözlemler ile belirlenen parametrelere bağlıdır. $\log M - \log L$ diyagramında durum böyle değildir. L 'nin hesaplanması öncelikle R ve T_{eff} değerlerine bağlıdır. Etkin sıcaklıktaki hata, katlanarak (dördüncü kuvvet) kendini $\log M - \log L$ diyagramında göstermiştir.

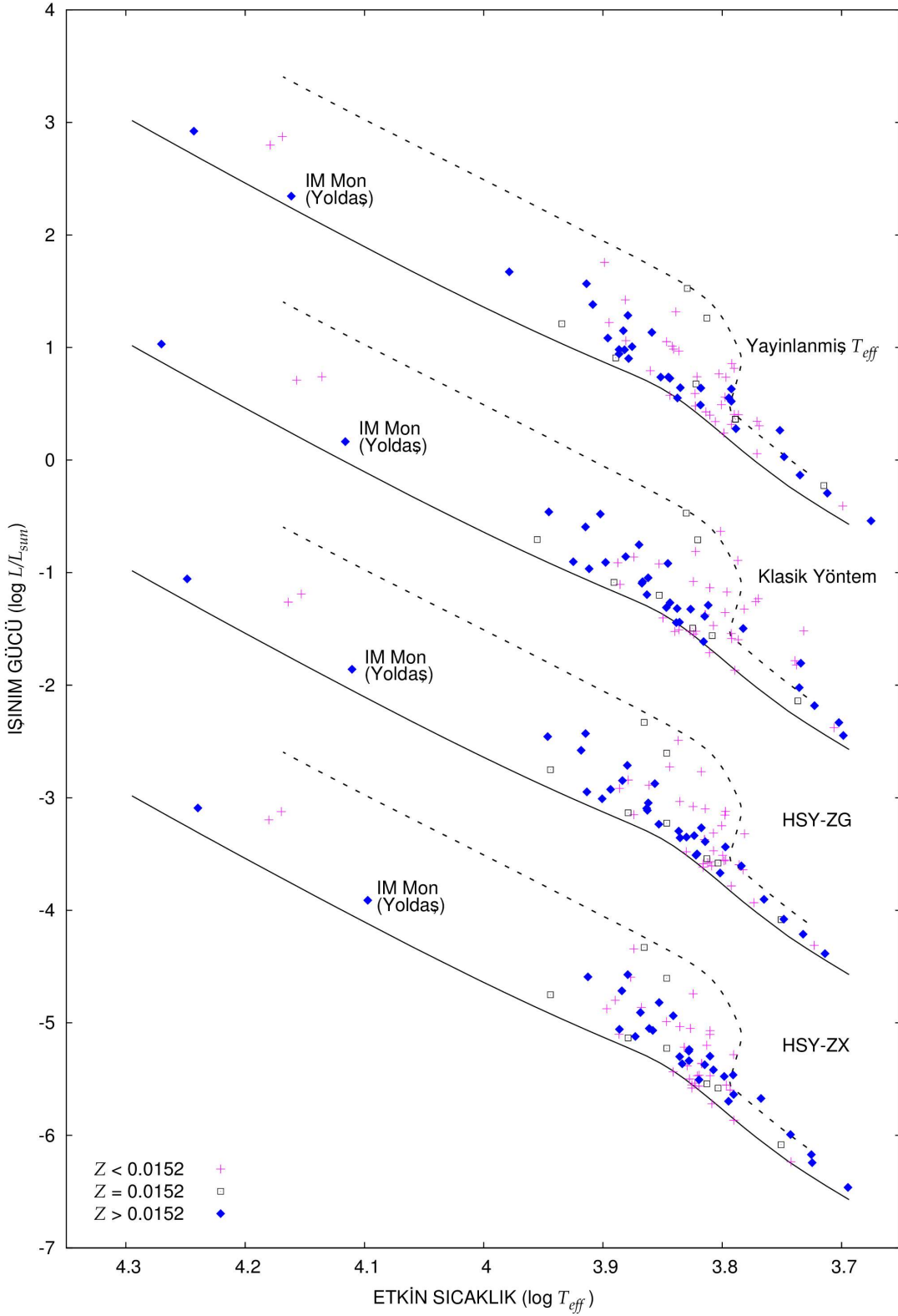
Yıldızın kütlesi ve yarıçapı, klasik yöntem ile hesaplanan sıcaklıklar için yeterli parametrelerdir. ZAMS'a yakın yıldızların sıcaklıklarını olduğundan daha sıcak hesaplayan klasik yöntem bile bu yıldızın sıcaklığı $T_x = 13063$ K olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.4'de, en üst dağılımda, ZAMS'dan daha sıcak olan IM Mon'un yoldaş bileşeni, klasik yöntem ile hesaplanan dağılımda, ZAMS'a yakın ama altında (daha soğuk) bir sıcaklık ile gösterilmektedir. HSY-ZG bu klasik sıcaklığı biraz daha doğru değere çekmiş, ZAMS'dan biraz daha uzaklaştırmıştır. Yıldızın $Z = 0.0233$ değerine göre hesaplanan sıcaklığı $T = 12511$ K sıcaklığı en doğru sıcaklık olmalı ki, hesaplanan sıcaklıklar içinde en küçük sıcaklıktır.

Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'e bakılarak yapılan analize göre, IM Mon sistemin yoldaş yıldızı için, yayınlanmış sıcaklığın, teorik modellere göre olması gerekenden yaklaşık 2000 K daha sıcak bir şekilde belirlendiği anlaşılmaktadır.

Teorik modellerin hesapladığı T_{eff} 'ler, sistemin ışık eğrisi çözümleriyle bir uyumsuzluk gösteriyorsa, ya kütle ve yarıçap tayinleri hatalı ya teorik model hesapları hatalı ya da yıldız anakolda görünüp henüz anakola gelmemiş (Pre-Main Sequence) anakol öncesi bir yıldız olma ihtimali vardır. $H-R$ diyagramında yıldız anakol öncesi evrimde, yıldız anakol üstünden gelip anakol içinden geçerek ZAMS tarafından anakola dâhil olmaktadır.

4.2. Hesaplanmış ve Yayınlanmış T_{eff} 'lerin $H-R$ Diyagramı Üstünde Karşılaştırılması

Yayınlanmış, klasik yöntem ile, HSY-ZG ve HSY-ZX yöntemleriyle elde edilmiş T_{eff} 'ler kullanılarak elde edilmiş $H-R$ diyagramları Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



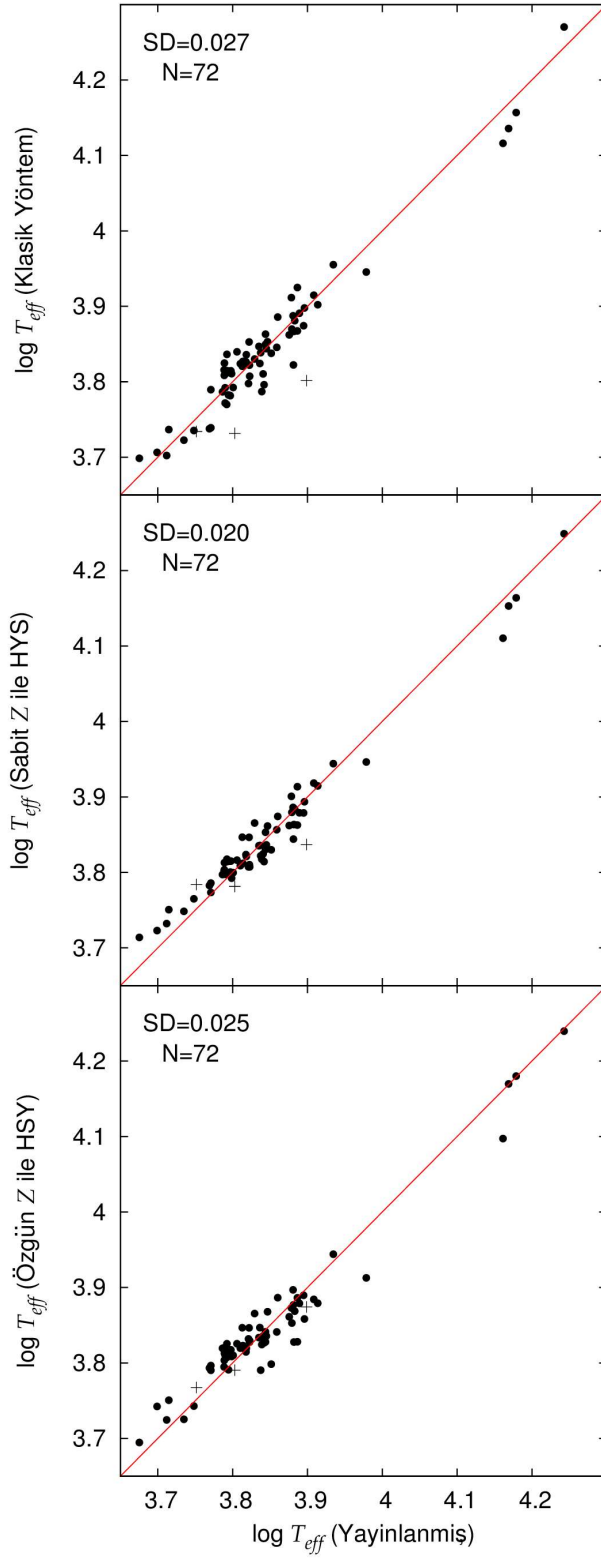
Şekil 4.5. Yayınlanmış T_{eff} değerleriyle hesaplanmış $H-R$ diyagramı konumlarının, klasik yöntem, HSY-ZG ve HSY-ZX yöntemi sonuçlarından hesaplanan $H-R$ diyagram sonuçlarının karşılaştırılması. Veriler sağlıklı karşılaştırılabilmesi için yayınlanmış T_{eff} 'ler hariç diğerleri 2 dex miktarında kaydırılmıştır

Yayınlanmış sıcaklıklar kullanılarak üretilmiş $H-R$ diyagramında (Şekil 4.5 en üst dağılım) yıldızların konumları $Z=0.0152$ Güneş bolluğundaki modellerini temsilen çizilen referans ZAMS ve TAMS arasına dağılmıştır. Şekil 4.4'deki $\log M - \log T_{eff}$ dağılımında olduğu gibi, sadece birkaç yıldız bu kuralın dışında kalıp, istisnai durum göstermiştir. Klasik yöntem ile hesaplanan sıcaklıklar kullanıldığında (üstten ikinci, alttan üçüncü dağılım) istisnaların sayısı arttığı görülmektedir. Ancak bu istisnaların da daha çok $\log T_{eff} < 3.8$ 'den daha soğuk yıldızlar tarafında olduğu da dikkat çekicidir. Homojen sıkıştırma yöntemi $Z=0.0152$ (sabit) değeriyle, yani HSY-ZG yöntemiyle elde edilen sıcaklıklardan elde edilmiş $H-R$ diyagramı (üstten üçüncü sırada) yıldızlar beklendiği gibi, biri hariç (V2653 Oph çift yıldızın yoldaş bileşeni), ZAMS ve TAMS sınırları içine yerleşmiştir. Özgün Z değerleri kullanılarak yıldızların HSY-ZX yöntemiyle elde edilmiş sıcaklıkların oluşturduğu $H-R$ diyagramı en gerçekçi $H-R$ diyagramıdır (en alttaki) ve en üste, yayınlanmış sıcaklıklara benzerliği, en azından diğer iki dağılıma oranla, açıkça görülmektedir.

Yayınlanmış etkin sıcaklığın teorik modellere uymadığı tespit edilen, IM Mon sisteminin yoldaş bileşeni de Şekil 4.5'de belirtilmiştir. Hatalı sıcaklığı en üstte ve düzeltilmiş sıcaklığı en altta olduğu, yukardan aşağıya doğru, önceki (Bölüm 4.1.1) sonuçları teyit edersesine, daha soğuk değerlere doğru kaydığı da göz ile görünür durumdadır.

4.3. Hesaplanmış T_{eff} 'lerin, Yayınlanmış T_{eff} 'ler ile Doğrudan Karşılaştırılması

Yayınlanmış T_{eff} 'lerin, klasik yöntem, HSY-ZG ve HSY-ZX yöntemleriyle elde edilen T_{eff} 'ler ile doğrudan karşılaştırılması Şekil 4.6'da görülmektedir. Üst panelde klasik yöntem ile elde edilen T_{eff} 'ler, orta panelde sabit Z ($Z=0.0152$) kullanılan homojen sıkıştırma yöntemi (HSY-ZG) ile elde edilen T_{eff} değerleri ve alt panelde özgün Z kullanan homojen sıkıştırma yöntemi (HSY-ZX) ile elde edilen etkin sıcaklıkların doğrudan yayınlanmış sıcaklıklar ile karşılaştırılmaktadır. Korelasyon, yani hesaplanan sıcaklıkların, yayınlanan sıcaklıklara uyumu, dağılımın diyagonaldeki sürekli çizgiye yakın olmasına bağlıdır.



Şekil 4.6. Hesaplanmış T_{eff} 'lerin, yayınlanmış T_{eff} 'ler ile doğrudan karşılaştırılması

İlk dağılımdaki standart sapma, diğer iki dağılıma göre biraz daha büyük olmasına rağmen sürekli çizgi boyunca en iyi korelasyon en üst paneldeki dağılımdadır. Her bir nokta bu tez için seçilen 72 yıldızdan birini göstermektedir. Noktanın çizginin altında kalması yayınlanmış sıcaklığın hesaplanmış sıcaklıktan büyük olduğunu, çizginin üstünde olması ise aksi durumu, yani hesaplanmış sıcaklığın yayınlanmış sıcaklıktan büyük olmasını göstermektedir.

Standart sapmanın en üst panelde en büyük olması, klasik yöntemin sebep olduğu yanlışlık nedeniyledir (ZAMS'a yakın yıldızların daha sıcak, TAMS'a yakın yıldızların daha soğuk olarak hesaplandığını hatırlayalım).

Standart sapma, orta panelde en küçüktür; çünkü HSY-ZG ile tüm yıldızlar aynı, $Z=0.0152$ metal bolluğundaymış gibi kabul edilmektedir. Bu varsayım, farklı Z 'lerden kaynaklanan ZAMS ve TAMS değerlerindeki farklılıkları yok edip, tüm yıldızları $Z=0.0152$ için belirlenen ZAMS ve TAMS arasına konuşturduğundan saçılma en küçüktür. Bu durum $\log T_{eff} > 3.8$ olduğu değerler için olumlu bir etki ortaya koyarken, $\log T_{eff} < 3.8$ olan sıcaklıklar için apaçık bir yanlışlığa sebep olduğu, yani hesaplanan sıcaklıkların tümüyle yayınlanan sıcaklıklardan büyük olmasıyla sonuçlandığı açıkça görülmektedir.

Özgün Z 'ler ile hesaplanan sıcaklıklar göz önüne alındığında (alt panel) standart sapma büyümüş, ama yine de klasik yöntem sıcaklıklarının dağılımına göre daha az olacak şekilde $SD = 0.025$ değerine ulaştığı görülmektedir. Standart sapmanın büyümesi şüphesiz, farklı Z 'lerden kaynaklanan ZAMS ve TAMS'lara dayalı hesaplanan sıcaklıkların farklılaşmasından kaynaklanmaktadır. En alt paneldeki en dikkat çekici özellik, orta panelde görülen $\log T_{eff} < 3.8$ olan sıcaklıklarda görülen yanlışlığın azalmasıdır. Dağılımın orta çizgiye yaklaştığı, hatta iki yıldızın konumun orta çizginin altında kaldığı görülmektedir.

IM Mon sisteminin yoldaş yıldızının Şekil 4.6'daki konumu (sağdan sola doğru dördüncü yıldız), önceki iki bölümde de söylenenler ile uyum içindedir. IM Mon yoldaş yıldızının her üç panelde de sürekli çizginin altında kalması, üç farklı yöntem ile hesaplanan sıcaklıkların, yayınlanan sıcaklığa göre daha küçük, gözlemler ile belirlenen yayınlanmış sıcaklığının bu üç sıcaklığa göre çok büyük olmasının bir başka kanıtıdır.

4.4. HSY T_{eff} 'leri kullanılan MLR'den Bağımsızdır

Sabit veya özgün Z ile uygulanan HSY kullanılan MLR bağıntısından bağımsızdır. MLR bağıntısı HSY de, kimyasal reaksiyonlardaki katalizör gibidir. Yani, her hangi bir MLR bağıntısı olmadan, yöntemi uygulamak mümkün değildir. Çünkü yıldızın ışınım gücünü (L) yıldızın kütesinden hesaplayabilmek ancak ve ancak bir MLR kullanarak mümkündür.

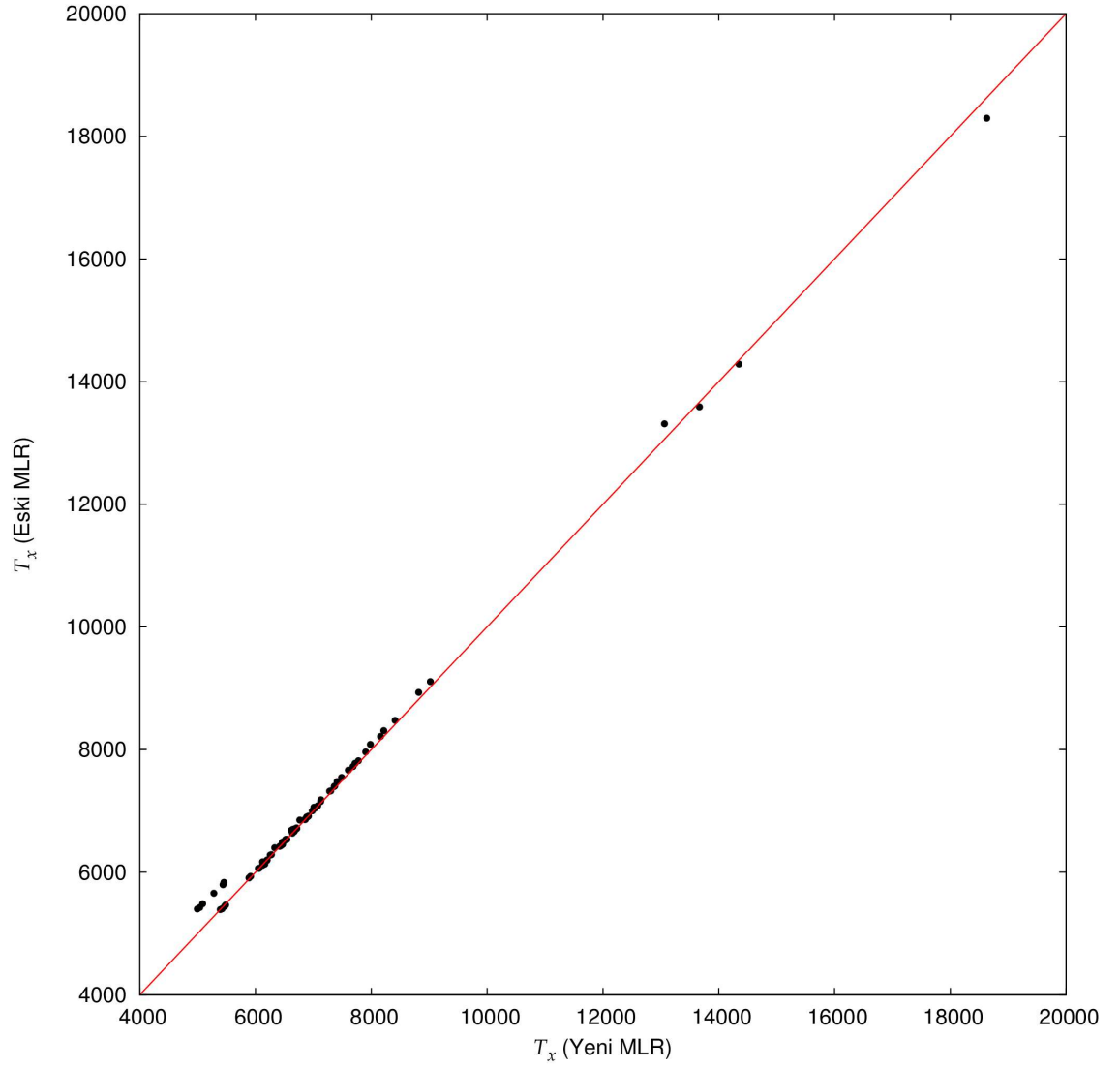
Ancak, MLR'nin biçiminin, şeklinin, değerinin, hiç önemi yoktur. HSY ile iki adımlı düzeltmeden sonra elde edilen T_{eff} değeri her zaman, farklı MLR'ler kullanırsa bile aynıdır.

Aslan (2015) HSY ile ilgili bu durumu belirtmiş ve şöyle sunmuştur: MLR fonksiyonunun doğruluk derecesi, klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff} 'lerin doğruluk derecesiyle ilgilidir. Gerçek değerinden sapmış bir MLR kullanılması, klasik T_{eff} 'lerin daha da yanlış hesaplanmasına neden olur. Bu yanlış, yani gerçek değerinden sapmış T_{eff} değeri, yıldızın $\log M - \log R$ diyagramındaki konumundan kaynaklanan yanlışlık ile birleşir sonuçta sistematik ve rastgele hatası kat kat artmış T_{eff} hesaplanır. HSY, yıldızın $\log M - \log R$ diyagramı üstündeki konumundan kaynaklanan yanlışlık ile birlikte, MLR kaynaklı hataları da düzeltir. Çünkü HSY, yıldızın T_{eff} derecesini $\log M - \log R$ diyagramı üstünde kullanılan teorik yıldız evrimi modelinden çıkartılan ZAMS ve TAMS sıcaklıklarına bağlı olarak hesaplar. Yıldızın ZAMS veya TAMS'a göre konumu, yıldızın sıcaklığını belirleyen temel kavramdır.

