



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



**KIZILLAŞMIŞ TRUMPLER 5 AÇIK YILDIZ  
KÜMESİNDEN SEÇİLMİŞ YILDIZLARIN  
KIZILÖTE BÖLGEDE KİMYASAL BOLLUK  
ANALİZİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

Sergen ÖZDEMİR

Astronomi ve Uzay Bilimleri

İzmir  
2019



**T.C.**  
**EGE ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**KIZILLAŞMIŞ TRUMPLER 5**  
**AÇIK YILDIZ KÜMESİNDEN**  
**SEÇİLMİŞ YILDIZLARIN**  
**KIZILÖTE BÖLGEDE**  
**KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ**

**Sergen ÖZDEMİR**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melike AFŞAR**

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astrofizik Yüksek Lisans Programı

**İzmir**

**2019**



Sergen Özdemir tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Kızılaşmış Trumpler 5 Açık Yıldız Kümesinden Seçilmiş Yıldızların Kızılöte Bölgede Kimyasal Bolluk Analizi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 01/08/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**Jüri Başkanı** : Prof. Dr. Zeynep Bozkurt

**Raportör Üye** : Prof. Dr. Melike Afşar

**Üye** : Doç. Dr. Esmâ Yaz Gökçe

**İmza**









## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kızılbaşlı Trumpler 5 Açık Yıldız Kümesinden Seçilmiş Yıldızların Kızılöte Bölgede Kimyasal Bolluk Analizi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

02 / 07 / 2019

İmzası



Sergen ÖZDEMİR





## ÖZET

# KIZILLAŞMIŞ TRUMPLER 5 AÇIK YILDIZ KÜMESİNDEN SEÇİLMİŞ YILDIZLARIN KIZILÖTE BÖLGEDE KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ

ÖZDEMİR, Sergen

Yüksek Lisans Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melike AFŞAR

2019, 53 sayfa

Bu tezde kızılaşmış bir açık yıldız kümesi olan Trumpler 5'ten seçilen yıldızların sadece yüksek çözünürlüklü kızılöte tayfları kullanılarak atmosfer modeli bulma ve kimyasal bolluk analizi çalışmaları yapılmıştır.

Trumpler 5 kümesinin genel özellikleri verildikten sonra model atmosfer parametrelerine ilişkin hiç bir literatür bilgisinin bulunmadığı küme üyesi yıldızların atmosferik parametrelerini belirleyebilmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, sadece kızılöte tayftan elde edilen bilgileri kullanarak model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi prensibine dayandırılmış ve küme üyesi yıldızlara uygulanmıştır.

Seçilen yıldızların dikine hızları ölçülmüş, uzaklıkları ve üye olma olasılıkları incelenmiştir. Son olarak kimyasal bolluk analizleri yapıp karbon izotop oranları belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında seçilen yıldızlar ve küme üzerine elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir. Trumpler 5 kümesi için sadece kızılöte tayf verileri kullanılarak elde edilen ayrıntılı bolluk bilgileri Gökada kimyasal evrimi açısından irdelenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Açık yıldız kümeleri, Trumpler 5, kızılöte tayf, kimyasal bolluk analizi, yıldız evrimi, karbon izotop oranları.



## ABSTRACT

# CHEMICAL ABUNDANCE ANALYSIS OF STARS SELECTED FROM THE REDDENED TRUMPLER 5 OPEN CLUSTER IN THE INFRARED

ÖZDEMİR, Sergen

MSc in Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Melike AFŞAR

2019, 53 pages

In this thesis, atmospheric model and chemical abundance analysis were performed by using only high resolution infrared spectra of the stars selected from Trumpler 5, the dust-obscured open cluster.

After outlining the general properties of Trumpler 5, a method has been developed for selected cluster members to find the model atmospheric parameters without any information from the literature. This method is based on determining the model atmospheric parameters of stars using only the information obtained from infrared spectra and applied to cluster member stars.

Radial velocities of the selected stars were measured and their distances and probability of membership were examined. Finally, chemical abundance analyses were performed and carbon isotope ratios were determined. In the light of this information, the selected stars and the information obtained about the cluster were evaluated. The detailed abundance information obtained for Trumpler 5 from only infrared spectral data has been examined in terms of Galactic chemical evolution.