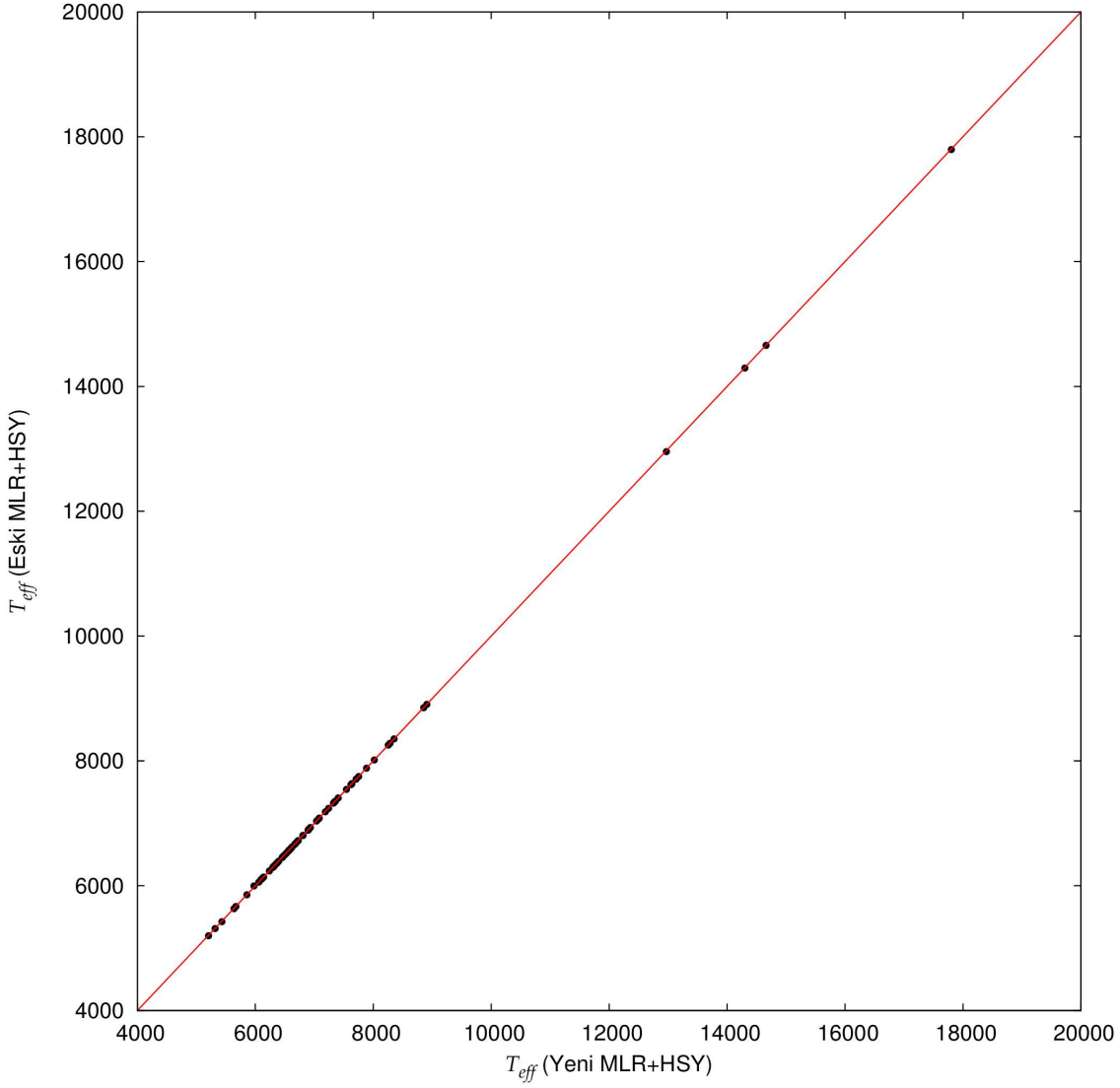
Aslan (2015) HSY'nin kullanılan MLR'den bağımsız olmasını, kullandıkları MLR fonksiyonlarındaki sabitin değerini değiştirerek test etmiş, farklı sabit değerleri farklı T_x (klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff}) değeri vermesine karşılık, CC1 ve CC2'nin kullandığı birinci ve ikinci adımdan sonra, elde edilen HSY sıcaklığının aynı kaldığını görmüştür.

Aslan (2015), Eker'in (2015b) ürettiği dört parçalı MLR fonksiyonlarını kullanmıştır. 114R072 nolu TÜBİTAK projesi çerçevesinde Eker vd (2014) katalogu revize edilmiş, artan yıldız sayısı ve mevcut yıldızların ölçümleri sayesinde, MLR bağıntıları da güncellenmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan MLR fonksiyonları, Aslan'ın (2015) kullandığı MLR fonksiyonlarıyla aynı değildir. Aslan (2015) tezinde, $0.35 < M/M_{\odot} < 32$ aralığında dört parçalı MLR kullanırken, $0.179 < M/M_{\odot} < 32.6$ aralığı için revize edilen MLR fonksiyonu altı parçalıdır (Bkz Çizelge 3.3 ve Şekil 3.4).

Bu durum, bize HSY'nin MLR fonksiyonundan bağımsızdır hipotezini, yeni bir yöntem ile test etme imkânı sağlamıştır. Dört parçalı eski MLR'ler ile hesaplanan klasik T_{eff} sıcaklıkları dikey ekseninde, altı parçalı yeni MLR fonksiyonlarıyla hesaplanan klasik T_{eff} sıcaklıkları yatay ekseninde işaretlenmiş olarak Şekil 4.7a'da görülmektedir. Diyagonal çizgi buyunca sapmalar açıkça görülmektedir. Bu sapmaların sebebi, MLR farkından dolayı klasik T_{eff} değerlerinde ortaya çıkan farklılıklardır. Ancak, HSY, Bressan vd (2012) teorik evrim yollarından çıkartılan aynı ZAMS ve TAMS kullanılmasından sonra aynı T_{eff} değerine ulaşmaktadır. Bu yüzden Şekil 4.7b'de eski ve yeni MLR'den hesaplanan T_{eff} 'ler aynı diyagonal çizgi üstüne inci diziler gibi dizilmiş görülmektedir.



Şekil 4.7a. Dört parçalı eski MLR bağıntılarından hesaplanan klasik T_{eff} değerlerinin, altı parçalı yeni MLR bağıntılarından elde edilen klasik T_{eff} değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.7b. Eski MLR bağıntıları kullanılarak elde edilen HSY sonuçlarının yeni MLR bağıntıları kullanılarak elde edilen HSY sonuçlarının karşılaştırılması

Bu sonuçlar, Bressan vd'nin (2012) modellerinden Güneş metal bolluğuna en yakın olan ($Z=0.014$) modeller kullanılarak test edilmiştir. Özgün Z 'ler için de benzer sonuçlar çıkacağı açıktır. Sonuçta bu tez çalışmasında kullanılan bu test, HSY'nin kullanılan MLR bağıntılarında bağımsız olduğunu teyit etmiştir.

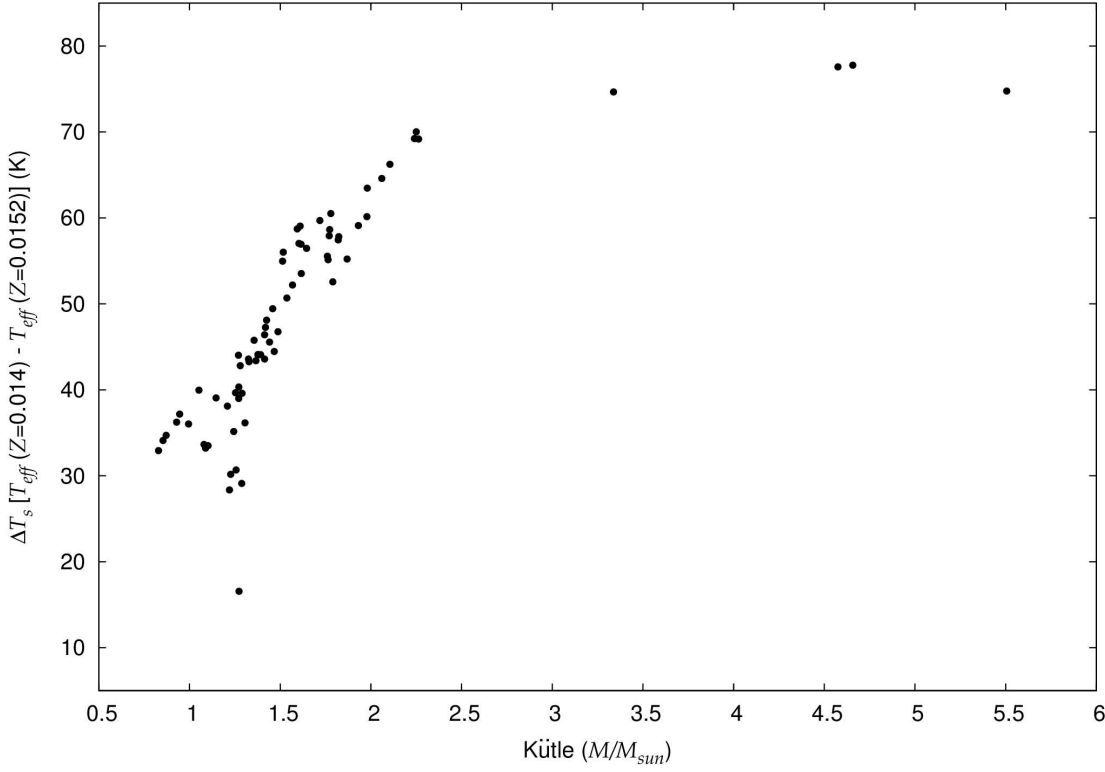
4.5. Sıcaklık Farkı Analizi

4.5.1. Sabit Z ile hesaplanan sıcaklıklar ($Z=0.014$ ile $Z=0.0152$) arasındaki fark

Homojen Sıkıştırma Yöntemi, güncellenmiş altı parçalı MLR bağıntılarını (Çizelge 3.3) kullanarak, Çizelge 3.1'deki yıldızlara (tez çalışmasındaki örnek yıldızlar) $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ kütle aralığındaki, Güneş metal bolluğuna en yakın ($Z=0.014$) Bressan vd (2012) modellerinden doğrudan alınan ZAMS ve TAMS değerleri (Çizelge 3.2) kullanarak uygulanmış ve Çizelge 3.4'deki sonuçlar (son sütunda) elde edilmiştir.

Kullandığımız $Z=0.014$ modelleri Güneş metal bolluğuna en yakın yayınlanmış teorik yıldız evrim yolu modelleridir. Oysa, Güneş'in metal bolluğu $Z=0.0152$ olarak kabul edilmektedir (Bressan vd, 2012). Ek 12'deki ZAMS ve TAMS değerleri, $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ kütle aralığında, Bressan vd (2012) tarafından yayınlanmış $Z=0.014$ ve $Z=0.017$ modelleri kullanarak, (Bölüm 3.1.5) Grid ara modelleri için ZAMS ve TAMS sınırlarının belirlenmesi de anlatıldığı gibi, ara değer yöntemiyle $Z=0.0152$ Güneş metal bolluğunu temsil edecek şekilde hesaplanmıştır.

Ek 12'deki ZAMS ve TAMS değerleriyle, HSY tez çalışması örnek yıldızlarına (Çizelge 3.1) aynı şekilde uygulanmış ve Çizelge 3.5'deki sonuçlar (son sütun) elde edilmiştir. Böylece Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'in son sütunlarında listelenen sıcaklıklar, sabit Z ile HSY uygulamasında, metal bolluğu (Z) etkisini ifade etmektedir. Sıcaklık farkları $\Delta T = T_{eff}(Z=0.014) - T_{eff}(Z=0.0152)$ olacak şekilde Kelvin biriminde, yıldız kütlelerinin fonksiyonu olarak Şekil 4.8'de gösterilmektedir. $1 M_{\odot}$ değerinden $2.5 M_{\odot}$ kütle değerine kadar neredeyse lineer bir artış, $2.5 M_{\odot}$ 'den büyük kütlelerde $6 M_{\odot}$ 'e kadar 75 K civarında doyuma uğrayan bir sıcaklık farkı görülmektedir.



Şekil 4.8. $Z=0.014$ ve $Z=0.0152$ 'e göre HSY yöntemiyle hesaplanan T_{eff} farklarının kütleyle bağlı değişimi

Metal bolluğundaki küçük bir artış ($\Delta Z = 0.0152 - 0.014 = 0.0012$), farklı kütleli yıldızlarda, en az 30 K, en çok 75 K civarında, ortalama 50-70 K'lık bir etkin sıcaklık artışına sebep olmaktadır.

Metal bollukları Güneş'e yakın veya Güneş metal bolluğunda olduğu kabul edilen yıldızlar için, $Z=0.0152$ modelleri yerine yayınlanmış $Z=0.014$ modelleri kullanılmış olsaydı, elde edilen HSY sıcaklıkları Şekil 4.8'de ifade edildiği miktar kadar daha büyük bulunacaktı. Bu durumda bu farklar $Z=0.014$ ile $Z=0.0152$ modelleri arasında düzeltme miktarı olarak kabul edilebilir.

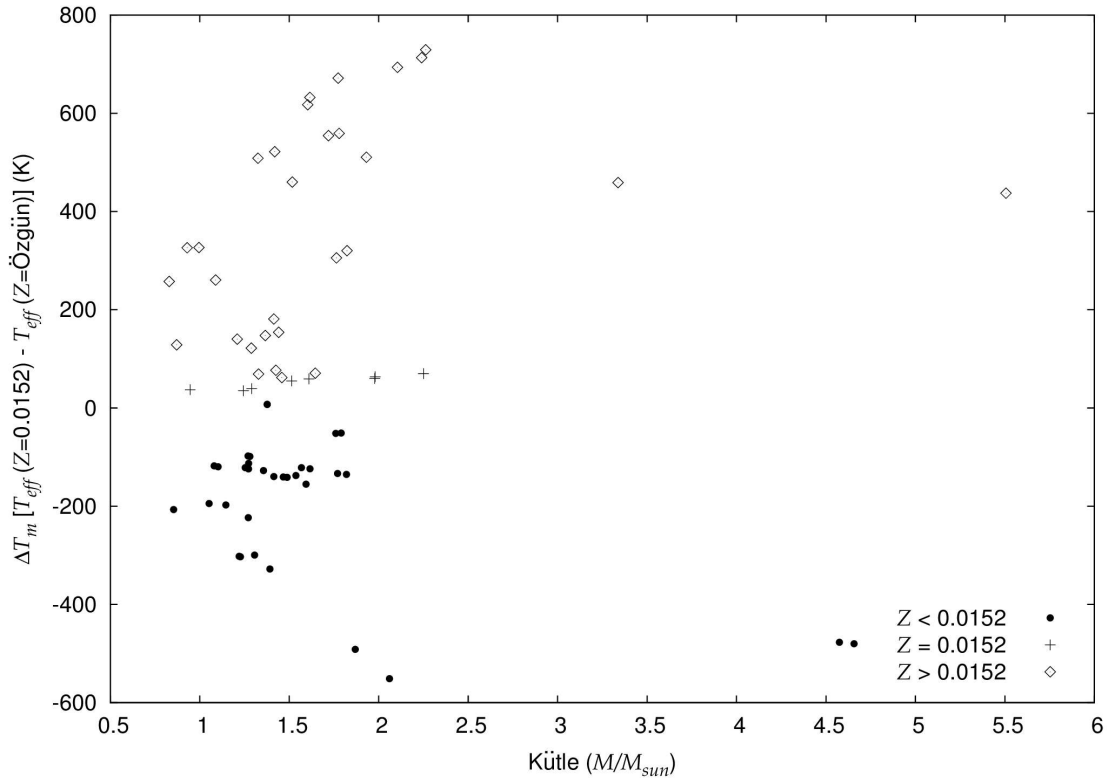
Bu varsayım, yani Galaksimizde, Güneş komşuluğundaki yıldızların Güneş metal bolluğunda kabul edilmesine dayalıdır. Fakat örnek içinde metal bolluğu ölçümü yapılan yıldızların bulunması halinde behsedilen bu varsayım geçerliliğini yitirir. Bu durumda, sabit ve özgün Z ile HSY uygulamaları incelenmelidir.

4.5.2. Sabit ve Özgün Z 'lerden kaynaklanan T_{eff} farkları

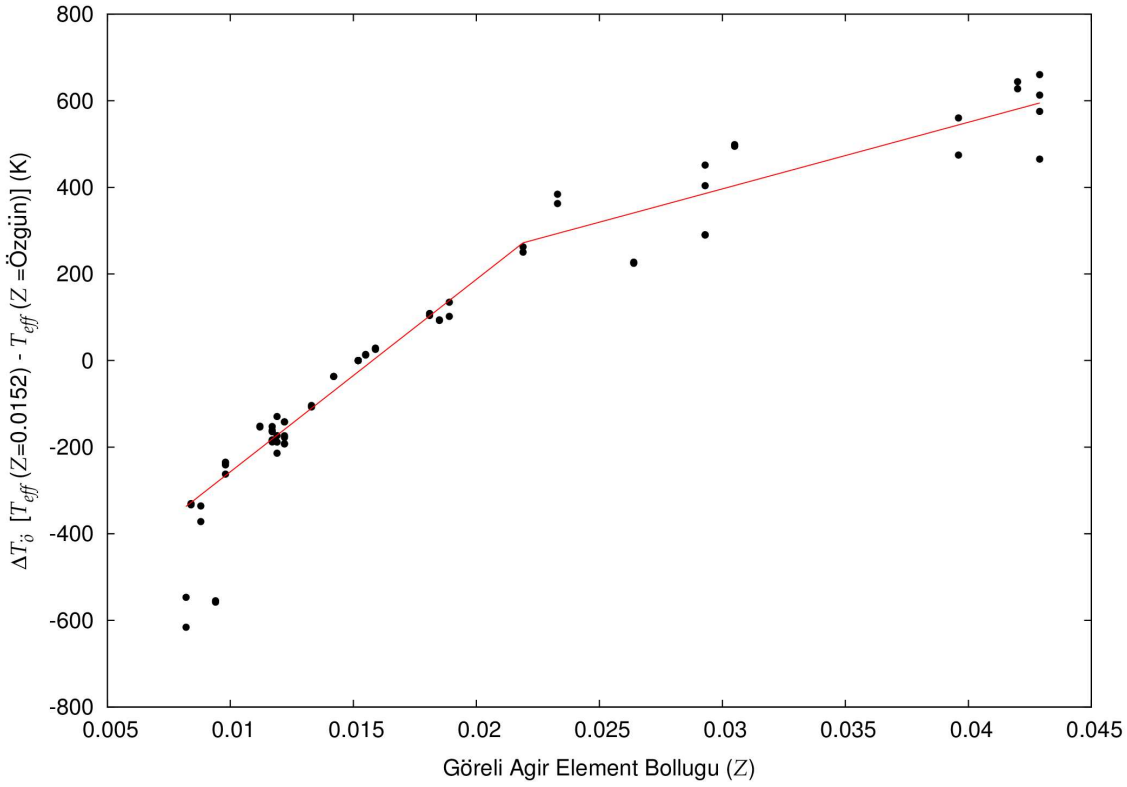
Bu tez çalışması için seçilen 72 örnek yıldızın (Çizelge 3.1), Z değerleri incelendiğinde 25 farklı Z değeri olduğu görülmüş, her bir Z değeri için ara değer yöntemiyle, (Bölüm 3.1.5) Grid ara modelleri için ZAMS ve TAMS sınırlarının belirlenmesi de anlatıldığı gibi, her bir Z değerine özgün 25 tane çizelge hazırlanmıştır (Ek 1'den Ek 25'e kadar). Her bir çizelgede, özgün Z ile ilgili, $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 6$ kütle

aralığında, ZAMS ve TAMS değerleri listelenmiştir. Yıldızın özgül Z ölçümüne uygun çizelge seçilip, HSY yöntemi bu tez için seçilen örnek yıldızlara uygulanması, yanlılığı giderilmiş, yani düzeltilmiş T_{eff} değerleri Çizelge 3.6'nın son sütununda listelenmiştir.

Sıcaklık farkı $\Delta T = T_{eff}(Z=0.0152) - T_{eff}(Z=\text{özgün})$ olacak şekilde, sabit ve özgül Z 'lerden kaynaklanan sıcaklık farkları hesaplanmış, değişen kütle değerleri yatay eksende olmak üzere Şekil 4.9'da gösterilmiştir. 600 K'e varan sıcaklık farklarının olduğu görülmektedir. Güneş metal bolluğundaki sekiz yıldız, şekil üstünde (+) sembolüyle, metal bolluğu daha az ($Z < 0.0152$) ve daha çok ($Z > 0.0152$) olan yıldızlar sırasıyla (•) ve (◊) sembolleriyle gösterilmiştir. Metal bolluğu Güneş'e benzer yıldızların ($Z=0.0152$) $\Delta T \approx 0$ olması beklenen bir durumdur. Çizelge 3.6'da, metal bolluğu $Z < 0.0152$ olan yıldızların T_{eff} değerlerinin Çizelge 3.5'deki T_{eff} 'lere göre daha büyük olduğu ve metal bolluğu $Z > 0.0152$ olan yıldızlar ise tam aksine daha küçük T_{eff} değerleri gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9. Sabit Z ($Z=0.0152$) ve özgül Z 'ler ile HSY uygulamalarından elde edilen ΔT sıcaklık farklarının kütleyle bağlı değişimi



Şekil 4.10. Sabit Z ($Z=0.0152$) ve özgün Z 'ler ile HSY uygulamalarından elde edilen ΔT sıcaklık farkının görel element bolluğuna (Z) bağlı değişimi

Şekil 4.10, aynı sıcaklık farklarının, yatay eksen metal bolluğu (Z) olmak üzere dağılımını göstermektedir. Açıkça anlaşılmaktadır ki, ΔT sıcaklık farkını ortaya koyan kütle değil, metal bolluğudur. Metal bolluğun artması, ΔT farkını büyötmektedir. Şekil 4.10'daki ΔT dağılımını tek bir fonksiyon ile ifade etmek mümkün olmamıştır. Dağılımın en basit ve en iyi ifadesi şekilde görüldüğü gibi iki parçalı doğruyla ifade edilen dağılım olmuştur.

$Z < 0.023$ sıcaklık farklarının dağılımını temsil eden doğru;

$$\Delta T_0 = 43941 x - 687.93 \quad (4.1)$$

denklemlle ifade edilebilmekte ve fit sonucu elde edilen korelasyon $R = 0.97$ ve standart sapması $\sigma = 25.83$ K'dir.

$Z > 0.023$ sıcaklık farklarının dağılımını temsil eden doğru;

$$\Delta T_0 = 15558 x - 72.455 \quad (4.2)$$

denklemlle ifade edilebilmekte ve fit sonucu elde edilen korelasyon $R = 0.725$ ve standart sapması $\sigma = 79.28$ K'dir.

$Z < 0.023$ değerlerini temsil eden doğru üstündeki dağılımın, $Z > 0.023$ değerlerini temsil eden doğru dağılımı üstündeki değişimlere göre daha az saçılma olduğu görülmektedir. Bu iki doğru parçası üstündeki saçılma farkının sebebi anlaşılammıştır.

4.5.3. Sabit $Z T_{eff}$ 'lerinin, Özgün $Z T_{eff}$ 'leri olarak düzeltilmesi

Denklem 4.1 ve 4.2 numaralı bağıntılar, sabit $Z T_{eff}$ 'lerinin, özgün $Z T_{eff}$ 'leri olarak düzeltilmesinde kullanılabilir. Diyelim ki bir yıldızın metal bolluğunu ölçtük ve bu yıldızın bilinen M ve R 'sini kullanarak HSY'ni uygulayıp, etkin sıcaklığını bulmak istiyoruz. Normal prosedürde, ara değer ile ölçülen Z 'ye uygun yıldız evrim modelleri üretilip ZAMS ve TAMS noktalarında yarıçap ve sıcaklık değerleri bulmamız, sonrasında CC1 ve CC2 katsayılarını hesaplayıp bölüm 3.2.2.2.2 de anlatıldığı gibi düzeltilmiş T_{eff} değerinin hesaplamamız hem zaman alır, hem de zahmetlidir.

Ayrıca bu denklem 4.1 ve 4.2 sonucu, herhangi bir yıldızın Güneş metal bolluğuna göre ($Z=0.0152$ veya $[Fe/H]=0$ dex) etkin sıcaklığı belirlendikten sonra, bu yıldızın gerçek $[Fe/H]$ veya Z değerine karşılık gelen etkin sıcaklık değerinin belirlemek için, Çizelge 4.1'deki $[Fe/H]$ veya Z değerinden uygun düzeltme ΔT değeri kullanılarak, doğru T_{eff} değerleri hesaplanabilir.

Çizelge 4.1. Farklı metal bolluğuna göre ΔT_{δ} düzeltme değerleri

[Fe/H] (dex)	Z	Düzeltilme ΔT_{δ} (K)
-0.290	0.008	-336
-0.240	0.009	-292
-0.190	0.010	-249
-0.148	0.011	-205
-0.107	0.012	-161
-0.070	0.013	-117
-0.038	0.014	-73
-0.006	0.015	-29
0.025	0.016	15
0.052	0.017	59
0.078	0.018	103
0.103	0.019	147
0.127	0.020	191
0.150	0.021	235
0.172	0.022	270
0.194	0.023	285
0.214	0.024	301
0.233	0.025	316
0.252	0.026	332
0.270	0.027	348
0.287	0.028	363
0.304	0.029	379
0.321	0.030	394
0.338	0.031	410
0.353	0.032	425
0.368	0.033	441
0.383	0.034	457
0.398	0.035	472
0.412	0.036	488
0.425	0.037	503
0.438	0.038	519
0.452	0.039	534
0.465	0.040	550
0.465	0.040	550
0.477	0.041	565
0.489	0.042	581
0.502	0.043	597
0.514	0.044	612
0.525	0.045	628
0.537	0.046	643
0.548	0.047	659
0.559	0.048	674
0.570	0.049	690
0.581	0.050	705
0.680	0.060	861

Elimizde 4.1 ve 4.2 denklemleri olduğu sürece veya 4.1 çizelgesi kullanılarak özgün T_{eff} 'lerin bulunması daha kolay ve çabuk olacaktır.

Öncelikle yıldızın ölçülen Z 'si, 4.1 veya 4.2 denklemlerinden biriyle uygun olanın yerine konup ΔT_{δ} değeri hesaplanır.

$$\Delta T_{\delta} = T_{eff} (Z=0.0152) - T_{eff} (Z=\text{özgün}) \quad (4.3)$$

den,

$$T_{eff} (Z=\text{özgün}) = T_{eff} (Z=0.0152) - \Delta T_{\delta} \quad (4.4)$$

denkleminde bilinmeyen $T_{eff} (Z=0.0152)$ kalmıştır. Bunu belirlemek için, yıldızın kütlesine bakıp Şekil 4.8'i kullanarak ΔT_s değeri belirlenince,

$$\Delta T_s = T_{eff} (Z=0.014) - T_{eff} (Z=0.0152) \quad (4.5)$$

den,

$$T_{eff} (Z=0.0152) = T_{eff} (Z=0.014) - \Delta T_s \quad (4.6)$$

Bunu da yukarıda denklem 4.3'te yerine koyunca,

$$T_{eff} (Z=\text{özgün}) = T_{eff} (Z=0.014) - \Delta T_s - \Delta T_{\delta}. \quad (4.7)$$

Z ile ilgili ara değerler ile uğraşmadan, yayımlanan hazır $Z=0.014$ modellerini kullanıp belirlenen etkin sıcaklığı iki düzeltme terimi ekleyerek, özgün T_{eff} değeri bulunabilir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının sonuçlarını aşağıda maddeler halinde özetlemek mümkündür.

1) Yıldız sıcaklıklarını ifade ederken, adlarını gözlem tekniği veya hesaplama yönteminden alan altı farklı sıcaklık türü kullanılır. Bu sıcaklıklar: kinetik sıcaklık, renk sıcaklığı, parlaklık sıcaklığı, uyarılma sıcaklığı, iyonlaşma sıcaklığı ve etkin sıcaklıktır. Stefan-Boltzmann ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$) yasası çerçevesinde tarif edilen etkin sıcaklık (T_{eff}), yıldızın birim zamanda, tüm uzaya, tüm dalga boylarında yayılan radyasyonunu en iyi temsil eden sıcaklıktır.

2) Yaklaşık bir asır önce, empirik olarak keşfedilen, anakol yıldızlarının kütle - ışınım gücü bağıntısı, kütlesi ve yarıçapı bilinen anakol yıldızlarının etkin sıcaklığının hesaplamasında kullanılabilir. Stefan-Boltzmann yasası ($L=4\pi R^2 \sigma T^4$) çerçevesinde, geçerli bir MLR kullanarak, yıldızın kütle ve yarıçapından etkin sıcaklık elde etme yöntemi klasik yöntem olarak bilinmektedir.

3) Klasik yöntem ile kütlesi ve yarıçapı bilinen anakol yıldızları için hesaplanan etkin sıcaklıklarda hata (yanlılık veya bias) vardır. Klasik yöntem genç anakol yıldızlarının sıcaklıklarını olması gerekenden daha yüksek ve anakol ömrünün sonuna gelmiş yaşlı anakol yıldızlarının etkin sıcaklığını olması gerekenden az hesaplamaktadır.

4) Homojen Sıkıştırma Yöntemi (HSY), klasik yöntem ile hesaplanan etkin sıcaklıktaki hatayı (yanlılığı), düzeltmek için, Prof. Dr. Zeki Eker tarafından 114R072 numaralı TÜBİTAK projesi çerçevesinde önerilmiş, Aslan'ın (2015) tezinde Güneş metal bolluğunda ($Z=0.014$) olduğu öngörülen, Samanyolu içinde Güneş civarında konumlanmış 450 yıldızla uygulanmış bir yöntemdir.

5) HSY, klasik yöntem ile hesaplanan T_{eff} 'lerdeki hatayı (yanlılığı), hesaplayıp düzeltebilmesi için, yıldızın gözlemler ile duyarlı olarak belirlenmiş kütlesi ve yarıçapından başka, hipotetik olarak bu yıldız, anakol ömrünün başında (ZAMS) ve sonunda (TAMS) olsaydı yarıçapı ve etkin sıcaklığı ne olurdu? bilgisine de ihtiyaç duyar. Bu hipotetik bilgisinin kaynağı, teorik yıldız evrimi modelleridir.

6) İlk yaklaşım ile, HSY uygulamasında, Bressan vd'nin (2012), Güneş metal bolluğu ($Z=0.014$) modelleri kullanılmıştır (Aslan 2015).

7) Anakol yıldızlarının yarı-empirik etkin sıcaklık hesabında metal bolluğunun etkisini araştırmak için önerilmiş bu tez çalışmasında HSY, farklı Z ölçümlerini içerecek şekilde geliştirilmiştir.

8) HSY, kullanılan MLR bağıntısından bağımsızdır. Klasik yöntem sırasında hangi MLR bağıntısının kullanıldığı önemli değildir. Kullanılan MLR bağıntısı farklı ve hatalı dahi olsa, HSY sonucunda elde edilen sıcaklık hep aynı ve etkin sıcaklıktır.

9) Sabit Z ile HSY uygulaması, hesaplanan etkin sıcaklıklarda, yıldızın metal bolluğuna (Z) bağlı olarak, 600 K'e varan hatalı sıcaklıklar olabilir.

10) Sabit ve özgün Z modellerinden elde edilen etkin sıcaklık değerlerinin farkları $\Delta T = T_{eff}(Z=\text{sabit}) - T_{eff}(Z=\text{özgün})$ olarak tarif edildiğinde sıcaklık farkı (ΔT), Z ile doğrusal olarak artar. $Z < 0.023$ değerleri için öngörülen artış, $Z > 0.023$ değerleri için öngörülen artışa göre daha büyüktür. $Z - \Delta T$ diyagramında ortaya çıkan artış eğimleri farklı iki doğru parçasıyla ifade edilebilir.

11) 4.1 ve 4.2 denklemleriyle verilen bağıntılar veya 4.1 çizelgesini kullanarak, yayınlanmış, $Z=0.014$ modellerinden elde edilen etkin sıcaklıklarını, özgün Z sıcaklıklarına uyarlamak mümkündür.

6. KAYNAKLAR

- ANDERSEN, J. 1991. Accurate masses and radii of normal stars. *Astronomy and Astrophysics Review*, 3, 91-126.
- ALECEIAN, E., CATALA, C., van't VEER-MENNERET, C., GOUPIL, M.-J. and BALONA, L. 2005. Pulsations and metallicity of the pre-main sequence eclipsing spectroscopic binary RS Cha. *Astronomy and Astrophysics*, 442, 993.
- ASLAN, G. 2015. Anakol yıldızlarının kütle parlaklık bağıntısı ve etkin sıcaklık duyarlılık problemi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Antalya, 104 s.
- BACH, K. 2015. Evolutionary Status and Internal Structure of μ Cassiopeiae. *Journal of the Korean Astronomical Society*, 48, 165.
- BAKIŞ, H., BAKIŞ, V., BİLİR, S., MİKUASEK, Z., ZEJDA, M., YAZ, E., DEMİRCAN, O. and BULUT, I. 2011. Study of Eclipsing Binary and Multiple Systems in OB Associations. I. Orion OB1a - IM Monocerotis. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 63, 1079.
- BERTELLI, G., GIRARDI, L., MARIGO, P. and 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*, 484, 815-830.
- BERTELLI, G., NASI, E., GIRARDI, L. and MARIGO, P. 2009. Scaled solar tracks and isochrones in a large region of the Z-Y plane. II. From 2.5 to 20 M_{\odot} stars. *Astronomy and Astrophysics*, 508, 355-369.
- BRESSAN, A.G., CHİOSÌ, C. and BERTELLÌ, G. 1981. Mass loss and overshooting in massive stars. *Astronomy and Astrophysics*, 102, 25-30.
- BRESSAN, A.G., MARIGO, P., GIRARDI, L., SALASNICH, B., DAL CERO, C., RUBELE, S. and NANNI, A. 2012. Stellar Tracks and Isochrones with the Padova and TRIeste Stellar Evolution Code. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127-145.
- BROGAARD, K., BRUNTT, H., GRUNDAHL, F., CLAUSEN, J.V., FRANDBSEN, S., VANDENDERG, D.A. and BEDİN, L.R. 2011. Age and helium content of the open cluster NGC 6791 from multiple eclipsing binary members. I. Measurements, methods, and first results. *Astronomy and Astrophysics*, 525, A2.
- CESTER, B., FERLUGA, S. and BOEHM, C. 1983. The Empirical Mass-Luminosity Relation. *Astrophysics and Space Science*, 96, 125-140.

- CHEN, Y., BRESSAN, A.G., GIRARDI, L., MARIGO, P., KONG, X. and LANZA, A. 2015. PARSEC evolutionary tracks of massive stars up to $350 M_{\odot}$ at metallicities $0.0001 \leq Z \leq 0.04$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452, 1068-1080.
- CLAUSEN, J.V., TORRES, G., BRUNTT, H., ANDERSEN, J., NORDSTRÖM, B., STEFANIĆ, R.P., LATHAM, D.W. and SOUTHWORTH, J. 2008. Absolute dimensions of eclipsing binaries. XXVI. Setting a new standard, Masses, radii, and abundances for the F-type systems AD Bootis VZ Hydrae, and WZ Ophiuchi. *Astronomy and Astrophysics*, 487, 1095.
- CLAUSEN, J.V., BRUNTT, H., CLARET, A., LARSEN, A., ANDERSEN, J., NORDSTRÖM, B. and GIMENEZ, A. 2009. Absolute dimensions of solar-type eclipsing binaries. II. V636 Centauri, A $1.05 M_{\odot}$ primary with an active, cool, oversize $0.85 M_{\odot}$ secondary. *Astronomy and Astrophysics*, 502, 253.
- CLAUSEN, J.V., OLSEN, E.H., HELT, B.E. and CLARET, A. 2010a. Absolute dimensions of eclipsing binaries. XXVII. V1130 Tauri, a metal-weak F-type system, perhaps with preference for $Y = 0.23-0.24$. *Astronomy and Astrophysics*, 510, A91.
- CLAUSEN, J.V., FRANDBSEN, S., BRUNTT, H., OLSEN, E.H., HELT, B.E., GREGERSEN, K., JUNCHER, D. and KROGSTRUP, P. 2010b. Absolute dimensions of eclipsing binaries. XXVIII. BK Pegasi and other F-type binaries, Prospects for calibration of convective core overshoot. *Astronomy and Astrophysics*, 516, A42.
- CLAYTON, D.D. 1968. Principles of stellar Evolution and nucleosynthesis, McGraw-Hill Book Company, New York, 1968, 438 p.
- COX, A.N. 2000. Allen's astrophysical quantities. 4th ed. Publisher, New York, AIP Press; Springer, 200. Edited by Arthur N. Cox. ISBN, 0387987460.
- ÇAKIRLI, Ö. 2015. "Constant" eclipsing binary in the instability strip. *New Astronomy*, 37, 70.
- ÇAKIRLI, Ö. and İBANOĞLU, C. 2016. V2653 Ophiuchii with a pulsating component and $P_{\text{puls}} - P_{\text{orb}}$, $P_{\text{puls}} - g$ correlations for γ Dor type pulsators. *New Astronomy*, 45, 36.
- DA SILVA, R., MACERONI, C., GANDOLFI, D., LEHMANN, H. and HATZES, A.P., 2014. CoRoT 105906206, a short-period and totally eclipsing binary with a δ Scuti type pulsator. *Astronomy and Astrophysics*, 565, A55.

- DEMARQUE, P., WOO, J., KİM, Y. and Yİ, S.K. 2004. Y^2 Isochrones with an Improved Core Overshoot Treatment. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 155, 667-674.
- DEMARQUE, P., GUENTHER, D.B., Lİ, L.H., MAZUMDAR, A. and STRAKA, C.W. 2008. YREC, the Yale rotating stellar evolution code. Non-rotating version, seismology applications. *Astrophysics and Space Science*, 316, 31-41.
- DEMİRCAN, O. and KAHRAMAN, G. 1991. Stellar Mass-Luminosity and Mass-Radius Relations. *Astrophysics and Space Science*, 181, 313-322.
- DİMİTROV, W., KAMİNSKİ, K., LEHMANN, H., LİGEZA, P., FAGAS, M., BAGİNSKA, P., KWIATKOWSKI, T., BAKOWSKA, K., KOWALCZYK, A., POLİNSKA, M., BARTCZAK, P., PRZYBYSZEWSKA, A., KRUSZEWSKİ, A., KURZAWA, K. and SCHWARZENBERG-CZERNY, A. 2015. V342 Andromedae B is an eccentric-orbit eclipsing binary. *Astronomy and Astrophysics*, 575, A101.
- DOTTER, A., CHABOYER, B., JEVREMOVİC, D., KOSTOV, V., BARON, E. and FERGUSON, J.W. 2008. The Dartmouth Stellar Evolution Database. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 178, 89-101.
- EDDINGTON, A.S. 1926. *The Internal Constitution of the Stars*. Cambridge University Press, England, 416p.
- EGGEN, O.J. 1956. Photometric Parallaxes and the Mass-Luminosity Relation. *Astronomical Journal*, 61, 361-380.
- EKER, Z., BİLİR, S., SOYDUGAN, F., YAZ, GÖKÇE, E., SOYDUGAN, E., TÜYSÜZ, M., ŞENYÜZ, T. and DEMİRCAN, O. 2014. The Catalogue of Stellar Parameters from the Detached Double-Lined Eclipsing Binaries in the Milky Way. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, e024.
- EKER, Z., 2015a. Bilimler Işığında Yaratılış, Üsküdar Üniversite Yayınları, İstanbul 2015, Sayfa 512.
- EKER, Z., SOYDUGAN, F., SOYDUGAN, E., BİLİR, S., YAZ, GÖKÇE, E., STEER, I., TÜYSÜZ, M., ŞENYÜZ, T. and DEMİRCAN, O. 2015b. Main-Sequence Effective Temperatures from a Revised Mass-Luminosity Relation Based on Accurate Properties. *Astronomical Journal*, 149, 131.
- EKSTRÖM, S., GEORGY, C., EGGENBERGER, P., MEYNET, G., MOWLAVI, N., WYTTEBACH, A., GRANADA, A., DECRESSİN, T., HIRSCHI, R., FRİSCHKNECHT, U., CHARBONNEL, C. and MAEDER, A. 2012. Grids of stellar models with rotation. I. Models from 0.8 to 120 M_{\odot} at solar metallicity ($Z = 0.014$). *Astronomy and Astrophysics*, 537, A146.

- FANG, X., and YAN-NING, F. 2010. The V-band Empirical Mass-luminosity Relation for Main Sequence Stars. *Chinese Astronomy and Astrophysics*, 34, 277-287.
- FEKEL, F.C. HENRY, G.W. and SOWELL, J.R. 2013. Absolute Properties of the Eclipsing Binary VV Corvi. *The Astronomical Journal*, 146, 8.
- GAFEIRA, R., PATACAS, C. and FERNANDES, J. 2012. Mass-Luminosity Relation for FGK Main Sequence Stars, Metallicity and Age Contributions. *Astrophysics and Space Science*, 341, 405-410.
- GEORGY C., EKSTRÖM, S., EGGRENBARGER, P., MEYNET, G., HAEMMERLE, L., MAEDER, A., GRANADA, A., GROH, J.H., HIRSCHI, R., MOWLAVI, N., YUSOF, N., CHARBONNEL, C., DECRESSIN, T. and BARBLAN, F. 2013. Grids of stellar models with rotation. III. Models from 0.8 to 120 M_{\odot} at a metallicity $Z = 0.002$. *Astronomy and Astrophysics*, 558, A103.
- GIRARDI L., BRESSAN A., BERTELLI G. and CHIOSI C. 2000. Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: from 0.15 to 7 M_{sun} , and from $Z=0.0004$ to 0.03. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 141, 371-383.
- GIRARDI, L., WILLIAMS, B.F., GILBERT, K.M., ROSENFELD, P., DALCANTON, J.J., MARIGO, P., BOYER, M.L., DOLPHIN, A., WEISZ, D.R., MELBOURNE, J., OLSEN, K.A.G., SETH, A.C. and SKILLMAN, E. 2010. The ACS Nearby Galaxy Survey Treasury. IX. Constraining Asymptotic Giant Branch Evolution with Old Metal-poor Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 724, 1030-1043.
- GUO, Z., GIES, D.R., MATSON, R.A. and GARCIA, H.A. 2016. Kepler Eclipsing Binaries with Delta Scuti/Gamma Doradus Pulsating Components I, KIC 9851944. *The Astrophysical Journal*, 826, 69.
- HAMBLETON, K.M., KURTZ, D.W., PRSA, A., GUZİK, J.A., PAVLOVSKÍ, K., BLOEMEN, S., SOUTHWORTH, J., CONROY, K., LITTLEFAIR, S.P. and FULLER, J. 2013. KIC 4544587, an eccentric, short-period binary system with δ Sct pulsations and tidally excited modes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434, 925.
- HELMİNIAK, K.G., GRACZYK, D., KONACKI, M., PILECKI, B., RATAJCZAK, M., PIETRZYNSKI, G., SYBILSKI, P., VILLANOVA, S., GIÉREN, W., POJMANSKI, G., KONORSKI, P., SUCHOMSKA, K., REICHTART, D.E., IVARSEN, K.M., HAŚLIP, J.B. and LACLUYZE, A.P. 2015. Orbital and physical parameters of eclipsing binaries from the ASAS catalogue - VIII. The totally eclipsing double-giant system HD 187669. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448, 1945-1955.
- HENRY, T.J. and MCCARTHY, D.W. 1993. The mass-luminosity relation for stars of mass 1.0 to 0.08 solar mass. *Astronomical Journal*, 106, 773-789.

- HENRY, T.J. 2004. The Mass-Luminosity Relation from End to End. *Astronomical Society of the Pacific*, 318, 159-165.
- HERTZSPRUNG, E. 1923. On the relation between mass and absolute brightness of components of double stars. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 2, 15.
- İBANOĞLU, C., EVREN, S., TAŞ, G., ÇAKIRLI, Ö., BOZKURT, Z., AFŞAR, M., SİPAHİ, E., DAL, H.A., ÖZDARCAN, O., ÇAMURDAN, D. ZENGİN, ÇAMURDAN, M. and FRASCA, A. 2009. Spectroscopic and photometric observations of the selected Algol-type binaries -IV. V799Cassiopeiae, BX Piscium and HD 172189. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 392, 757-767.
- IBEN, ICKO, JR. 2013. Stellar Evolution Physics, Volume 1, Physical Processes in Stellar Interiors, Cambridge, NewYork, Sayfa 527.
- KANG, Y.W., YUSHCHENKO, A., HONG, K., KİM, S. and YUSHCHENKO, V. 2012. Chemical Composition of the Components of Eclipsing Binary Star ZZ Bootis. *The Astronomical Journal*, 144, 35.
- KHALIULLIN, KH.F., KHALIULLINA, A.I. and KRYLOV, A.V. 2001. *Astronomy Reports*, 45, 888.
- KOUPELIS, T. 2013a. In Quest of the Universe, 7. baskı, Jones and Bartlett learning, 5 Wall street, Burlington, MA, 01803, 2013, Sayfa 46.
- KOUPELIS, T. 2013b. In Quest of the Universe, 7. baskı, Jones and Bartlett learning, 5 Wall street, Burlington, MA, 01803, 2013, Sayfa 530.
- KOUPELIS, T. 2013c. In Quest of the Universe, 7. baskı, Jones and Bartlett learning, 5 Wall street, Burlington, MA, 01803, 2013, Sayfa 103.
- KOURGANOFF, V. 1980. Introduction to Advanced Astrophysics, Reidel Publishing Comany, Dordrecht, Holland Sayfa 61.
- KUIPER, G.P. 1938. The Empirical Mass-Luminosity Relation. *The Astrophysical Journal*, 88, 472.
- LACY, CLAUD, H.S., TORRES, G. and CLARET, A. 2008. Absolute Properties of the Main-Sequence Eclipsing Binary Star GX Geminorum, Constraints on Convective Core Overshooting. *The Astronomical Journal*, 135, 1757.
- MALKOV, O.Y. 2003. Eclipsing binaries and the mass-luminosity relation. *Astronomy and Astrophysics*, 402, 1055-1060.
- MALKOV, O.Y. 2007. Mass-luminosity relation of intermediate-mass stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 382, 1073-1086.

- MARIGO, P., GIRARDI, L., BRESSAN, A., GROENEWEGEN, M.A. T., SILVA, L. and GRANATO, G.L. 2008. Evolution of asymptotic giant branch stars. II. Optical to far-infrared isochrones with improved TP-AGB models. *Astronomy and Astrophysics*, 482, 883-905.
- MASANA, E., JORDI, C. and RIBAS, I. 2006. Effective temperature scale and bolometric corrections from 2MASS photometry. *Astronomy and Astrophysics*, 450, 735-746.
- MEIBOM, S., GRUNDAHL, F., CLAUSEN, J.V., MATHIEU, R.D., FRANDBSEN, S., PIGULSKI, A., NARWID, A., STESLICKI, M. and LEFEVER, K. 2009. Age and Distance for the Old Open Cluster NGC 188 from the Eclipsing Binary Member V 12. *The Astronomical Journal*, 137, 5086.
- MCLAUGHLIN, D. B. 1927. The masses and luminosities of the eclipsing binaries. *Astronomical Journal*, 38, 21-26.
- MEYNET, G. and MAEDER, A. 2000. Stellar evolution with rotation. V. Changes in all the outputs of massive star models. *Astronomy and Astrophysics*, 361, 101-120.
- MOWLAVI, N., EGGENBERGER, P., MEYNET, G., EKSTRÖM, S., GEORGY, C., MAEDER, A., CHARBONNEL, C. and EYER, L. 2012. Stellar mass and age determinations . I. Grids of stellar models from $Z = 0.006$ to 0.04 and $M = 0.5$ to $3.5 M_{\odot}$. *Astronomy and Astrophysics*, 541, A41.
- ÖZDARCAN, O., ÇAKIRLI, Ö. and AKAN, C. 2016. V421 Pegasi, a detached eclipsing binary with a possible γ Doradus component. *New Astronomy*, 46, 47.
- PAVLOVSKI, K., SOUTHWORTH, J., KOLBAS, V. and SMALLEY, B. 2014. Absolute dimensions of detached eclipsing binaries - III. The metallic-lined system YZ Cassiopeiae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438, 590.
- PEDERSEN, O., 1993. Early Physics and Astronomy, Altistaricil Introducion, Cambridge Universty Press, 1993, Sayfa 276.
- PETRIE, R.M. 1950a. The mass-luminosity relation determined from spectroscopic binaries. *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory*, 8, 341.
- PETRIE, R.M. 1950b. A new determination of the mass-luminosity relation from spectroscopic binaries. *Astronomical Journal*, 55, 180.
- PIETRINFERNI, A., CASSISI, S., SALARIS, M. and HIDALGO, S. 2013. The BaSTI Stellar Evolution Database, models for extremely metal-poor and super-metal-rich stellar populations. *Astronomy and Astrophysics*, 558, A46.

- POLS, O.R., SCHRÖDER, K.P., HURLEY, J.R., TOUT, C.A. and EGGLETON, P.P. 1998. Stellar evolution models for $Z = 0.0001$ to 0.03 . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 298, 525-536.
- POPPER, D.M. 1967. Determination of Masses of Eclipsing Binary Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 5, 85.
- POPPER, D.M. 1980. Stellar masse. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 18, 115-164.
- RIBAS, I., JORDÍ, C. and TORRA, J. 1999. CD Tau, a detached eclipsing binary with a solar-mass companion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 309.199.
- RUSSELL, H.N., ADAMS, W.S. and JOY, A.H. 1923. A Comparison of Spectroscopic and Dynamical Parallaxe. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 35, 189.
- SANDQUIST, E.L., SHETRONE, M., SERÍO, A.W. and OROSZ, J. 2013. Analysis of Detached Eclipsing Binaries near the Turnoff of the Open Cluster NGC 7142. *The Astronomical Journal*, 146, 40.
- SANDQUIST, E.L., JESSEN-HANSEN, J., SHETRONE, M.D., BROGAARD, K., MEIBOM, S., LEITNER, M., STELLO, D., BRUNTT, H., ANTOCI, V., OROSZ, J.A., GRUNDAHL, F. and FRANDBSEN, S. 2016. The Age and Distance of the Kepler Open Cluster NGC 6811 from an Eclipsing Binary, Turnoff Star Pulsation, and Giant Asteroseismology. *The Astrophysical Journal*, 831, 11.
- SCHAERER, D., MEYNET, G., MAEDER, A. and SCHALLER, G. 1993. Grids of stellar models. II - From 0.8 to 120 solar masses at $Z = 0.008$. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 98, 523-527.
- SCHALLER, G., SCHAERER, D., MEYNET, G. and MAEDER, A. 1992. New grids of stellar models from 0.8 to 120 solar masses at $Z = 0.020$ and $Z = 0.001$. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 96, 269-331.
- SOUTHWORTH, J., PAVLOVSKI, K., TAMAJO, E., SMALLEY, B., WEST, R.G. and ANDERON, D.R. 2011. Absolute dimensions of detached eclipsing binaries - II. The metallic-lined system XY Ceti. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 414, 3740.
- SOUTHWORTH, J. 2015. A Catalog of Detached Eclipsing Binary Stars. *Astronomical Society of the Pacific*, 496, 164.
- STRAND, K.Aa. and HALL, R.G. 1954. Visual Binaries for the Mass-Luminosity Relation. *The Astrophysical Journal*, 120, 322.

- TOGNETTI, E., PRADA MORONI, P.G. and DEGL'INNOVENTI, S. 2011. The Pisa pre-main sequence tracks and isochrones. A database covering a wide range of Z, Y, mass, and age values. *Astronomy and Astrophysics*, 533, A109.
- TOMASELLA, L., MUNARI, U., CASSISI, S., SIVIERO, A., DALLAPORTA, S., SORDO, R. and ZWITTER, T. 2008a. Asiago eclipsing binaries program. III. V570 Persei. *Astronomy and Astrophysics*, 483, 263.
- TOMASELLA, L., MUNARI, U., SIVIERO, A., CASSISI, S., DALLAPORTA, S., ZWITTER, T. and SORDO, R. 2008b. Asiago eclipsing binaries program. II. V505 Persei. *Astronomy and Astrophysics*, 480, 465-473.
- TORRES, G., ANDERSEN, J. and GIMENEZ, A. 2010. Accurate masses and radii of normal stars, modern results and applications. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 18, 67-126.
- TORRES, G., CLAUSEN, J.V., BRUNTT, H., CLARET, A., ANDERSEN, J., Nordström, B., Stefanik, R. P. and Latham, D. W. 2012. *Astronomy and Astrophysics*, 537, A117.
- TORRES, G., SANDBERG L., CLAUD H., PAVLOVSKI, K., FEKEL, F.C. and MUTERSPAUGH, M.W. 2015. Absolute Dimensions of the Metallic-line Eclipsing Binary V501 Monocerotis. *The Astronomical Journal*, 150, 154.
- VANDENBERG, D.A., BERGBUSCH, P.A. and DOWLER, P.D. 2006. The Victoria-Regina Stellar Models, Evolutionary Tracks and Isochrones for a Wide Range in Mass and Metallicity that Allow for Empirically Constrained Amounts of Convective Core Overshooting. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 162, 375-387.
- VERNAZZA, J.E., AVRETT, E.H. and LOESER, R. 1981. Structure of the solar chromosphere. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 45, 635-725.
- VOS, J., CLAUSEN, J.V., JORGENSEN, U.G., QSTENSEN, R.H., CLARET, A., HILLEN, M. and EXTER, K. 2012. Absolute dimensions of solar-type eclipsing binaries. EF Aquarii, a G0 test for stellar evolution models. *Astronomy and Astrophysics*, 502, A64.
- WOOLLANDS, R.M., POLLARD, K.R., RAMM, D.J., WRIGHT, D.J. and BÖHM, T. 2013. Spectroscopic orbital analysis of the δ Scuti binary, RS Cha - High-resolution spectroscopy reveals a third component. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 432, 327.
- YAKUT, K., EGGLETON, P.P., KALOMENI, B., TOUT, C.A. and ELDRIDGE, J.J. 2015. A turn-off detached binary star V568 Lyr in the Kepler field of the oldest open cluster (NGC 6791) in the Galaxy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 453, 2937.

YILDIRIM, C. 2009. Bilim tarihi, Remzi Kitabevi. İstanbul, Sayfa 30.

YILDIZ, M. 2015. Grids of stellar models including second harmonic and colours, Solar composition. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15, 2244.

ZEILIK, M., GREGORY, S.A. and SMITH, E.P. 1992a. Intraductory Astronomy and Astrophysics, Saunders Callege Publishing, New York. Sayfa 229.

ZEILIK, M., GREGORY, S.A. and SMITH, E.P. 1992b. Intraductory Astronomy and Astrophysics, Saunders Callege Publishing, New York. Sayfa 257.

7. EKLER

Ek 1. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0082$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log(L/L_{\odot})$	$\log(R/R_{\odot})$	$\log T_{eff}(K)^*$	$\log(L/L_{\odot})$	$\log(R/R_{\odot})$	$\log T_{eff}(K)^*$
0.8	-0.462648	-0.153813	3.722947	0.014299	0.022655	3.753950
0.85	-0.341543	-0.130095	3.741364	0.104940	0.047032	3.764421
0.9	-0.218094	-0.100390	3.757374	0.190778	0.071255	3.773769
0.95	-0.108827	-0.074418	3.771705	0.272217	0.094989	3.782262
1	-0.002924	-0.046845	3.784394	0.349469	0.117936	3.790102
1.05	0.104909	-0.016486	3.796173	0.422865	0.138861	3.797988
1.1	0.184675	0.004033	3.805855	0.492150	0.157394	3.806043
1.15	0.276120	0.030019	3.815723	0.558743	0.174794	3.813991
1.2	0.363842	0.053888	3.825719	0.599783	0.193423	3.814937
1.25	0.445947	0.074226	3.836076	0.684956	0.243100	3.811391
1.3	0.524604	0.092131	3.846788	0.769864	0.291553	3.808392
1.35	0.598314	0.104214	3.859174	0.853564	0.337487	3.806350
1.4	0.668828	0.110920	3.873449	0.937292	0.383514	3.804268
1.45	0.734901	0.113515	3.888670	1.018152	0.429074	3.801703
1.5	0.796546	0.115096	3.903291	1.079046	0.453058	3.804935
1.55	0.857662	0.117808	3.917214	1.137592	0.475022	3.808589
1.6	0.916188	0.120738	3.930381	1.195992	0.498576	3.811412
1.65	0.972996	0.123967	3.942968	1.251503	0.515559	3.816799
1.7	1.026630	0.127301	3.954709	1.304251	0.530307	3.822611
1.75	1.078588	0.130870	3.965914	1.356320	0.543555	3.829005
1.8	1.128759	0.134637	3.976574	1.407471	0.554791	3.836175
1.85	1.176319	0.138432	3.986566	1.458215	0.565055	3.843729
1.9	1.222444	0.142467	3.996080	1.505797	0.572804	3.851750
1.95	1.267737	0.146538	4.005368	1.553388	0.581004	3.859548
2	1.310868	0.150784	4.014027	1.599419	0.588959	3.867077
2.05	1.353127	0.155096	4.022436	1.642736	0.594846	3.874964
2.1	1.394253	0.159788	4.030371	1.686292	0.601632	3.882460
2.15	1.434174	0.164196	4.038148	1.729396	0.609112	3.889495
2.2	1.473277	0.168666	4.045689	1.770001	0.614665	3.896870
2.25	1.510732	0.172993	4.052889	1.810364	0.620838	3.903875
2.3	1.548131	0.177560	4.059955	1.849887	0.626770	3.910789
2.4	1.618236	0.186084	4.073219	1.925800	0.637797	3.924254
2.6	1.748539	0.202858	4.097408	2.067553	0.656100	3.950541
2.8	1.869266	0.219502	4.119268	2.197641	0.674146	3.974040
3	1.980988	0.235052	4.139423	2.317169	0.690438	3.995775
3.2	2.084626	0.250268	4.157725	2.428170	0.705078	4.016206
3.4	2.180071	0.264867	4.174286	2.531568	0.718934	4.035127
3.6	2.270216	0.278788	4.189862	2.627711	0.731681	4.052790
3.8	2.355006	0.292056	4.204426	2.717395	0.743298	4.069402
4	2.435510	0.304542	4.218309	2.802867	0.755210	4.084814
4.2	2.510626	0.316584	4.231067	2.882242	0.765833	4.099346
4.4	2.581850	0.328136	4.243097	2.957327	0.775990	4.113039
4.6	2.650019	0.339196	4.254609	3.028716	0.785631	4.126066
4.8	2.713648	0.349977	4.265126	3.096681	0.795342	4.138202
5	2.775405	0.360231	4.275438	3.161452	0.804851	4.149640
5.2	2.835105	0.370028	4.285465	3.222476	0.813768	4.160437
5.4	2.891597	0.379580	4.294812	3.281797	0.823037	4.170633
5.6	2.944811	0.388821	4.303495	3.338538	0.831959	4.180357
5.8	2.996169	0.397781	4.311854	3.392400	0.840246	4.189679
6	3.046181	0.406349	4.320073	3.445360	0.849272	4.198406

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 2. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0084$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.466266	-0.153649	3.721960	0.010251	0.022256	3.753137
0.85	-0.345085	-0.129902	3.740382	0.100851	0.046520	3.763655
0.9	-0.221760	-0.100393	3.756459	0.186636	0.070626	3.773048
0.95	-0.113391	-0.074930	3.770820	0.268025	0.094253	3.781582
1	-0.006752	-0.047124	3.783576	0.345258	0.117127	3.789453
1.05	0.099707	-0.017427	3.795342	0.418659	0.138098	3.797318
1.1	0.181203	0.003792	3.805107	0.487970	0.156694	3.805348
1.15	0.272672	0.029796	3.814972	0.554525	0.174094	3.813287
1.2	0.360488	0.053753	3.824948	0.595554	0.192802	3.814190
1.25	0.442719	0.074249	3.835258	0.680924	0.242537	3.810665
1.3	0.521475	0.092408	3.845867	0.765636	0.290913	3.807655
1.35	0.595409	0.105004	3.858052	0.849042	0.336669	3.805628
1.4	0.665946	0.112094	3.872142	0.932705	0.382602	3.803578
1.45	0.732013	0.114843	3.887284	1.013474	0.428234	3.800954
1.5	0.793623	0.116396	3.901910	1.074412	0.452201	3.804205
1.55	0.854867	0.119139	3.915850	1.133129	0.474441	3.807764
1.6	0.913499	0.122088	3.929033	1.191448	0.497878	3.810625
1.65	0.970215	0.125297	3.941608	1.246990	0.515265	3.815818
1.7	1.023954	0.128646	3.953368	1.300010	0.530661	3.821374
1.75	1.075849	0.132214	3.964558	1.352231	0.544435	3.827543
1.8	1.126051	0.135986	3.975222	1.403272	0.555945	3.834548
1.85	1.173702	0.139797	3.985230	1.453857	0.566274	3.842030
1.9	1.219873	0.143837	3.994752	1.501625	0.574369	3.849924
1.95	1.265200	0.147920	4.004043	1.549248	0.582588	3.857720
2	1.308381	0.152161	4.012717	1.595299	0.590530	3.865262
2.05	1.350639	0.156524	4.021100	1.638787	0.596552	3.873123
2.1	1.391762	0.161170	4.029058	1.682390	0.603393	3.880603
2.15	1.431744	0.165594	4.036841	1.725406	0.610686	3.887711
2.2	1.470912	0.170083	4.044389	1.766178	0.616399	3.895047
2.25	1.508381	0.174409	4.051593	1.806617	0.622576	3.902069
2.3	1.545799	0.178973	4.058666	1.846111	0.628412	3.909024
2.4	1.616012	0.187520	4.071945	1.922150	0.639474	3.922503
2.6	1.746376	0.204278	4.096158	2.064170	0.657810	3.948840
2.8	1.867223	0.220926	4.118045	2.194449	0.675862	3.972384
3	1.979097	0.236556	4.138199	2.314218	0.692197	3.994158
3.2	2.082754	0.251757	4.156512	2.425362	0.706796	4.014645
3.4	2.178325	0.266317	4.173125	2.528919	0.720648	4.033608
3.6	2.268595	0.280248	4.188727	2.625238	0.733373	4.051326
3.8	2.353406	0.293473	4.203317	2.715138	0.745057	4.067959
4	2.433925	0.305907	4.217230	2.800702	0.756901	4.083428
4.2	2.509168	0.317930	4.230029	2.880204	0.767516	4.097995
4.4	2.580536	0.329465	4.242104	2.955396	0.777632	4.111736
4.6	2.648643	0.340525	4.253601	3.026844	0.787233	4.124797
4.8	2.712474	0.351278	4.264182	3.094924	0.796935	4.136966
5	2.774226	0.361536	4.274491	3.159758	0.806403	4.148441
5.2	2.833947	0.371319	4.284530	3.220957	0.815367	4.159258
5.4	2.890522	0.380863	4.293901	3.280279	0.824565	4.169490
5.6	2.943720	0.390105	4.302580	3.337061	0.833441	4.179247
5.8	2.995265	0.399036	4.311001	3.390995	0.841714	4.188594
6	3.045260	0.407601	4.319217	3.444006	0.850706	4.197351

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 3. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0088$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{\text{eff}}(\text{K})^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{\text{eff}}(\text{K})^*$
0.8	-0.473594	-0.153320	3.719964	0.002039	0.021457	3.751484
0.85	-0.352256	-0.129518	3.738397	0.092557	0.045494	3.762095
0.9	-0.229184	-0.100399	3.754606	0.178233	0.069366	3.771578
0.95	-0.122665	-0.075956	3.769014	0.259516	0.092778	3.780192
1	-0.014509	-0.047681	3.781916	0.336710	0.115505	3.788127
1.05	0.089112	-0.019314	3.793637	0.410123	0.136567	3.795949
1.1	0.174175	0.003311	3.803591	0.479488	0.155291	3.803929
1.15	0.265694	0.029348	3.813452	0.545964	0.172691	3.811848
1.2	0.353701	0.053483	3.823386	0.586973	0.191558	3.812667
1.25	0.436192	0.074295	3.833603	0.672747	0.241408	3.809185
1.3	0.515149	0.092963	3.844008	0.757056	0.289628	3.806152
1.35	0.589540	0.106580	3.855797	0.839853	0.335030	3.804151
1.4	0.660125	0.114432	3.869518	0.923385	0.380774	3.802162
1.45	0.726179	0.117487	3.884504	1.003965	0.426549	3.799419
1.5	0.787717	0.118983	3.899140	1.064994	0.450482	3.802710
1.55	0.849221	0.121789	3.913113	1.124063	0.473276	3.806080
1.6	0.908072	0.124776	3.926332	1.182213	0.496479	3.809016
1.65	0.964599	0.127945	3.938880	1.237821	0.514675	3.813820
1.7	1.018552	0.131322	3.950679	1.291404	0.531368	3.818869
1.75	1.070318	0.134888	3.961838	1.343937	0.546190	3.824592
1.8	1.120585	0.138672	3.972512	1.394749	0.558245	3.831267
1.85	1.168421	0.142513	3.982551	1.445007	0.568701	3.838603
1.9	1.214686	0.146564	3.992092	1.493158	0.577483	3.846250
1.95	1.260081	0.150669	4.001388	1.540846	0.585741	3.854044
2	1.303365	0.154902	4.010093	1.586939	0.593654	3.861610
2.05	1.345621	0.159366	4.018425	1.630779	0.599943	3.869425
2.1	1.386736	0.163919	4.026427	1.674478	0.606895	3.876875
2.15	1.426843	0.168378	4.034224	1.717313	0.613816	3.884123
2.2	1.466142	0.172905	4.041785	1.758430	0.619848	3.891386
2.25	1.503640	0.177227	4.048999	1.799023	0.626030	3.898443
2.3	1.541098	0.181785	4.056084	1.838459	0.631676	3.905479
2.4	1.611527	0.190379	4.069395	1.914757	0.642809	3.918987
2.6	1.742019	0.207104	4.093655	2.057323	0.661210	3.945428
2.8	1.863107	0.223760	4.115599	2.187993	0.679274	3.969064
3	1.975292	0.239548	4.135751	2.308255	0.695692	3.990920
3.2	2.078986	0.254721	4.154088	2.419691	0.710213	4.011519
3.4	2.174812	0.269202	4.170805	2.523574	0.724056	4.030568
3.6	2.265336	0.283153	4.186460	2.620249	0.736736	4.048397
3.8	2.350188	0.296295	4.201102	2.710590	0.748552	4.065074
4	2.430737	0.308623	4.215075	2.796342	0.760262	4.080657
4.2	2.506236	0.320610	4.227956	2.876100	0.770863	4.095296
4.4	2.577897	0.332111	4.240121	2.951508	0.780896	4.109132
4.6	2.645879	0.343171	4.251587	3.023076	0.790420	4.122261
4.8	2.710115	0.353867	4.262298	3.091389	0.800103	4.134498
5	2.771859	0.364133	4.272601	3.156349	0.809490	4.146045
5.2	2.831622	0.373890	4.282663	3.217903	0.818548	4.156904
5.4	2.888362	0.383418	4.292084	3.277227	0.827606	4.167206
5.6	2.941529	0.392662	4.300754	3.334092	0.836388	4.177031
5.8	2.993453	0.401534	4.309299	3.388172	0.844635	4.186428
6	3.043412	0.410096	4.317508	3.441286	0.853561	4.195243

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 4. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0094$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.484823	-0.152828	3.716911	-0.010577	0.020257	3.748930
0.85	-0.363241	-0.128942	3.735363	0.079811	0.043951	3.759680
0.9	-0.240564	-0.100408	3.751765	0.165314	0.067469	3.769297
0.95	-0.136959	-0.077499	3.766212	0.246431	0.090556	3.778032
1	-0.026412	-0.048518	3.779358	0.323565	0.113061	3.786063
1.05	0.072717	-0.022161	3.790962	0.396996	0.134261	3.793821
1.1	0.163414	0.002587	3.801262	0.466446	0.153177	3.801725
1.15	0.255012	0.028676	3.811117	0.532798	0.170577	3.809613
1.2	0.343318	0.053078	3.820993	0.573773	0.189684	3.810303
1.25	0.426213	0.074364	3.831074	0.660186	0.239709	3.806894
1.3	0.505485	0.093794	3.841177	0.743860	0.287695	3.803820
1.35	0.580584	0.108933	3.852382	0.825695	0.332558	3.801847
1.4	0.651245	0.117917	3.865555	0.909018	0.378017	3.799948
1.45	0.717277	0.121423	3.880310	0.989299	0.424008	3.797023
1.5	0.778704	0.122835	3.894961	1.050473	0.447890	3.800376
1.55	0.840613	0.125734	3.908989	1.110098	0.471523	3.803465
1.6	0.899801	0.128778	3.922264	1.167983	0.494371	3.806513
1.65	0.956036	0.131887	3.934768	1.223693	0.513790	3.810731
1.7	1.010320	0.135306	3.946630	1.278165	0.532427	3.815030
1.75	1.061887	0.138868	3.957740	1.331191	0.548809	3.820096
1.8	1.112254	0.142671	3.968430	1.381643	0.561672	3.826277
1.85	1.160376	0.146557	3.978518	1.431384	0.572317	3.833390
1.9	1.206786	0.150622	3.988088	1.480140	0.582112	3.840681
1.95	1.252287	0.154760	3.997394	1.527931	0.590427	3.848472
2	1.295731	0.158982	4.006144	1.574090	0.598298	3.856076
2.05	1.337984	0.163595	4.014401	1.618484	0.604982	3.863832
2.1	1.379087	0.168010	4.022469	1.662334	0.612095	3.871239
2.15	1.419387	0.172520	4.030289	1.704885	0.618469	3.878689
2.2	1.458888	0.177104	4.037872	1.746542	0.624970	3.885853
2.25	1.496431	0.181420	4.045100	1.787377	0.631162	3.892966
2.3	1.533949	0.185969	4.052205	1.826722	0.636526	3.900120
2.4	1.604713	0.194632	4.065565	1.903425	0.647764	3.913677
2.6	1.735401	0.211308	4.089898	2.046846	0.666260	3.940284
2.8	1.856859	0.227977	4.111929	2.178126	0.684343	3.964063
3	1.969520	0.243998	4.132083	2.299155	0.700883	3.986050
3.2	2.073271	0.259129	4.150456	2.411043	0.715287	4.006820
3.4	2.169489	0.273493	4.167328	2.515430	0.729119	4.026000
3.6	2.260402	0.287474	4.183066	2.612657	0.741733	4.044000
3.8	2.345317	0.300494	4.197784	2.703676	0.753743	4.060750
4	2.425911	0.312667	4.211847	2.789717	0.765256	4.076504
4.2	2.501801	0.324600	4.224853	2.869870	0.775836	4.091252
4.4	2.573907	0.336050	4.237154	2.945610	0.785746	4.105232
4.6	2.641700	0.347110	4.248573	3.017361	0.795157	4.118464
4.8	2.706552	0.357722	4.259479	3.086033	0.804813	4.130804
5	2.768284	0.368000	4.269773	3.151186	0.814081	4.142459
5.2	2.828110	0.377718	4.279871	3.213281	0.823276	4.153385
5.4	2.885104	0.387222	4.289367	3.272608	0.832128	4.163791
5.6	2.938222	0.396469	4.298024	3.329599	0.840773	4.173716
5.8	2.990720	0.405254	4.306755	3.383902	0.848981	4.183188
6	3.040625	0.413810	4.314954	3.437173	0.857807	4.192092

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 5. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0098$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{\text{eff}}(\text{K})^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{\text{eff}}(\text{K})^*$
0.8	-0.492474	-0.152501	3.714834	-0.019196	0.019455	3.747176
0.85	-0.370721	-0.128559	3.733301	0.071101	0.042920	3.758018
0.9	-0.248320	-0.100414	3.749829	0.156484	0.066199	3.767724
0.95	-0.146757	-0.078530	3.764278	0.237484	0.089069	3.776539
1	-0.034532	-0.049077	3.777608	0.314576	0.111424	3.784634
1.05	0.061434	-0.024070	3.789096	0.388019	0.132717	3.792349
1.1	0.156089	0.002105	3.799672	0.457528	0.151762	3.800203
1.15	0.247741	0.028227	3.809524	0.523793	0.169162	3.808070
1.2	0.336255	0.052808	3.819362	0.564745	0.188431	3.808673
1.25	0.419431	0.074410	3.829355	0.651605	0.238572	3.805317
1.3	0.498920	0.094347	3.839259	0.734834	0.286401	3.802210
1.35	0.574509	0.110494	3.850083	0.815993	0.330903	3.800249
1.4	0.645223	0.120224	3.862896	0.899169	0.376170	3.798410
1.45	0.711240	0.124027	3.877499	0.979239	0.422306	3.795359
1.5	0.772590	0.125384	3.892158	1.040516	0.446154	3.798754
1.55	0.834777	0.128344	3.906225	1.100533	0.470351	3.801660
1.6	0.894199	0.131425	3.919539	1.158230	0.492960	3.804780
1.65	0.950231	0.134495	3.932013	1.214012	0.513199	3.808606
1.7	1.004745	0.137941	3.943918	1.269110	0.533131	3.812414
1.75	1.056175	0.141502	3.954995	1.322481	0.550547	3.817049
1.8	1.106610	0.145316	3.965697	1.372681	0.563942	3.822901
1.85	1.154929	0.149232	3.975819	1.422059	0.574711	3.829862
1.9	1.201439	0.153307	3.985409	1.471240	0.585171	3.836927
1.95	1.247012	0.157466	3.994722	1.519103	0.593523	3.844716
2	1.290566	0.161680	4.003504	1.565308	0.601367	3.852346
2.05	1.332817	0.166391	4.011711	1.610089	0.608309	3.860070
2.1	1.373911	0.170716	4.019822	1.654045	0.615527	3.867450
2.15	1.414344	0.175260	4.027658	1.696397	0.621544	3.875030
2.2	1.453983	0.179881	4.035258	1.738432	0.628352	3.882134
2.25	1.491557	0.184193	4.042495	1.779436	0.634549	3.889287
2.3	1.529116	0.188736	4.049613	1.818718	0.639730	3.896517
2.4	1.600110	0.197444	4.063008	1.895703	0.651036	3.910110
2.6	1.730932	0.214089	4.087391	2.039718	0.669595	3.936834
2.8	1.852643	0.230765	4.109481	2.171422	0.687689	3.960713
3	1.965629	0.246940	4.129640	2.292981	0.704310	3.982793
3.2	2.069419	0.262043	4.148035	2.405181	0.718637	4.003679
3.4	2.165904	0.276331	4.165013	2.509914	0.732461	4.022950
3.6	2.257080	0.290331	4.180807	2.607521	0.745033	4.041066
3.8	2.342038	0.303271	4.195576	2.699005	0.757170	4.057869
4	2.422663	0.315342	4.209697	2.785244	0.768554	4.073737
4.2	2.498819	0.327239	4.222787	2.865667	0.779120	4.088559
4.4	2.571226	0.338656	4.235181	2.941632	0.788950	4.102636
4.6	2.638891	0.349716	4.246567	3.013509	0.798287	4.115936
4.8	2.704161	0.360273	4.257606	3.082425	0.807925	4.128346
5	2.765885	0.370559	4.267894	3.147709	0.817114	4.140073
5.2	2.825753	0.380252	4.278015	3.210173	0.826400	4.151046
5.4	2.882917	0.389740	4.287562	3.269502	0.835116	4.161520
5.6	2.936004	0.398989	4.296209	3.326578	0.843671	4.171511
5.8	2.988889	0.407717	4.305066	3.381032	0.851854	4.181034
6	3.038757	0.416269	4.313257	3.434409	0.860616	4.189997

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 6. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0112$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.513447	-0.151097	3.708889	-0.043085	0.017235	3.742314
0.85	-0.391987	-0.127564	3.727488	0.047138	0.040217	3.753378
0.9	-0.272089	-0.101225	3.744293	0.132324	0.062986	3.763290
0.95	-0.170258	-0.079541	3.758908	0.213075	0.085323	3.772309
1	-0.058251	-0.050780	3.772529	0.289947	0.107164	3.780607
1.05	0.038273	-0.025919	3.784230	0.363224	0.128216	3.788400
1.1	0.134645	0.000527	3.795100	0.432798	0.147455	3.796174
1.15	0.226501	0.026473	3.805091	0.499136	0.165029	3.803972
1.2	0.315458	0.051209	3.814962	0.541034	0.185733	3.804095
1.25	0.399221	0.073377	3.824819	0.626431	0.234294	3.801163
1.3	0.478854	0.093842	3.834495	0.708694	0.281539	3.798107
1.35	0.554484	0.111129	3.844759	0.789353	0.325434	3.796324
1.4	0.625344	0.122952	3.856563	0.871582	0.370195	3.794500
1.45	0.691736	0.129362	3.869955	0.951473	0.415875	3.791633
1.5	0.754172	0.132481	3.884005	1.012940	0.440019	3.794928
1.55	0.816598	0.135756	3.897974	1.073047	0.464709	3.797610
1.6	0.876267	0.138918	3.911310	1.131157	0.487872	3.800556
1.65	0.932608	0.142073	3.923818	1.187246	0.509296	3.803866
1.7	0.987392	0.145611	3.935745	1.242458	0.530109	3.807262
1.75	1.039198	0.149189	3.946907	1.296029	0.548904	3.811258
1.8	1.089801	0.153081	3.957612	1.346913	0.564420	3.816221
1.85	1.138362	0.157035	3.967775	1.396727	0.577636	3.822066
1.9	1.185133	0.161140	3.977415	1.445951	0.589925	3.828228
1.95	1.230810	0.165320	3.986745	1.494003	0.599937	3.835234
2	1.274650	0.169601	3.995564	1.540235	0.608443	3.842540
2.05	1.317117	0.174277	4.003843	1.585706	0.616463	3.849897
2.1	1.358377	0.178601	4.011996	1.629969	0.623907	3.857241
2.15	1.398928	0.183148	4.019860	1.672487	0.629931	3.864859
2.2	1.438624	0.187698	4.027509	1.714939	0.636909	3.871982
2.25	1.476493	0.192123	4.034764	1.756222	0.643162	3.879177
2.3	1.514039	0.196620	4.041902	1.795851	0.648529	3.886400
2.4	1.585471	0.205284	4.055428	1.873423	0.659841	3.900137
2.6	1.717149	0.222001	4.079989	2.018649	0.678441	3.927144
2.8	1.839510	0.238734	4.102213	2.151497	0.696625	3.951264
3	1.952971	0.254835	4.122527	2.274433	0.713519	3.973551
3.2	2.057313	0.269906	4.141077	2.387757	0.727990	3.994647
3.4	2.154583	0.284219	4.158239	2.493429	0.741719	4.014200
3.6	2.246246	0.298070	4.174229	2.592105	0.754410	4.032524
3.8	2.331791	0.311054	4.189123	2.684465	0.766519	4.049559
4	2.412735	0.323167	4.203302	2.771218	0.777642	4.065686
4.2	2.489271	0.334994	4.216523	2.852594	0.788305	4.080698
4.4	2.562044	0.346314	4.229056	2.929338	0.798120	4.094977
4.6	2.630188	0.357333	4.240583	3.001922	0.807411	4.108477
4.8	2.695916	0.367805	4.251779	3.071318	0.816860	4.121102
5	2.758002	0.378057	4.262174	3.137196	0.826026	4.132988
5.2	2.817976	0.387697	4.272348	3.200089	0.835141	4.144154
5.4	2.875333	0.397137	4.281967	3.259934	0.843791	4.154791
5.6	2.929070	0.406285	4.290828	3.317405	0.852204	4.164952
5.8	2.982159	0.415022	4.299731	3.372404	0.860383	4.174612
6	3.032393	0.423491	4.308055	3.426013	0.868970	4.183721

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 7. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0117$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.520774	-0.150581	3.706799	-0.051482	0.016475	3.740594
0.85	-0.399482	-0.127230	3.725447	0.038729	0.039303	3.751733
0.9	-0.280630	-0.101562	3.742326	0.123856	0.061908	3.761712
0.95	-0.178213	-0.079748	3.757023	0.204521	0.084068	3.770799
1	-0.066686	-0.051374	3.770718	0.281306	0.105723	3.779167
1.05	0.030809	-0.026291	3.782550	0.354505	0.126653	3.787002
1.1	0.127037	-0.000031	3.793477	0.424095	0.145947	3.794752
1.15	0.218970	0.025834	3.803528	0.490485	0.163594	3.802526
1.2	0.308075	0.050597	3.813423	0.532809	0.184867	3.802471
1.25	0.392034	0.072936	3.823243	0.617453	0.232739	3.799696
1.3	0.471681	0.093516	3.832865	0.699387	0.279770	3.796664
1.35	0.547219	0.111069	3.842973	0.779979	0.323486	3.794954
1.4	0.618132	0.123608	3.854432	0.861816	0.368074	3.793119
1.45	0.684692	0.131034	3.867358	0.941677	0.413529	3.790357
1.5	0.747622	0.134886	3.881165	1.003205	0.437807	3.793600
1.55	0.810090	0.138278	3.895086	1.063261	0.462586	3.796225
1.6	0.869816	0.141465	3.908424	1.121601	0.486033	3.799086
1.65	0.926336	0.144663	3.920955	1.177810	0.507785	3.802262
1.7	0.981188	0.148232	3.932883	1.232928	0.528695	3.805587
1.75	1.033188	0.151819	3.944090	1.286509	0.547854	3.809402
1.8	1.083849	0.155739	3.954795	1.337757	0.564148	3.814068
1.85	1.132472	0.159704	3.964968	1.387849	0.578356	3.819487
1.9	1.179335	0.163819	3.974627	1.436996	0.591264	3.825319
1.95	1.225041	0.168002	3.983961	1.485115	0.601952	3.832005
2	1.268982	0.172313	3.992792	1.531349	0.610734	3.839172
2.05	1.311544	0.176955	4.001111	1.577037	0.619143	3.846390
2.1	1.352878	0.181296	4.009274	1.621414	0.626658	3.853727
2.15	1.393450	0.185838	4.017146	1.664050	0.632756	3.861337
2.2	1.433140	0.190352	4.024811	1.706601	0.639743	3.868481
2.25	1.471130	0.194823	4.032073	1.747970	0.646017	3.875686
2.3	1.508662	0.199302	4.039217	1.787767	0.651497	3.882896
2.4	1.580233	0.207940	4.052790	1.865534	0.662797	3.896687
2.6	1.712253	0.224693	4.077419	2.011161	0.681401	3.923792
2.8	1.834839	0.241447	4.099689	2.144418	0.699619	3.947997
3	1.948434	0.257487	4.120067	2.267839	0.716608	3.970358
3.2	2.053005	0.272551	4.138678	2.381586	0.731153	3.991522
3.4	2.150555	0.286888	4.155897	2.487589	0.744845	4.011177
3.6	2.242370	0.300676	4.171957	2.586648	0.757593	4.029568
3.8	2.328158	0.313694	4.186895	2.679286	0.769666	4.046691
4	2.409231	0.325845	4.201088	2.766217	0.780709	4.062902
4.2	2.485873	0.337650	4.214345	2.847946	0.791414	4.077982
4.4	2.558737	0.348937	4.226918	2.924977	0.801239	4.092327
4.6	2.627113	0.359940	4.238510	2.997838	0.810526	4.105899
4.8	2.692946	0.370387	4.249745	3.067387	0.819901	4.118598
5	2.755189	0.380625	4.260187	3.133491	0.829073	4.130538
5.2	2.815199	0.390248	4.270378	3.196488	0.838101	4.141774
5.4	2.872602	0.399671	4.280017	3.256555	0.846751	4.152466
5.6	2.926622	0.408777	4.288969	3.314175	0.855125	4.162684
5.8	2.979715	0.417530	4.297866	3.369375	0.863308	4.172392
6	3.030112	0.425966	4.306247	3.423060	0.871836	4.181549

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 8. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0119$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.523740	-0.150375	3.705955	-0.054887	0.016171	3.739895
0.85	-0.402517	-0.127097	3.724622	0.035319	0.038937	3.751064
0.9	-0.284094	-0.101697	3.741528	0.120421	0.061476	3.761070
0.95	-0.181437	-0.079830	3.756258	0.201052	0.083564	3.770183
1	-0.070107	-0.051612	3.769981	0.277801	0.105146	3.778580
1.05	0.027788	-0.026440	3.781869	0.350968	0.126027	3.786431
1.1	0.123955	-0.000255	3.792818	0.420565	0.145343	3.794172
1.15	0.215921	0.025578	3.802893	0.486976	0.163019	3.801937
1.2	0.305087	0.050352	3.812798	0.529475	0.184520	3.801811
1.25	0.389126	0.072760	3.822604	0.613809	0.232115	3.799097
1.3	0.468779	0.093385	3.832204	0.695607	0.279061	3.796074
1.35	0.544279	0.111045	3.842250	0.776171	0.322705	3.794393
1.4	0.615213	0.123870	3.853571	0.857848	0.367223	3.792553
1.45	0.681842	0.131701	3.866312	0.937696	0.412587	3.789833
1.5	0.744974	0.135845	3.880023	0.999249	0.436919	3.793055
1.55	0.807459	0.139282	3.893926	1.059285	0.461734	3.795657
1.6	0.867208	0.142480	3.907265	1.117718	0.485295	3.798484
1.65	0.923802	0.145695	3.919805	1.173977	0.507179	3.801607
1.7	0.978682	0.149277	3.931734	1.229057	0.528129	3.804902
1.75	1.030761	0.152866	3.942960	1.282642	0.547434	3.808646
1.8	1.081445	0.156798	3.953665	1.334040	0.564039	3.813193
1.85	1.130094	0.160767	3.963842	1.384247	0.578644	3.818442
1.9	1.176994	0.164886	3.973508	1.433361	0.591799	3.824143
1.95	1.222712	0.169071	3.982845	1.481508	0.602756	3.830701
2	1.266694	0.173393	3.991679	1.527742	0.611648	3.837814
2.05	1.309294	0.178021	4.000015	1.573521	0.620211	3.844977
2.1	1.350658	0.182369	4.008182	1.617944	0.627754	3.852311
2.15	1.391239	0.186910	4.016057	1.660629	0.633882	3.859919
2.2	1.430926	0.191409	4.023730	1.703221	0.640871	3.867072
2.25	1.468966	0.195899	4.030995	1.744625	0.647154	3.874282
2.3	1.506492	0.200371	4.038140	1.784491	0.652678	3.881486
2.4	1.578120	0.208998	4.051733	1.862339	0.663974	3.895300
2.6	1.710279	0.225765	4.076390	2.008130	0.682579	3.922445
2.8	1.832956	0.242528	4.098678	2.141553	0.700811	3.946685
3	1.946605	0.258544	4.119082	2.265174	0.717838	3.969077
3.2	2.051270	0.273604	4.137718	2.379092	0.732411	3.990270
3.4	2.148933	0.287952	4.154960	2.485232	0.746089	4.009966
3.6	2.240810	0.301713	4.171048	2.584445	0.758860	4.028384
3.8	2.326696	0.314745	4.186004	2.677196	0.770918	4.045543
4	2.407822	0.326911	4.200202	2.764200	0.781930	4.061788
4.2	2.484507	0.338708	4.213475	2.846073	0.792651	4.076895
4.4	2.557407	0.349982	4.226063	2.923220	0.802480	4.091267
4.6	2.625876	0.360978	4.237682	2.996194	0.811765	4.104868
4.8	2.691753	0.371416	4.248933	3.065804	0.821112	4.117597
5	2.754059	0.381647	4.259393	3.132000	0.830286	4.129559
5.2	2.814083	0.391264	4.269591	3.195039	0.839279	4.140823
5.4	2.871504	0.400681	4.279238	3.255195	0.847929	4.151537
5.6	2.925639	0.409770	4.288227	3.312876	0.856288	4.161778
5.8	2.978733	0.418529	4.297121	3.368157	0.864472	4.171505
6	3.029196	0.426952	4.305525	3.421873	0.872978	4.180682

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 9. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0122$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.528227	-0.150066	3.704679	-0.060045	0.015714	3.738834
0.85	-0.407109	-0.126897	3.723373	0.030154	0.038387	3.750047
0.9	-0.289343	-0.101900	3.740317	0.115218	0.060827	3.760094
0.95	-0.186317	-0.079954	3.755100	0.195796	0.082808	3.769247
1	-0.075289	-0.051969	3.768864	0.272489	0.104278	3.777686
1.05	0.023215	-0.026664	3.780838	0.345608	0.125085	3.785562
1.1	0.119292	-0.000590	3.791820	0.415214	0.144434	3.793289
1.15	0.211307	0.025194	3.801932	0.481659	0.162155	3.801040
1.2	0.300565	0.049985	3.811851	0.524426	0.184000	3.800809
1.25	0.384726	0.072495	3.821636	0.608285	0.231178	3.798185
1.3	0.464388	0.093189	3.831205	0.689876	0.277995	3.795174
1.35	0.539831	0.111009	3.841156	0.770397	0.321530	3.793537
1.4	0.610798	0.124263	3.852270	0.851826	0.365943	3.791687
1.45	0.677531	0.132699	3.864735	0.931655	0.411171	3.789031
1.5	0.740971	0.137279	3.878306	0.993247	0.435583	3.792222
1.55	0.803483	0.140785	3.892181	1.053250	0.460452	3.794789
1.6	0.863267	0.143997	3.905521	1.111829	0.484186	3.797566
1.65	0.919973	0.147238	3.918077	1.168164	0.506268	3.800609
1.7	0.974895	0.150839	3.930007	1.223185	0.527277	3.803860
1.75	1.027094	0.154432	3.941260	1.276775	0.546802	3.807495
1.8	1.077815	0.158381	3.951965	1.328404	0.563875	3.811866
1.85	1.126501	0.162356	3.962149	1.378787	0.579075	3.816862
1.9	1.173459	0.166481	3.971826	1.427851	0.592599	3.822365
1.95	1.219194	0.170668	3.981167	1.476041	0.603958	3.828734
2	1.263239	0.175008	3.990008	1.522276	0.613014	3.835764
2.05	1.305897	0.179616	3.998369	1.568192	0.621807	3.842847
2.1	1.347307	0.183974	4.006542	1.612686	0.629392	3.850178
2.15	1.387901	0.188512	4.014422	1.655446	0.635564	3.857782
2.2	1.427585	0.192989	4.022104	1.698100	0.642558	3.864949
2.25	1.465700	0.197507	4.029374	1.739558	0.648853	3.872165
2.3	1.503217	0.201968	4.036522	1.779530	0.654444	3.879363
2.4	1.574931	0.210580	4.050145	1.857500	0.665734	3.893211
2.6	1.707301	0.227368	4.074844	2.003542	0.684341	3.920418
2.8	1.830117	0.244143	4.097160	2.137221	0.702593	3.944711
3	1.943849	0.260123	4.117603	2.261144	0.719676	3.967151
3.2	2.048654	0.275180	4.136276	2.375325	0.734293	3.988387
3.4	2.146489	0.289542	4.153554	2.481671	0.747949	4.008146
3.6	2.238459	0.303265	4.169684	2.581121	0.760753	4.026606
3.8	2.324493	0.316317	4.184667	2.674044	0.772789	4.043819
4	2.405699	0.328506	4.198874	2.761157	0.783754	4.060115
4.2	2.482448	0.340290	4.212169	2.843247	0.794500	4.075264
4.4	2.555404	0.351544	4.224781	2.920571	0.804335	4.089677
4.6	2.624016	0.362531	4.236441	2.993715	0.813618	4.103322
4.8	2.689957	0.372954	4.247714	3.063419	0.822921	4.116097
5	2.752358	0.383177	4.258203	3.129754	0.832100	4.128091
5.2	2.812404	0.392784	4.268411	3.192857	0.841041	4.139396
5.4	2.869853	0.402191	4.278070	3.253148	0.849691	4.150144
5.6	2.924160	0.411256	4.287115	3.310921	0.858026	4.160420
5.8	2.977257	0.420023	4.296005	3.366324	0.866213	4.170177
6	3.027818	0.428427	4.304443	3.420086	0.874684	4.179382

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 10. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0133$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.545089	-0.148935	3.699898	-0.079500	0.014035	3.734810
0.85	-0.424374	-0.126163	3.718690	0.010670	0.036365	3.746188
0.9	-0.309149	-0.102643	3.735737	0.095589	0.058439	3.756380
0.95	-0.204696	-0.080408	3.750732	0.175961	0.080024	3.765681
1	-0.094836	-0.053280	3.764633	0.252439	0.101080	3.774272
1.05	0.006025	-0.027484	3.776951	0.325369	0.121616	3.782237
1.1	0.101752	-0.001821	3.788051	0.395013	0.141087	3.789912
1.15	0.193955	0.023783	3.798299	0.461585	0.158971	3.797613
1.2	0.283571	0.048634	3.808278	0.505392	0.182086	3.797008
1.25	0.368202	0.071523	3.817992	0.587408	0.227725	3.794692
1.3	0.447899	0.092471	3.827442	0.668188	0.274064	3.791718
1.35	0.523119	0.110877	3.837044	0.748543	0.317195	3.790241
1.4	0.594213	0.125701	3.847405	0.829004	0.361217	3.788345
1.45	0.661350	0.136341	3.858869	0.908757	0.405937	3.785923
1.5	0.725972	0.142495	3.871948	0.970501	0.430651	3.789002
1.55	0.788584	0.146250	3.885723	1.030378	0.455721	3.791436
1.6	0.848503	0.149517	3.899070	1.089524	0.480096	3.794035
1.65	0.905636	0.152849	3.911687	1.146158	0.502912	3.796786
1.7	0.960718	0.156517	3.923623	1.200948	0.524141	3.799869
1.75	1.013379	0.160127	3.934983	1.254562	0.544478	3.803104
1.8	1.064237	0.164139	3.945692	1.307089	0.563275	3.806837
1.85	1.113069	0.168135	3.955902	1.358157	0.580652	3.810916
1.9	1.160244	0.172282	3.965622	1.407030	0.595523	3.815698
1.95	1.206048	0.176477	3.974976	1.455385	0.608338	3.821379
2	1.250329	0.180878	3.983846	1.501623	0.617987	3.828114
2.05	1.293211	0.185413	3.992298	1.548075	0.627610	3.834916
2.1	1.334794	0.189810	4.000496	1.592845	0.635346	3.842241
2.15	1.375440	0.194337	4.008394	1.635896	0.641677	3.849838
2.2	1.415110	0.198735	4.016112	1.678791	0.648687	3.857056
2.25	1.453510	0.203353	4.023403	1.720457	0.655029	3.864302
2.3	1.490992	0.207777	4.030562	1.760838	0.660859	3.871482
2.4	1.563034	0.216332	4.044295	1.839283	0.672125	3.885461
2.6	1.696203	0.233195	4.069156	1.986294	0.690740	3.912906
2.8	1.819545	0.250016	4.091580	2.120957	0.709064	3.937409
3	1.933588	0.265867	4.112166	2.246042	0.726349	3.960038
3.2	2.038926	0.280907	4.130980	2.361226	0.741122	3.981448
3.4	2.137409	0.295324	4.148393	2.468359	0.754701	4.001442
3.6	2.229728	0.308909	4.164680	2.568708	0.767626	4.020067
3.8	2.316322	0.322034	4.179766	2.662283	0.779584	4.037481
4	2.397826	0.334303	4.194007	2.749815	0.790379	4.053967
4.2	2.474817	0.346042	4.207386	2.832729	0.801214	4.069278
4.4	2.547981	0.357226	4.220085	2.910718	0.811071	4.083847
4.6	2.617123	0.368178	4.231894	2.984505	0.820346	4.097656
4.8	2.683306	0.378550	4.243254	3.054562	0.829492	4.110597
5	2.746064	0.388740	4.253848	3.121419	0.838684	4.122715
5.2	2.806191	0.398312	4.264094	3.184762	0.847440	4.134173
5.4	2.863743	0.407684	4.273796	3.245559	0.856090	4.145047
5.6	2.918694	0.416659	4.283046	3.303675	0.864341	4.155450
5.8	2.971799	0.425459	4.291923	3.359536	0.872536	4.165318
6	3.022730	0.433793	4.300488	3.413472	0.880883	4.174629

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 11. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0142$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{\text{eff}}(\text{K})^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{\text{eff}}(\text{K})^*$
0.8	-0.558588	-0.148440	3.696275	-0.094784	0.012726	3.731643
0.85	-0.438146	-0.125894	3.715113	-0.004620	0.034811	3.743142
0.9	-0.324668	-0.103292	3.732181	0.080189	0.056614	3.753443
0.95	-0.219201	-0.080839	3.747322	0.160400	0.077902	3.762852
1	-0.109721	-0.054098	3.761321	0.236707	0.098657	3.771551
1.05	-0.007641	-0.028155	3.773870	0.309495	0.118979	3.779587
1.1	0.088116	-0.002706	3.785084	0.379140	0.138490	3.787242
1.15	0.180474	0.022763	3.795439	0.445820	0.156503	3.794906
1.2	0.270199	0.047643	3.805431	0.489775	0.179613	3.794340
1.25	0.355260	0.070793	3.815121	0.570651	0.224193	3.792269
1.3	0.435065	0.091948	3.824494	0.650485	0.269795	3.789426
1.35	0.510221	0.110806	3.833854	0.730437	0.312749	3.787937
1.4	0.581458	0.126745	3.843694	0.810169	0.356560	3.785965
1.45	0.648920	0.138934	3.854465	0.889936	0.400825	3.783774
1.5	0.714319	0.146319	3.867123	0.952640	0.426854	3.786435
1.55	0.777031	0.150389	3.880765	1.012478	0.452088	3.788778
1.6	0.837072	0.153732	3.894104	1.072016	0.476883	3.791265
1.65	0.894515	0.157140	3.906761	1.128835	0.500146	3.793838
1.7	0.949732	0.160854	3.918708	1.183579	0.521644	3.796775
1.75	1.002726	0.164499	3.930134	1.237281	0.542596	3.799725
1.8	1.053701	0.168553	3.940851	1.290371	0.562506	3.803042
1.85	1.102663	0.172573	3.951082	1.341910	0.581283	3.806538
1.9	1.150006	0.176747	3.960830	1.390758	0.597201	3.810791
1.95	1.195873	0.180959	3.970191	1.439211	0.611106	3.815952
2	1.240331	0.185405	3.979083	1.485519	0.621420	3.822372
2.05	1.283383	0.189887	3.987605	1.532325	0.631686	3.828940
2.1	1.325108	0.194323	3.995818	1.577322	0.639650	3.836208
2.15	1.365801	0.198828	4.003738	1.620634	0.646189	3.843766
2.2	1.405475	0.203203	4.011470	1.663704	0.653203	3.851027
2.25	1.444082	0.207871	4.018788	1.705495	0.659555	3.858299
2.3	1.481566	0.212278	4.025955	1.746216	0.665564	3.865474
2.4	1.553861	0.220817	4.039759	1.825051	0.676831	3.879550
2.6	1.687667	0.237742	4.064748	1.972883	0.695510	3.907168
2.8	1.811431	0.254570	4.087275	2.108336	0.713898	3.931838
3	1.925795	0.270376	4.107963	2.234254	0.731251	3.954641
3.2	2.031517	0.285384	4.126890	2.350269	0.746180	3.976180
3.4	2.130494	0.299801	4.144425	2.458058	0.759740	3.996347
3.6	2.223090	0.313330	4.160810	2.559083	0.772729	4.015109
3.8	2.310123	0.326493	4.175987	2.653193	0.784645	4.032678
4	2.391844	0.338787	4.190270	2.741109	0.795368	4.049296
4.2	2.469046	0.350491	4.203718	2.824622	0.806221	4.064747
4.4	2.542389	0.361633	4.216483	2.903175	0.816128	4.079432
4.6	2.611934	0.372554	4.228409	2.977442	0.825374	4.093376
4.8	2.678314	0.382887	4.239837	3.047811	0.834438	4.106436
5	2.741339	0.393054	4.250510	3.115050	0.843633	4.118648
5.2	2.801562	0.402606	4.260790	3.178618	0.852262	4.130226
5.4	2.859226	0.411934	4.270542	3.239800	0.860901	4.141202
5.6	2.914628	0.420851	4.279934	3.298205	0.869112	4.151697
5.8	2.967771	0.429673	4.288809	3.354394	0.877295	4.161653
6	3.018966	0.437953	4.297467	3.408521	0.885591	4.171037

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 12. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0152$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.570886	-0.149554	3.693758	-0.107165	0.011538	3.729142
0.85	-0.450431	-0.126883	3.712536	-0.016924	0.033501	3.740721
0.9	-0.337017	-0.104167	3.729532	0.067828	0.055115	3.751102
0.95	-0.231359	-0.081552	3.744638	0.147937	0.076190	3.760591
1	-0.119713	-0.054005	3.758777	0.224126	0.096770	3.769349
1.05	-0.019639	-0.028898	3.771241	0.296851	0.116904	3.777463
1.1	0.077489	-0.003198	3.782674	0.366365	0.136216	3.785186
1.15	0.169995	0.022164	3.793119	0.433154	0.154349	3.792817
1.2	0.259026	0.046994	3.802962	0.474172	0.173308	3.793591
1.25	0.344656	0.070244	3.812744	0.555704	0.217534	3.791862
1.3	0.424900	0.091625	3.822115	0.633518	0.260947	3.789608
1.35	0.500495	0.110873	3.831390	0.711960	0.304334	3.787525
1.4	0.572024	0.127406	3.841005	0.791389	0.348355	3.785372
1.45	0.639757	0.140388	3.851448	0.871509	0.391977	3.783591
1.5	0.705046	0.148989	3.863470	0.938672	0.423696	3.784522
1.55	0.767923	0.153854	3.876756	0.998760	0.449101	3.786842
1.6	0.828125	0.157410	3.890029	1.058292	0.473919	3.789316
1.65	0.885684	0.160906	3.902670	1.114997	0.497047	3.791928
1.7	0.941036	0.164640	3.914641	1.170336	0.519192	3.794690
1.75	0.994156	0.168411	3.926036	1.224408	0.540603	3.797503
1.8	1.045260	0.172481	3.936777	1.277188	0.560566	3.800716
1.85	1.094383	0.176552	3.947022	1.328720	0.579426	3.804170
1.9	1.141846	0.180797	3.956765	1.378130	0.596343	3.808063
1.95	1.187797	0.185066	3.966118	1.426494	0.611119	3.812766
2	1.232349	0.189539	3.975020	1.473154	0.622900	3.818541
2.05	1.275514	0.193984	3.983589	1.519887	0.633798	3.824775
2.1	1.317369	0.198498	3.991796	1.565078	0.642424	3.831760
2.15	1.358126	0.202932	3.999768	1.608708	0.649502	3.839128
2.2	1.397871	0.207429	4.007456	1.651829	0.656485	3.846417
2.25	1.436566	0.212036	4.014826	1.693525	0.662750	3.853709
2.3	1.474173	0.216480	4.022006	1.734561	0.668904	3.860890
2.4	1.546643	0.225110	4.035808	1.813731	0.680256	3.875007
2.6	1.680991	0.242110	4.060895	1.962397	0.699229	3.902687
2.8	1.805133	0.258829	4.083571	2.098481	0.717700	3.927472
3	1.920073	0.274815	4.104313	2.224651	0.734773	3.950478
3.2	2.025962	0.289715	4.123335	2.341461	0.749993	3.972071
3.4	2.125279	0.303970	4.141037	2.449908	0.763706	3.992327
3.6	2.218103	0.317641	4.157408	2.551314	0.776636	4.011213
3.8	2.305506	0.330766	4.172696	2.645936	0.788583	4.028895
4	2.387335	0.342931	4.187071	2.734395	0.799468	4.045567
4.2	2.464803	0.354609	4.200599	2.818174	0.810139	4.061176
4.4	2.538363	0.365757	4.213415	2.897356	0.820232	4.075925
4.6	2.608187	0.376638	4.225430	2.971910	0.829356	4.090002
4.8	2.674764	0.386933	4.236927	3.042681	0.838491	4.103127
5	2.737971	0.397087	4.247652	3.110119	0.847663	4.115401
5.2	2.798407	0.406649	4.257980	3.174027	0.856238	4.127090
5.4	2.856296	0.415865	4.267844	3.235475	0.864823	4.138160
5.6	2.911859	0.424773	4.277281	3.294208	0.873088	4.148711
5.8	2.965167	0.433601	4.286194	3.350541	0.881186	4.158745
6	3.016487	0.441834	4.294907	3.405060	0.889607	4.168164

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 13. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0155$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.574645	-0.149889	3.692986	-0.110949	0.011182	3.728374
0.85	-0.454185	-0.127179	3.711746	-0.020684	0.033107	3.739978
0.9	-0.340791	-0.104430	3.728720	0.064050	0.054664	3.750383
0.95	-0.235074	-0.081766	3.743817	0.144127	0.075676	3.759896
1	-0.122756	-0.053977	3.758002	0.220280	0.096202	3.768671
1.05	-0.023305	-0.029121	3.770436	0.292984	0.116279	3.776809
1.1	0.074250	-0.003346	3.781938	0.362459	0.135531	3.784551
1.15	0.166801	0.021984	3.792411	0.429281	0.153700	3.792173
1.2	0.255617	0.046799	3.802207	0.469379	0.171398	3.793348
1.25	0.341423	0.070079	3.812019	0.551118	0.215516	3.791724
1.3	0.421803	0.091528	3.821389	0.628296	0.258258	3.789648
1.35	0.497534	0.110893	3.830639	0.706260	0.301777	3.787379
1.4	0.569154	0.127604	3.840189	0.785592	0.345863	3.785169
1.45	0.636970	0.140823	3.850533	0.865824	0.389288	3.783515
1.5	0.702226	0.149786	3.862366	0.934393	0.422744	3.783929
1.55	0.765152	0.154889	3.875546	0.994559	0.448201	3.786241
1.6	0.825404	0.158508	3.888800	1.054089	0.473026	3.788712
1.65	0.882999	0.162029	3.901437	1.110758	0.496113	3.791335
1.7	0.938392	0.165770	3.913416	1.166283	0.518454	3.794046
1.75	0.991551	0.169577	3.924802	1.220471	0.540003	3.796818
1.8	1.042696	0.173652	3.935550	1.273153	0.559983	3.799999
1.85	1.091868	0.177738	3.945800	1.324684	0.578867	3.803440
1.9	1.139368	0.182005	3.955542	1.374268	0.596085	3.807227
1.95	1.185344	0.186291	3.964893	1.422605	0.611123	3.811792
2	1.229925	0.190772	3.973798	1.469375	0.623344	3.817374
2.05	1.273125	0.195206	3.982381	1.516085	0.634429	3.823509
2.1	1.315020	0.199742	3.990586	1.561337	0.643253	3.830410
2.15	1.355797	0.204156	3.998574	1.605065	0.650491	3.837723
2.2	1.395564	0.208689	4.006249	1.648202	0.657466	3.845020
2.25	1.434286	0.213277	4.013635	1.689868	0.663704	3.852317
2.3	1.471931	0.217733	4.020819	1.731003	0.669902	3.859502
2.4	1.544454	0.226390	4.034621	1.810276	0.681278	3.873633
2.6	1.678968	0.243412	4.059739	1.959201	0.700338	3.901334
2.8	1.803225	0.260099	4.082459	2.095481	0.718835	3.926155
3	1.918342	0.276138	4.103219	2.221728	0.735825	3.949222
3.2	2.024282	0.291006	4.122270	2.338783	0.751130	3.970833
3.4	2.123702	0.305212	4.140022	2.447432	0.764888	3.991116
3.6	2.216596	0.318925	4.156389	2.548956	0.777802	4.010040
3.8	2.304111	0.332040	4.171710	2.643735	0.789758	4.027757
4	2.385974	0.344167	4.186112	2.732360	0.800691	4.044447
4.2	2.463522	0.355836	4.199665	2.816220	0.811307	4.060104
4.4	2.537148	0.366986	4.212496	2.895595	0.821456	4.074873
4.6	2.607057	0.377856	4.224539	2.970236	0.830543	4.088990
4.8	2.673693	0.388140	4.236056	3.041130	0.839700	4.102135
5	2.736955	0.398289	4.246796	3.108629	0.848864	4.114427
5.2	2.797456	0.407855	4.257139	3.172641	0.857423	4.126151
5.4	2.855412	0.417037	4.267037	3.234169	0.865992	4.137249
5.6	2.911025	0.425942	4.276488	3.293002	0.874273	4.147816
5.8	2.964383	0.434772	4.285412	3.349379	0.882347	4.157874
6	3.015741	0.442991	4.294142	3.404016	0.890804	4.167304

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 14. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0159$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.579707	-0.150336	3.691944	-0.116046	0.010705	3.727338
0.85	-0.459242	-0.127576	3.710680	-0.025749	0.032582	3.738974
0.9	-0.345875	-0.104781	3.727624	0.058961	0.054062	3.749411
0.95	-0.240077	-0.082051	3.742709	0.138995	0.074988	3.758957
1	-0.126847	-0.053940	3.756960	0.215098	0.095444	3.767755
1.05	-0.028240	-0.029418	3.769351	0.287776	0.115445	3.775924
1.1	0.069892	-0.003544	3.780947	0.357194	0.134617	3.783692
1.15	0.162506	0.021744	3.791457	0.424063	0.152834	3.791301
1.2	0.251030	0.046539	3.801190	0.462906	0.168839	3.793009
1.25	0.337076	0.069859	3.811042	0.544926	0.212810	3.791529
1.3	0.417640	0.091399	3.820413	0.621234	0.254645	3.789688
1.35	0.493555	0.110920	3.829631	0.698541	0.298345	3.787165
1.4	0.565297	0.127868	3.839093	0.777741	0.342518	3.784879
1.45	0.633226	0.141403	3.849307	0.858128	0.385675	3.783397
1.5	0.698436	0.150848	3.860888	0.928621	0.421472	3.783122
1.55	0.761431	0.156264	3.873928	0.988893	0.446998	3.785426
1.6	0.821750	0.159966	3.887157	1.048421	0.471832	3.787891
1.65	0.879393	0.163523	3.899789	1.105041	0.494865	3.790530
1.7	0.934843	0.167271	3.911778	1.160819	0.517467	3.793174
1.75	0.988054	0.171127	3.923152	1.215165	0.539203	3.795892
1.8	1.039252	0.175209	3.933911	1.267715	0.559203	3.799029
1.85	1.088492	0.179315	3.944168	1.319243	0.578121	3.802453
1.9	1.136041	0.183610	3.953908	1.369066	0.595741	3.806099
1.95	1.182053	0.187919	3.963256	1.417365	0.611128	3.810479
2	1.226672	0.192410	3.972166	1.464285	0.623934	3.815807
2.05	1.269920	0.196829	3.980768	1.510964	0.635270	3.821808
2.1	1.311868	0.201397	3.988971	1.556297	0.644355	3.828599
2.15	1.352672	0.205782	3.996979	1.600161	0.651806	3.835839
2.2	1.392468	0.210363	4.004638	1.643319	0.658769	3.843148
2.25	1.431226	0.214927	4.012045	1.684945	0.664973	3.850452
2.3	1.468922	0.219398	4.019234	1.726212	0.671227	3.857642
2.4	1.541518	0.228091	4.033037	1.805627	0.682637	3.871791
2.6	1.676256	0.245141	4.058196	1.954903	0.701813	3.899522
2.8	1.800669	0.261787	4.080976	2.091448	0.720343	3.924393
3	1.916022	0.277896	4.101760	2.217799	0.737222	3.947541
3.2	2.022031	0.292721	4.120850	2.335186	0.752642	3.969178
3.4	2.121590	0.306864	4.138668	2.444110	0.766460	3.989500
3.6	2.214578	0.320633	4.155031	2.545792	0.779351	4.008475
3.8	2.302245	0.333732	4.170397	2.640783	0.791319	4.026239
4	2.384151	0.345809	4.184836	2.729632	0.802316	4.042952
4.2	2.461808	0.357468	4.198421	2.813602	0.812860	4.058673
4.4	2.535522	0.368621	4.211273	2.893235	0.823082	4.073470
4.6	2.605545	0.379474	4.223352	2.967994	0.832122	4.087640
4.8	2.672261	0.389743	4.234896	3.039053	0.841306	4.100812
5	2.735597	0.399888	4.245658	3.106634	0.850461	4.113130
5.2	2.796185	0.409457	4.256020	3.170785	0.858999	4.124899
5.4	2.854232	0.418596	4.265962	3.232422	0.867547	4.136034
5.6	2.909910	0.427497	4.275432	3.291388	0.875849	4.146625
5.8	2.963335	0.436329	4.284371	3.347824	0.883889	4.156714
6	3.014744	0.444530	4.293123	3.402621	0.892396	4.166160

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 15. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0181$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log(L/L_{\odot})$	$\log(R/R_{\odot})$	$\log T_{eff}(K)^*$	$\log(L/L_{\odot})$	$\log(R/R_{\odot})$	$\log T_{eff}(K)^*$
0.8	-0.604273	-0.151607	3.686438	-0.142173	0.008186	3.722066
0.85	-0.484045	-0.128784	3.705083	-0.051724	0.029849	3.733847
0.9	-0.370720	-0.105736	3.721890	0.032909	0.050988	3.744436
0.95	-0.264553	-0.082808	3.736968	0.112784	0.071550	3.754123
1	-0.150805	-0.054737	3.751370	0.188622	0.091636	3.763040
1.05	-0.053015	-0.030713	3.763805	0.261044	0.111233	3.771347
1.1	0.046565	-0.004812	3.775750	0.330290	0.130110	3.779220
1.15	0.141441	0.020936	3.786595	0.397178	0.148307	3.786843
1.2	0.239097	0.049554	3.796700	0.432444	0.159547	3.790040
1.25	0.315078	0.068909	3.806018	0.514004	0.203194	3.788606
1.3	0.396676	0.091234	3.815254	0.589152	0.242850	3.787565
1.35	0.473862	0.111562	3.824387	0.663894	0.286493	3.784430
1.4	0.546264	0.129107	3.833715	0.742729	0.330934	3.781917
1.45	0.614751	0.144040	3.843370	0.822493	0.372562	3.781045
1.5	0.680080	0.155652	3.853896	0.899220	0.414997	3.779009
1.55	0.742982	0.162866	3.866015	0.960217	0.441054	3.781230
1.6	0.803251	0.167327	3.878852	1.019150	0.465454	3.783763
1.65	0.861354	0.171166	3.891458	1.075803	0.488595	3.786356
1.7	0.916818	0.174981	3.903416	1.132494	0.512124	3.788764
1.75	0.970054	0.178993	3.914719	1.187089	0.534120	3.791415
1.8	1.021880	0.183190	3.925577	1.239485	0.554441	3.794353
1.85	1.071157	0.187402	3.935791	1.291436	0.574164	3.797480
1.9	1.118804	0.191791	3.945508	1.341828	0.592806	3.800756
1.95	1.164978	0.196194	3.954850	1.390663	0.609994	3.804371
2	1.210199	0.200740	3.963882	1.438414	0.625300	3.808656
2.05	1.253575	0.205183	3.972504	1.484864	0.638013	3.813912
2.1	1.295586	0.209897	3.980651	1.530221	0.648564	3.819976
2.15	1.336715	0.214371	3.988696	1.574618	0.657309	3.826702
2.2	1.376667	0.218984	3.996377	1.618020	0.664676	3.833869
2.25	1.415801	0.223596	4.003855	1.659932	0.671275	3.841048
2.3	1.453655	0.228057	4.011088	1.701463	0.677536	3.848300
2.4	1.526541	0.236892	4.024892	1.781865	0.688389	3.862974
2.6	1.662364	0.254059	4.050264	1.932650	0.708808	3.890461
2.8	1.787522	0.270600	4.073283	2.070552	0.727580	3.915550
3	1.903427	0.286584	4.094267	2.198011	0.744461	3.938975
3.2	2.010225	0.301398	4.113560	2.316458	0.759887	3.960873
3.4	2.110484	0.315539	4.131554	2.426742	0.774082	3.981347
3.6	2.204071	0.329284	4.148078	2.529611	0.787176	4.000517
3.8	2.292305	0.342247	4.163655	2.625672	0.799291	4.018475
4	2.375251	0.354202	4.178414	2.715476	0.810331	4.035406
4.2	2.453084	0.365814	4.192067	2.800196	0.820685	4.051409
4.4	2.527134	0.377048	4.204962	2.880882	0.831120	4.066363
4.6	2.597724	0.387840	4.217214	2.956219	0.840056	4.080729
4.8	2.664841	0.398017	4.228904	3.028083	0.849316	4.094065
5	2.728609	0.408051	4.239829	3.096285	0.858453	4.106547
5.2	2.789565	0.417627	4.250280	3.161008	0.866874	4.118518
5.4	2.848079	0.426677	4.260384	3.223301	0.875397	4.129829
5.6	2.904099	0.435548	4.269953	3.282944	0.883768	4.140554
5.8	2.957897	0.444343	4.279005	3.339938	0.891796	4.150789
6	3.009629	0.452441	4.287889	3.395348	0.900448	4.160316

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 16. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0185$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.608092	-0.151622	3.685490	-0.146543	0.007746	3.721194
0.85	-0.487960	-0.128827	3.704126	-0.056071	0.029382	3.732994
0.9	-0.374621	-0.105732	3.720913	0.028560	0.050472	3.743606
0.95	-0.268403	-0.082797	3.736000	0.108421	0.070988	3.753314
1	-0.155443	-0.055065	3.750374	0.184213	0.091009	3.762251
1.05	-0.057049	-0.030887	3.762883	0.256568	0.110536	3.770576
1.1	0.042452	-0.005076	3.774853	0.325809	0.129386	3.778461
1.15	0.138111	0.020883	3.785789	0.392655	0.147528	3.786102
1.2	0.239437	0.050902	3.796110	0.427942	0.158753	3.789311
1.25	0.311454	0.068783	3.805174	0.509018	0.202432	3.787741
1.3	0.393242	0.091303	3.814361	0.584686	0.242229	3.786759
1.35	0.470707	0.111769	3.823495	0.659188	0.285664	3.783667
1.4	0.543226	0.129294	3.832862	0.738031	0.330114	3.781153
1.45	0.611802	0.144420	3.842443	0.817387	0.371458	3.780320
1.5	0.677223	0.156341	3.852838	0.894349	0.413917	3.778331
1.55	0.740018	0.163895	3.864759	0.955504	0.440098	3.780529
1.6	0.800197	0.168547	3.877478	1.014214	0.464329	3.783092
1.65	0.858420	0.172455	3.890080	1.070934	0.487565	3.785653
1.7	0.913831	0.176285	3.902017	1.127693	0.511168	3.788042
1.75	0.967020	0.180306	3.913305	1.182210	0.533071	3.790719
1.8	1.019023	0.184537	3.924189	1.234691	0.553488	3.793631
1.85	1.068243	0.188768	3.934379	1.286806	0.573471	3.796669
1.9	1.115875	0.193163	3.944089	1.337153	0.592081	3.799950
1.95	1.162073	0.197579	3.953431	1.386231	0.609576	3.803472
2	1.207476	0.202134	3.962504	1.434135	0.625208	3.807632
2.05	1.250851	0.206600	3.971115	1.480532	0.638173	3.812749
2.1	1.292829	0.211336	3.979241	1.525809	0.648996	3.818657
2.15	1.334051	0.215869	3.987280	1.570261	0.658001	3.825267
2.2	1.374028	0.220448	3.994986	1.613731	0.665525	3.832373
2.25	1.413265	0.225099	4.002469	1.655795	0.672300	3.839501
2.3	1.451124	0.229544	4.009712	1.697281	0.678508	3.846769
2.4	1.524042	0.238394	4.023516	1.777902	0.689127	3.861614
2.6	1.660033	0.255575	4.048923	1.928878	0.709882	3.888981
2.8	1.785305	0.272120	4.071968	2.067005	0.728709	3.914099
3	1.901168	0.287990	4.092999	2.194767	0.745698	3.937545
3.2	2.008188	0.302842	4.112328	2.313257	0.761013	3.959510
3.4	2.108560	0.317045	4.130320	2.423760	0.775286	3.979999
3.6	2.202273	0.330727	4.146907	2.526904	0.788475	3.999191
3.8	2.290560	0.343655	4.162515	2.623139	0.800632	4.017171
4	2.373842	0.355615	4.177355	2.713065	0.811625	4.034156
4.2	2.451629	0.367220	4.191000	2.797947	0.821980	4.050199
4.4	2.525713	0.378481	4.203890	2.878754	0.832420	4.065181
4.6	2.596394	0.389266	4.216168	2.954182	0.841366	4.079565
4.8	2.663576	0.399425	4.227884	3.026174	0.850626	4.092933
5	2.727428	0.409423	4.238848	3.094521	0.859766	4.105450
5.2	2.788431	0.418998	4.249311	3.159312	0.868165	4.117448
5.4	2.847023	0.428059	4.259429	3.221735	0.876700	4.128786
5.6	2.903101	0.436924	4.269016	3.281489	0.885076	4.139537
5.8	2.956969	0.445703	4.278093	3.338628	0.893132	4.149793
6	3.008767	0.453782	4.287003	3.394100	0.901787	4.159334

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 17. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0189$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.611945	-0.151637	3.684535	-0.150956	0.007306	3.720310
0.85	-0.491909	-0.128870	3.703160	-0.060462	0.028913	3.732130
0.9	-0.378558	-0.105728	3.719927	0.024166	0.049956	3.742766
0.95	-0.272287	-0.082786	3.735024	0.104015	0.070425	3.752493
1	-0.160131	-0.055393	3.749366	0.179759	0.090382	3.761451
1.05	-0.061121	-0.031060	3.761952	0.252045	0.109838	3.769795
1.1	0.038299	-0.005340	3.773947	0.321281	0.128662	3.777692
1.15	0.134755	0.020830	3.784976	0.388084	0.146747	3.785350
1.2	0.239777	0.052247	3.795523	0.423392	0.157958	3.788572
1.25	0.307800	0.068658	3.804324	0.503973	0.201669	3.786861
1.3	0.389782	0.091372	3.813462	0.580175	0.241607	3.785942
1.35	0.467530	0.111975	3.822597	0.654430	0.284834	3.782893
1.4	0.540166	0.129480	3.832004	0.733283	0.329292	3.780377
1.45	0.608832	0.144800	3.841510	0.812221	0.370351	3.779582
1.5	0.674347	0.157028	3.851775	0.889423	0.412834	3.777641
1.55	0.737034	0.164922	3.863500	0.950739	0.439139	3.779817
1.6	0.797122	0.169764	3.876101	1.009222	0.463200	3.782408
1.65	0.855467	0.173739	3.888699	1.066009	0.486533	3.784938
1.7	0.910822	0.177586	3.900615	1.122838	0.510209	3.787307
1.75	0.963965	0.181614	3.911886	1.177276	0.532019	3.790012
1.8	1.016147	0.185880	3.922799	1.229845	0.552532	3.792898
1.85	1.065310	0.190130	3.932965	1.282126	0.572777	3.795845
1.9	1.112926	0.194532	3.942668	1.332427	0.591356	3.799131
1.95	1.159147	0.198959	3.952010	1.381755	0.609157	3.802563
2	1.204736	0.203524	3.961124	1.429813	0.625116	3.806597
2.05	1.248109	0.208013	3.969723	1.476156	0.638333	3.811575
2.1	1.290054	0.212771	3.977830	1.521351	0.649428	3.817326
2.15	1.331370	0.217363	3.985863	1.565859	0.658691	3.823822
2.2	1.371374	0.221906	3.993593	1.609399	0.666372	3.830866
2.25	1.410714	0.226598	4.001082	1.651618	0.673323	3.837946
2.3	1.448579	0.231025	4.008335	1.693058	0.679478	3.845228
2.4	1.521528	0.239892	4.022139	1.773902	0.689863	3.860246
2.6	1.657690	0.257086	4.047582	1.925072	0.710952	3.887494
2.8	1.783077	0.273635	4.070654	2.063429	0.729834	3.912643
3	1.898897	0.289392	4.091731	2.191498	0.746931	3.936112
3.2	2.006140	0.304280	4.111097	2.310033	0.762137	3.958142
3.4	2.106628	0.318545	4.129087	2.420757	0.776487	3.978648
3.6	2.200466	0.332164	4.145737	2.524180	0.789771	3.997862
3.8	2.288807	0.345058	4.161375	2.620592	0.801969	4.015866
4	2.372429	0.357023	4.176298	2.710640	0.812915	4.032905
4.2	2.450170	0.368622	4.189934	2.795687	0.823271	4.048988
4.4	2.524287	0.379909	4.202819	2.876615	0.833717	4.063998
4.6	2.595060	0.390687	4.215124	2.952137	0.842672	4.078401
4.8	2.662308	0.400828	4.226865	3.024257	0.851932	4.091801
5	2.726243	0.410792	4.237867	3.092749	0.861074	4.104352
5.2	2.787293	0.420365	4.248343	3.157609	0.869452	4.116378
5.4	2.845965	0.429437	4.258475	3.220163	0.878000	4.127743
5.6	2.902101	0.438295	4.268080	3.280030	0.886379	4.138520
5.8	2.956039	0.447058	4.277183	3.337314	0.894463	4.148799
6	3.007904	0.455119	4.286119	3.392849	0.903122	4.158354

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 18. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0219$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.632852	-0.152030	3.679504	-0.176624	0.004332	3.715381
0.85	-0.513475	-0.129165	3.697916	-0.085994	0.025834	3.727287
0.9	-0.400450	-0.105994	3.714587	-0.001368	0.046667	3.738027
0.95	-0.293066	-0.082479	3.729675	0.078398	0.066903	3.747850
1	-0.184191	-0.056532	3.743921	0.153935	0.086571	3.756901
1.05	-0.083355	-0.031824	3.756775	0.225918	0.105712	3.765326
1.1	0.015805	-0.006431	3.768869	0.295007	0.124317	3.773295
1.15	0.113937	0.020007	3.780183	0.362226	0.142575	3.780971
1.2	0.225577	0.053336	3.791429	0.399574	0.157871	3.782660
1.25	0.287491	0.067903	3.799623	0.477939	0.200506	3.780934
1.3	0.369946	0.090910	3.808734	0.555897	0.240621	3.780366
1.35	0.448764	0.112255	3.817766	0.629867	0.282964	3.777687
1.4	0.521782	0.129951	3.827172	0.708617	0.326943	3.775385
1.45	0.590845	0.146168	3.836329	0.786124	0.367078	3.774694
1.5	0.656857	0.159835	3.845999	0.861636	0.406603	3.773810
1.55	0.719485	0.169742	3.856703	0.923418	0.433191	3.775962
1.6	0.779527	0.176353	3.868408	0.981544	0.457038	3.778569
1.65	0.838129	0.181271	3.880599	1.038748	0.480808	3.780985
1.7	0.893347	0.185469	3.892304	1.095592	0.504472	3.783364
1.75	0.946739	0.189717	3.903529	1.150047	0.526243	3.786092
1.8	0.999358	0.194184	3.914450	1.203290	0.547445	3.788802
1.85	1.048487	0.198562	3.924543	1.255994	0.568352	3.791525
1.9	1.096244	0.203079	3.934224	1.306412	0.587167	3.794722
1.95	1.142707	0.207617	3.943571	1.356367	0.605776	3.797906
2	1.188711	0.212306	3.952727	1.404965	0.622865	3.801511
2.05	1.232274	0.216918	3.961312	1.451606	0.637504	3.805852
2.1	1.274392	0.221724	3.969438	1.496741	0.649958	3.810909
2.15	1.315928	0.226476	3.977446	1.541681	0.660866	3.816689
2.2	1.356213	0.230998	3.985257	1.585329	0.669607	3.823231
2.25	1.395829	0.235766	3.992776	1.628134	0.677410	3.830031
2.3	1.433891	0.240234	4.000058	1.669722	0.683911	3.837177
2.4	1.507312	0.249204	4.013928	1.751426	0.694418	3.852350
2.6	1.644557	0.266476	4.039604	1.903740	0.716072	3.879601
2.8	1.769739	0.282703	4.062786	2.043610	0.735503	3.904853
3	1.885917	0.298232	4.084065	2.173266	0.753111	3.928463
3.2	1.994364	0.313302	4.103642	2.292717	0.768332	3.950716
3.4	2.095535	0.327704	4.121734	2.404629	0.783009	3.971355
3.6	2.190162	0.341164	4.138661	2.509338	0.796653	3.990710
3.8	2.278904	0.353896	4.154480	2.606905	0.809146	4.008855
4	2.363704	0.365958	4.169649	2.697870	0.820096	4.026122
4.2	2.441840	0.377532	4.183396	2.783761	0.830513	4.042386
4.4	2.516462	0.388783	4.196427	2.865477	0.841024	4.057560
4.6	2.588123	0.399525	4.208971	2.941841	0.850162	4.072082
4.8	2.655731	0.409635	4.220818	3.014672	0.859436	4.085652
5	2.720095	0.419491	4.231981	3.083940	0.868570	4.098402
5.2	2.782242	0.429292	4.242617	3.149424	0.876971	4.110573
5.4	2.841552	0.438442	4.252869	3.212603	0.885519	4.122094
5.6	2.898122	0.447280	4.262593	3.273036	0.893893	4.133015
5.8	2.952344	0.455902	4.271837	3.331051	0.902128	4.143401
6	3.004687	0.463976	4.280886	3.387018	0.910808	4.153053

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 19. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0233$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.640471	-0.152290	3.677730	-0.186686	0.003030	3.713516
0.85	-0.521390	-0.129297	3.696003	-0.096003	0.024511	3.725446
0.9	-0.408645	-0.106198	3.712640	-0.011371	0.045288	3.736216
0.95	-0.300520	-0.082275	3.727710	0.068360	0.065446	3.746069
1	-0.192401	-0.056706	3.741955	0.143841	0.085031	3.755147
1.05	-0.091514	-0.032035	3.754841	0.215740	0.104083	3.763596
1.1	0.007622	-0.006700	3.766958	0.284727	0.122581	3.771594
1.15	0.105301	0.019508	3.778273	0.352365	0.141081	3.779253
1.2	0.214079	0.051420	3.789512	0.391243	0.159417	3.779805
1.25	0.279896	0.067601	3.797876	0.468995	0.201199	3.778351
1.3	0.362293	0.090427	3.807062	0.547130	0.241157	3.777906
1.35	0.441318	0.112042	3.816011	0.621423	0.283274	3.775421
1.4	0.514373	0.129920	3.825335	0.700073	0.326884	3.773278
1.45	0.583544	0.146408	3.834384	0.777401	0.366920	3.772592
1.5	0.649734	0.160513	3.843879	0.851067	0.404200	3.772369
1.55	0.712552	0.171216	3.854232	0.912850	0.430741	3.774544
1.6	0.772757	0.178740	3.865522	0.971208	0.454781	3.777114
1.65	0.831292	0.184207	3.877422	1.028586	0.478677	3.779510
1.7	0.886522	0.188629	3.889018	1.085285	0.502181	3.781933
1.75	0.940207	0.193021	3.900244	1.139931	0.524117	3.784627
1.8	0.992772	0.197566	3.911112	1.193502	0.545633	3.787261
1.85	1.041998	0.201999	3.921202	1.246162	0.566493	3.789996
1.9	1.089899	0.206587	3.930884	1.296773	0.585549	3.793121
1.95	1.136493	0.211181	3.940235	1.346663	0.604128	3.796304
2	1.182416	0.215942	3.949335	1.395337	0.621387	3.799843
2.05	1.226127	0.220599	3.957935	1.442327	0.636567	3.804001
2.1	1.268448	0.225395	3.966117	1.487598	0.649474	3.808865
2.15	1.309951	0.230148	3.974116	1.532746	0.661075	3.814351
2.2	1.350392	0.234722	3.981939	1.576322	0.670280	3.820643
2.25	1.389997	0.239467	3.989468	1.619241	0.678355	3.827335
2.3	1.428198	0.243998	3.996753	1.661042	0.685217	3.834354
2.4	1.501907	0.253011	4.010674	1.742919	0.696277	3.849294
2.6	1.639611	0.270313	4.036449	1.895691	0.717678	3.876786
2.8	1.764394	0.286300	4.059651	2.036221	0.737401	3.902057
3	1.880934	0.301887	4.080992	2.166426	0.755169	3.925724
3.2	1.989817	0.317014	4.100649	2.286481	0.770616	3.948015
3.4	2.091261	0.331396	4.118819	2.398820	0.785379	3.968718
3.6	2.186216	0.344863	4.135825	2.503908	0.799098	3.988130
3.8	2.275148	0.357547	4.151716	2.601972	0.811724	4.006334
4	2.360120	0.369667	4.166899	2.693373	0.822768	4.023662
4.2	2.438652	0.381237	4.180747	2.779552	0.833226	4.039977
4.4	2.513582	0.392408	4.193894	2.861603	0.843775	4.055216
4.6	2.585714	0.403137	4.206562	2.938406	0.853027	4.069790
4.8	2.653456	0.413262	4.218436	3.011500	0.862311	4.083422
5	2.717964	0.423108	4.229640	3.081044	0.871434	4.096247
5.2	2.780830	0.433076	4.240372	3.146852	0.879893	4.108469
5.4	2.840452	0.442262	4.250684	3.210225	0.888419	4.120049
5.6	2.897222	0.451099	4.260459	3.270846	0.896781	4.131023
5.8	2.951512	0.459650	4.269755	3.329103	0.905071	4.141443
6	3.004073	0.467770	4.278836	3.385263	0.913758	4.151139

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 20. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0264$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.657834	-0.152867	3.673677	-0.209833	0.000132	3.709178
0.85	-0.539445	-0.129588	3.691635	-0.119022	0.021567	3.721163
0.9	-0.427362	-0.106651	3.708187	-0.034378	0.042217	3.732000
0.95	-0.317496	-0.081822	3.723239	0.045271	0.062201	3.741919
1	-0.211155	-0.057090	3.737459	0.120617	0.081601	3.751056
1.05	-0.110148	-0.032503	3.750417	0.192318	0.100455	3.759554
1.1	-0.011067	-0.007295	3.762583	0.261059	0.118711	3.767612
1.15	0.085543	0.018402	3.773887	0.329698	0.137756	3.775249
1.2	0.187482	0.047148	3.784999	0.372207	0.162822	3.773343
1.25	0.262591	0.066932	3.793884	0.448509	0.202731	3.772464
1.3	0.344853	0.089358	3.803237	0.527062	0.242342	3.772297
1.35	0.424361	0.111571	3.812007	0.602119	0.283959	3.770253
1.4	0.497502	0.129852	3.821152	0.680533	0.326754	3.768458
1.45	0.566929	0.146938	3.829965	0.757437	0.366570	3.767777
1.5	0.633534	0.162010	3.839081	0.826708	0.398832	3.768963
1.55	0.696796	0.174463	3.848670	0.888494	0.425267	3.771192
1.6	0.757379	0.183978	3.859058	0.947405	0.449741	3.773683
1.65	0.815757	0.190640	3.870321	1.005199	0.473922	3.776041
1.7	0.871018	0.195546	3.881684	1.061553	0.497063	3.778559
1.75	0.925384	0.200248	3.892924	1.116655	0.519371	3.781181
1.8	0.977822	0.204961	3.903678	1.171010	0.541593	3.783659
1.85	1.027277	0.209515	3.913764	1.223566	0.562347	3.786420
1.9	1.075511	0.214255	3.923453	1.274637	0.581946	3.789389
1.95	1.122410	0.218970	3.932820	1.324371	0.600456	3.792567
2	1.168144	0.223886	3.941795	1.373225	0.618096	3.795961
2.05	1.212198	0.228639	3.950432	1.421047	0.634484	3.799722
2.1	1.254990	0.233413	3.958743	1.466640	0.648402	3.804161
2.15	1.296416	0.238170	3.966722	1.512282	0.661537	3.809004
2.2	1.337218	0.242855	3.974579	1.555690	0.671765	3.814742
2.25	1.376798	0.247550	3.982127	1.598875	0.680442	3.821200
2.3	1.415320	0.252218	3.989423	1.641183	0.688095	3.827951
2.4	1.489696	0.261324	4.003464	1.723468	0.700364	3.842387
2.6	1.628455	0.278692	4.029470	1.877319	0.721213	3.870425
2.8	1.752318	0.294160	4.052702	2.019399	0.741575	3.895765
3	1.869692	0.309871	4.074190	2.150884	0.759690	3.919578
3.2	1.979575	0.325123	4.094035	2.272345	0.775631	3.941973
3.4	2.081643	0.339461	4.112382	2.385673	0.790580	3.962831
3.6	2.177349	0.352944	4.129568	2.491638	0.804464	3.982380
3.8	2.266714	0.365522	4.145620	2.590847	0.817378	4.000725
4	2.352079	0.377770	4.160837	2.683245	0.828627	4.018200
4.2	2.431507	0.389330	4.174914	2.770082	0.839175	4.034635
4.4	2.507137	0.400331	4.188321	2.852900	0.849804	4.050025
4.6	2.580334	0.411032	4.201270	2.930702	0.859305	4.064725
4.8	2.648376	0.421187	4.213203	3.004392	0.868610	4.078495
5	2.713209	0.431011	4.224499	3.074562	0.877708	4.091489
5.2	2.777688	0.441340	4.235454	3.141103	0.886295	4.103831
5.4	2.838007	0.450603	4.245902	3.204912	0.894771	4.115545
5.6	2.895223	0.459437	4.255790	3.265957	0.903109	4.126637
5.8	2.949665	0.467836	4.265201	3.324759	0.911516	4.137134
6	3.002709	0.476056	4.274352	3.381349	0.920219	4.146930

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 21. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0293$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.674731	-0.153407	3.669723	-0.232664	-0.002596	3.704834
0.85	-0.557043	-0.129861	3.687372	-0.141719	0.018795	3.716875
0.9	-0.445632	-0.107075	3.703832	-0.057062	0.039324	3.727775
0.95	-0.334000	-0.081399	3.718902	0.022500	0.059144	3.737755
1	-0.229463	-0.057450	3.733062	0.097706	0.078367	3.746945
1.05	-0.128334	-0.032941	3.746090	0.169200	0.097033	3.755486
1.1	-0.029309	-0.007852	3.758301	0.237685	0.115059	3.763594
1.15	0.066209	0.017364	3.769573	0.307367	0.134623	3.771233
1.2	0.161033	0.043113	3.780404	0.353611	0.165983	3.767113
1.25	0.245754	0.066305	3.789989	0.428429	0.204159	3.766730
1.3	0.327879	0.088355	3.799494	0.507410	0.243447	3.766831
1.35	0.407875	0.111130	3.808106	0.583250	0.284599	3.765216
1.4	0.481103	0.129788	3.817084	0.661422	0.326632	3.763742
1.45	0.550788	0.147433	3.825683	0.737892	0.366242	3.763054
1.5	0.617812	0.163407	3.834452	0.802612	0.393749	3.765481
1.55	0.681519	0.177478	3.843343	0.864401	0.420084	3.767761
1.6	0.742483	0.188822	3.852912	0.923892	0.444972	3.770189
1.65	0.800703	0.196573	3.863592	0.982120	0.469425	3.772520
1.7	0.855995	0.201919	3.874742	1.038113	0.492220	3.775121
1.75	0.911044	0.206902	3.886012	1.093690	0.514883	3.777683
1.8	0.963355	0.211766	3.896658	1.148860	0.537779	3.780028
1.85	1.013038	0.216430	3.906747	1.201308	0.558433	3.782813
1.9	1.061604	0.221308	3.916450	1.252856	0.578547	3.785643
1.95	1.108808	0.226132	3.925838	1.302427	0.596993	3.788813
2	1.154355	0.231189	3.934697	1.351469	0.614995	3.792072
2.05	1.198749	0.236028	3.943376	1.400149	0.632527	3.795476
2.1	1.242012	0.240783	3.951814	1.446074	0.647396	3.799523
2.15	1.283361	0.245542	3.959772	1.492224	0.661969	3.803774
2.2	1.324521	0.250328	3.967669	1.535458	0.673149	3.808992
2.25	1.364077	0.254979	3.975232	1.578918	0.682385	3.815239
2.3	1.402918	0.259770	3.982547	1.621745	0.690770	3.821754
2.4	1.477953	0.268960	3.996711	1.704449	0.704153	3.835738
2.6	1.617753	0.286386	4.022948	1.859399	0.724495	3.864305
2.8	1.740709	0.301386	4.046186	2.003050	0.745444	3.889743
3	1.858904	0.317210	4.067823	2.135825	0.763878	3.913719
3.2	1.969770	0.332574	4.087858	2.258691	0.780270	3.936240
3.4	2.072449	0.346873	4.106378	2.373004	0.795390	3.957258
3.6	2.168887	0.360369	4.123739	2.479837	0.809424	3.976950
3.8	2.258673	0.372852	4.139945	2.580176	0.822601	3.995446
4	2.344419	0.385215	4.155200	2.673552	0.834037	4.013072
4.2	2.424715	0.396767	4.169498	2.761033	0.844668	4.029627
4.4	2.501020	0.407613	4.183151	2.844598	0.855370	4.045167
4.6	2.575239	0.418289	4.196367	2.923369	0.865096	4.059996
4.8	2.643568	0.428473	4.208358	2.997637	0.874422	4.073901
5	2.708712	0.438277	4.219742	3.068408	0.883497	4.087056
5.2	2.774728	0.448930	4.230919	3.135655	0.892200	4.099516
5.4	2.835707	0.458264	4.241497	3.199883	0.900630	4.111358
5.6	2.893345	0.467095	4.251491	3.261333	0.908946	4.122563
5.8	2.947930	0.475357	4.261006	3.320656	0.917460	4.133136
6	3.001429	0.483666	4.270227	3.377656	0.926177	4.143028

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 22. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0305$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.679946	-0.153630	3.668531	-0.240324	-0.003613	3.703428
0.85	-0.562539	-0.129971	3.686053	-0.149370	0.017766	3.715477
0.9	-0.451382	-0.107200	3.702457	-0.064717	0.038269	3.726388
0.95	-0.339006	-0.081227	3.717564	0.014805	0.058044	3.736381
1	-0.235121	-0.057488	3.731666	0.089960	0.077209	3.745588
1.05	-0.133989	-0.032988	3.744699	0.161387	0.095816	3.754141
1.1	-0.034713	-0.007898	3.756973	0.229780	0.113769	3.762263
1.15	0.060310	0.017196	3.768182	0.298735	0.133385	3.769694
1.2	0.153299	0.042233	3.778911	0.347492	0.166715	3.765218
1.25	0.240518	0.066272	3.788696	0.421786	0.204391	3.764953
1.3	0.322678	0.088314	3.798215	0.500580	0.243555	3.765070
1.35	0.402773	0.111177	3.806807	0.576700	0.284563	3.763596
1.4	0.476079	0.129983	3.815730	0.654822	0.326343	3.762237
1.45	0.545735	0.147715	3.824279	0.731340	0.365900	3.761587
1.5	0.612838	0.163957	3.832933	0.794858	0.392258	3.764288
1.55	0.676740	0.178521	3.841627	0.856685	0.418555	3.766596
1.6	0.737689	0.190363	3.850943	0.916333	0.443529	3.769021
1.65	0.795875	0.198551	3.861396	0.974687	0.468043	3.771353
1.7	0.851237	0.204152	3.872436	1.030649	0.490793	3.773968
1.75	0.906414	0.209269	3.883671	1.086345	0.513530	3.776523
1.8	0.958702	0.214192	3.894282	1.141706	0.536554	3.778852
1.85	1.008504	0.218923	3.904367	1.194203	0.557240	3.781633
1.9	1.057136	0.223841	3.914066	1.245910	0.577495	3.784432
1.95	1.104444	0.228718	3.923454	1.295476	0.595942	3.787600
2	1.149977	0.233811	3.932291	1.344558	0.614032	3.790826
2.05	1.194481	0.238686	3.940979	1.393444	0.631824	3.794152
2.1	1.237884	0.243462	3.949442	1.439577	0.647001	3.798096
2.15	1.279262	0.248233	3.957401	1.485818	0.661918	3.802198
2.2	1.320512	0.253058	3.965301	1.529063	0.673400	3.807268
2.25	1.360092	0.257691	3.972880	1.572650	0.682874	3.813428
2.3	1.399029	0.262515	3.980202	1.615618	0.691446	3.819884
2.4	1.474269	0.271735	3.994402	1.698481	0.705139	3.833753
2.6	1.614221	0.289096	4.020710	1.853845	0.725414	3.862457
2.8	1.737346	0.304112	4.043983	1.997974	0.746501	3.887946
3	1.855877	0.319984	4.065680	2.131211	0.765072	3.911969
3.2	1.967046	0.335372	4.085778	2.254526	0.781603	3.934532
3.4	2.069915	0.349649	4.104357	2.369184	0.796792	3.955602
3.6	2.166610	0.363144	4.121783	2.476342	0.810904	3.975336
3.8	2.256578	0.375617	4.138038	2.576994	0.824120	3.993891
4	2.342456	0.387997	4.153318	2.670715	0.835644	4.011559
4.2	2.423064	0.399554	4.167691	2.758484	0.846343	4.028152
4.4	2.499589	0.410376	4.181412	2.842268	0.857052	4.043743
4.6	2.574002	0.421038	4.194684	2.921353	0.866852	4.058615
4.8	2.642497	0.431227	4.206713	2.995869	0.876218	4.072561
5	2.707821	0.441026	4.218145	3.066846	0.885295	4.085766
5.2	2.774047	0.451679	4.229375	3.134342	0.894042	4.098267
5.4	2.835201	0.461010	4.239997	3.198723	0.902475	4.110145
5.6	2.893038	0.469840	4.250042	3.260350	0.910821	4.121379
5.8	2.947664	0.478070	4.259583	3.319792	0.919334	4.131983
6	3.001277	0.486387	4.268828	3.376928	0.928065	4.141902

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 23. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0396$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.699242	-0.155332	3.664558	-0.277720	-0.010138	3.697341
0.85	-0.583811	-0.130772	3.681136	-0.187275	0.011223	3.709272
0.9	-0.474247	-0.107619	3.696950	-0.102768	0.031780	3.720120
0.95	-0.356218	-0.079953	3.712624	-0.023611	0.051464	3.730067
1	-0.256047	-0.056596	3.725989	0.051253	0.070347	3.739342
1.05	-0.155452	-0.031914	3.738797	0.122416	0.088708	3.747952
1.1	-0.051095	-0.006288	3.752072	0.190272	0.106352	3.756094
1.15	0.039785	0.018697	3.762300	0.238804	0.124584	3.759111
1.2	0.132756	0.044044	3.772870	0.319082	0.166205	3.758370
1.25	0.220540	0.068438	3.782618	0.390517	0.202343	3.758160
1.3	0.304028	0.091963	3.791728	0.463466	0.240661	3.757239
1.35	0.383641	0.113980	3.800622	0.541180	0.281096	3.756449
1.4	0.458012	0.133796	3.809307	0.619548	0.321583	3.755798
1.45	0.525874	0.150654	3.817844	0.699170	0.361086	3.755952
1.5	0.592468	0.167833	3.825903	0.762070	0.387599	3.758420
1.55	0.657926	0.184272	3.834048	0.824615	0.413650	3.761031
1.6	0.716773	0.197214	3.842288	0.884428	0.438333	3.763643
1.65	0.775068	0.208577	3.851181	0.943064	0.462728	3.766104
1.7	0.831613	0.216863	3.861174	1.000227	0.486215	3.768652
1.75	0.885961	0.223162	3.871612	1.055860	0.508725	3.771305
1.8	0.938414	0.228476	3.882068	1.110848	0.531085	3.773872
1.85	0.989399	0.233925	3.892090	1.164837	0.552799	3.776512
1.9	1.037676	0.238999	3.901622	1.217283	0.573327	3.779359
1.95	1.085531	0.244349	3.910911	1.267550	0.592083	3.782548
2	1.131692	0.249496	3.919877	1.316467	0.610173	3.785733
2.05	1.176641	0.254635	3.928545	1.365080	0.627628	3.789158
2.1	1.220481	0.259856	3.936894	1.413608	0.644225	3.792992
2.15	1.262770	0.264828	3.944981	1.459093	0.659088	3.796932
2.2	1.304029	0.269917	3.952751	1.503394	0.671889	3.801606
2.25	1.344164	0.274413	3.960537	1.548092	0.683256	3.807097
2.3	1.383438	0.279319	3.967902	1.591215	0.692056	3.813478
2.4	1.459424	0.288702	3.982207	1.675107	0.706513	3.827223
2.6	1.597337	0.304681	4.008696	1.833028	0.727789	3.856065
2.8	1.727881	0.321898	4.032724	1.978678	0.748821	3.881961
3	1.848842	0.338161	4.054832	2.114509	0.768503	3.906078
3.2	1.961103	0.353513	4.075222	2.239617	0.785579	3.928817
3.4	2.064691	0.367562	4.094094	2.356133	0.801306	3.950083
3.6	2.162770	0.380966	4.111912	2.465311	0.816173	3.969944
3.8	2.254166	0.393676	4.128406	2.566555	0.828952	3.988865
4	2.340736	0.405874	4.143949	2.662170	0.841258	4.006616
4.2	2.423127	0.417549	4.158710	2.752323	0.852849	4.023358
4.4	2.500663	0.428590	4.172573	2.836725	0.863358	4.039205
4.6	2.574029	0.439106	4.185657	2.917203	0.873513	4.054247
4.8	2.644253	0.449277	4.198127	2.993667	0.883515	4.068362
5	2.711461	0.459057	4.210039	3.065672	0.892729	4.081756
5.2	2.774720	0.468364	4.221200	3.134551	0.901786	4.094447
5.4	2.836120	0.477377	4.232044	3.199860	0.910446	4.106444
5.6	2.895722	0.486207	4.242529	3.262889	0.919438	4.117706
5.8	2.950448	0.494437	4.252096	3.322185	0.927469	4.128514
6	3.004125	0.502517	4.261475	3.379976	0.936391	4.138501

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 24. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0420$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.699767	-0.155372	3.664447	-0.283003	-0.011626	3.696765
0.85	-0.584799	-0.130719	3.680862	-0.192714	0.009731	3.708658
0.9	-0.474510	-0.107072	3.696611	-0.108313	0.030276	3.719486
0.95	-0.356662	-0.079527	3.712300	-0.029227	0.049971	3.729410
1	-0.256147	-0.055951	3.725641	0.045572	0.068876	3.738657
1.05	-0.155300	-0.031126	3.738441	0.116663	0.087238	3.747249
1.1	-0.051194	-0.005395	3.751601	0.184127	0.106845	3.754312
1.15	0.039866	0.019726	3.761806	0.234794	0.126993	3.756904
1.2	0.132596	0.045108	3.772297	0.316363	0.168695	3.756445
1.25	0.220156	0.069468	3.782007	0.388851	0.205089	3.756371
1.3	0.303486	0.093069	3.791039	0.462403	0.243472	3.755567
1.35	0.382846	0.115073	3.799878	0.540690	0.283952	3.754899
1.4	0.456950	0.134935	3.808472	0.617677	0.322869	3.754687
1.45	0.524879	0.152007	3.816919	0.696083	0.361168	3.755139
1.5	0.591292	0.169277	3.824887	0.759026	0.387611	3.757653
1.55	0.656461	0.185749	3.832943	0.821796	0.413727	3.760288
1.6	0.715530	0.198993	3.841088	0.881643	0.438398	3.762914
1.65	0.773758	0.210674	3.849805	0.940507	0.462858	3.765400
1.7	0.830373	0.219359	3.859616	0.997787	0.486400	3.767949
1.75	0.884663	0.225882	3.869927	1.053482	0.508850	3.770648
1.8	0.937115	0.231348	3.880307	1.108627	0.531204	3.773257
1.85	0.988176	0.236876	3.890308	1.162653	0.552836	3.775948
1.9	1.036550	0.242027	3.899826	1.215165	0.573319	3.778834
1.95	1.084472	0.247478	3.909081	1.265624	0.592103	3.782057
2	1.130729	0.252692	3.918038	1.314600	0.610088	3.785308
2.05	1.175725	0.257867	3.926700	1.363319	0.627463	3.788801
2.1	1.219616	0.263123	3.935045	1.411982	0.644060	3.792668
2.15	1.262049	0.268170	3.943130	1.457506	0.658812	3.796673
2.2	1.303356	0.273278	3.950902	1.502025	0.671628	3.801395
2.25	1.343539	0.277818	3.958678	1.546838	0.682952	3.806936
2.3	1.382884	0.282704	3.966072	1.590038	0.691673	3.813376
2.4	1.458394	0.291740	3.980431	1.674206	0.705774	3.827367
2.6	1.596831	0.307955	4.006933	1.832557	0.727434	3.856125
2.8	1.727890	0.325331	4.031009	1.978455	0.748462	3.882085
3	1.849354	0.341667	4.053207	2.114564	0.768225	3.906231
3.2	1.961870	0.357042	4.073649	2.240043	0.785438	3.928994
3.4	2.066027	0.371162	4.092628	2.356847	0.801251	3.950289
3.6	2.164325	0.384601	4.110483	2.466300	0.816176	3.970190
3.8	2.255954	0.397338	4.127022	2.567715	0.828987	3.989137
4	2.342752	0.409544	4.142619	2.663626	0.841418	4.006900
4.2	2.425474	0.421249	4.157446	2.754007	0.853072	4.023668
4.4	2.503308	0.432326	4.171367	2.838727	0.863705	4.039532
4.6	2.576792	0.442831	4.184485	2.919365	0.873897	4.054595
4.8	2.647167	0.452986	4.197001	2.996017	0.883953	4.068730
5	2.714545	0.462761	4.208958	3.068175	0.893219	4.082137
5.2	2.777861	0.472014	4.220160	3.137262	0.902380	4.094828
5.4	2.839450	0.481040	4.231045	3.202740	0.911122	4.106826
5.6	2.899096	0.489844	4.241554	3.265863	0.920143	4.118096
5.8	2.954092	0.498086	4.251182	3.325351	0.928268	4.128906
6	3.007839	0.506134	4.260595	3.383144	0.937150	4.138914

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ek 25. PARSEC modellerinden hesaplanmış, $Z = 0.0429$ için anakol sınırları

Kütle	ZAMS			TAMS		
	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$	$\log (L/L_{\odot})$	$\log (R/R_{\odot})$	$\log T_{eff} (K)^*$
0.8	-0.699612	-0.155356	3.664477	-0.284616	-0.012166	3.696632
0.85	-0.584812	-0.130679	3.680839	-0.194387	0.009189	3.708511
0.9	-0.474164	-0.106818	3.696570	-0.110031	0.029727	3.719331
0.95	-0.356514	-0.079360	3.712254	-0.030969	0.049429	3.729246
1	-0.255768	-0.055679	3.725600	0.043806	0.068350	3.738479
1.05	-0.154797	-0.030794	3.738400	0.114871	0.086717	3.747061
1.1	-0.050908	-0.005026	3.751488	0.182167	0.107214	3.753637
1.15	0.040318	0.020159	3.761702	0.234263	0.128247	3.756145
1.2	0.132940	0.045550	3.772162	0.315719	0.169821	3.755722
1.25	0.220388	0.069888	3.781855	0.388743	0.206359	3.755708
1.3	0.303619	0.093494	3.790860	0.462692	0.244788	3.754982
1.35	0.382876	0.115508	3.799667	0.541202	0.285299	3.754353
1.4	0.456837	0.135371	3.808226	0.617563	0.323540	3.754323
1.45	0.524834	0.152557	3.816632	0.695353	0.361301	3.754890
1.5	0.591175	0.169850	3.824571	0.758330	0.387710	3.757430
1.55	0.656182	0.186300	3.832598	0.821186	0.413859	3.760069
1.6	0.715395	0.199658	3.840722	0.881044	0.438531	3.762698
1.65	0.773591	0.211419	3.849391	0.940005	0.463023	3.765192
1.7	0.830213	0.220232	3.859140	0.997312	0.486573	3.767744
1.75	0.884494	0.226832	3.869410	1.053037	0.509002	3.770461
1.8	0.936941	0.232359	3.879758	1.108261	0.531367	3.773084
1.85	0.988013	0.237909	3.889751	1.162271	0.552940	3.775800
1.9	1.036437	0.243092	3.899266	1.214798	0.573399	3.778702
1.95	1.084379	0.248579	3.908508	1.265329	0.592189	3.781940
2	1.130666	0.253821	3.917458	1.314334	0.610126	3.785223
2.05	1.175673	0.259006	3.926118	1.363107	0.627472	3.788743
2.1	1.219578	0.264271	3.934462	1.411780	0.644041	3.792627
2.15	1.262058	0.269347	3.942543	1.457338	0.658744	3.796665
2.2	1.303386	0.274459	3.950319	1.501933	0.671541	3.801415
2.25	1.343579	0.279021	3.958087	1.546774	0.682808	3.806992
2.3	1.382949	0.283896	3.965492	1.590006	0.691488	3.813460
2.4	1.458230	0.292775	3.979872	1.674277	0.705413	3.827565
2.6	1.596943	0.309120	4.006378	1.832767	0.727228	3.856280
2.8	1.728083	0.326526	4.030460	1.978745	0.748255	3.882261
3	1.849724	0.342887	4.052690	2.114925	0.768032	3.906418
3.2	1.962332	0.358274	4.073149	2.240534	0.785296	3.929188
3.4	2.066730	0.372429	4.092171	2.357430	0.801137	3.950491
3.6	2.165099	0.385885	4.110035	2.466965	0.816073	3.970407
3.8	2.256804	0.398630	4.126589	2.568444	0.828908	3.989359
4	2.343690	0.410843	4.142204	2.664450	0.841380	4.007125
4.2	2.426525	0.422559	4.157054	2.754884	0.853045	4.023901
4.4	2.504473	0.433648	4.170997	2.839734	0.863737	4.039767
4.6	2.578029	0.444152	4.184134	2.920416	0.873939	4.054837
4.8	2.648438	0.454300	4.196662	2.997114	0.884007	4.068977
5	2.715855	0.464072	4.208630	3.069320	0.893294	4.082385
5.2	2.779254	0.473327	4.219852	3.138472	0.902495	4.095073
5.4	2.840922	0.482364	4.230751	3.204007	0.911270	4.107069
5.6	2.900553	0.491157	4.241262	3.267145	0.920292	4.118343
5.8	2.955668	0.499404	4.250917	3.326721	0.928468	4.129149
6	3.009444	0.507442	4.260343	3.384503	0.937328	4.139164

* Not: Stefan-Boltzmann yasasına göre, ilk iki sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ



Mehmet ALPSOY 1987 yılında Mardin Midyat'ta doğdu. İlkokul öğrenimine Mardin'de başlayıp İstanbul'da, orta öğrenimine İstanbul'da başlayıp Ankara'da ve lise öğrenimini Ankara'da başlayıp tamamlamıştır. 2005 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde başlayıp, daha sonra 2007 yılında geçiş yaptığı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim

Dalı'nda Yüksek Lisans öğrencisi olarak kaydolmuştur ve programa halen devam etmektedir.