**Keywords:** Open star clusters, Trumpler 5, infrared spectroscopy, chemical abundance analysis, stellar evolution, carbon isotope ratios.



## ÖNSÖZ

Bir yüksek lisans öğrencisi olarak çoğu zaman genel çalışmalar yapılmasına rağmen, doğrudan yüksek çözünürlüklü tayflar ile hassas analizler yapma şansını bana verdiği ve bu anlamda bana güvendiği için sayın Prof. Dr. Melike Afşar'a teşekkür etmek isterim. Yürütücüsü olduğu 117F497 numaralı projeden bursiyer olarak destek almamı sağlayan Prof. Dr. Zeynep Bozkurt'a teşekkür ederim.

Bilimsel sonuçlar çıkarma amacıyla zaman zaman aynı işlemleri defalarca tekrarlayarak, bu süreci tamamladım. Tüm süreç bittiğinde elde ettiğim sonuçlar ise bilim ve bilimsel verilerin bana nasıl bir haz verdiğini tekrar hatırlamama sebep oldu. Kişisel olarak çok keyif aldığım bir çalışma oldu ve sonuçlarının da oldukça anlamlı olacağını düşünmekteyim. Şimdi bu çalışmayı ilerleterek bir yüksek lisans tez çalışmasının da ötesinde bilimsel bir yayına dönüştürme zamanı.

İZMİR

02/07/2019

Sergen ÖZDEMİR



# İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK.....	iii
KABUL ONAY SAYFASI.....	V
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	xi
ÖNSÖZ.....	xiii
İÇİNDEKİLER .....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xviii
TABLolar DİZİNİ .....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. TRUMPLER 5 AÇIK YILDIZ KÜMESİ.....	6
2.1 Yıldızların Seçimi ve Ön Çalışmalar.....	10
3. GÖZLEMLER VE VERİLERİN İNDİRGENMESİ.....	13
4. MODEL ATMOSFER PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	17
4.1 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Etkin Sıcaklık İlişkisi .....	18
4.2 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Yüzey Çekimi İlişkisi.....	19
4.3 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Metal Bolluğu İlişkisi .....	20

## İÇİNDEKİLER (devam)

4.4 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Mikro Türbülans Hızı İlişkisi.....	20
<b>5. Tİ II İLİŞKİSİNİN TR5 YILDIZLARINA UYGULANMASI.....</b>	<b>22</b>
5.1 Başlangıç Modelleri .....	22
5.2 Sonuç Modeller .....	22
<b>6. KİNEMATİK.....</b>	<b>25</b>
6.1 Dikine Hız.....	25
6.2 Uzaklık.....	28
6.3 Küme Üyesi Olma Olasılıkları.....	30
6.4 Gökada Konumu .....	31
<b>7. KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ.....</b>	<b>33</b>
7.1 Çizgi Listesi.....	33
7.2 Kimyasal Bolluk Değerlerinin Gösterimi .....	33
7.3 Demir Grubu Element Bolluklarının Belirlenmesi.....	34
7.4 Karbon, Azot ve Oksijen Bolluklarının Belirlenmesi.....	35
7.5 Alfa-Elementlerinin Bolluklarının Belirlenmesi.....	36
7.6 <sup>12</sup> C/ <sup>13</sup> C İzotop Oranlarının Belirlenmesi .....	38
<b>8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>45</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>50</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>51</b>



## İÇİNDEKİLER (devam)

**EKLER.....**



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Açık yıldız kümelerinin, gökada diski üzerindeki konumları.....	2
1.2 NGC 3532 yıldızının HR diyagramı.....	5
2.1 Gökada diski boyunca metal bolluğu değişimi.....	6
2.2 Tez çalışmamız kapsamında gözlenen küme üyesi yıldızların konumları	10
2.3 Gaia renk-parlaklık diyagramı üzerinde gözlenen yıldızların konumları..	11
3.1 Abfind sürücüsünün örnek bir çıktısı .....	15
3.2 Synth sürücüsünün örnek bir çıktısı.....	16
4.1 EW (Ti II) – Teff ilişkisi.....	19
4.2 EW (Ti II) – log g ilişkisi.....	20
4.3 EW (Ti II) – [Fe/H] ilişkisi.....	21
4.4 EW (Ti II) – Vt ilişkisi.....	21
5.1 LDR yöntemi ve Ti II yöntemi sıcaklık karşılaştırması .....	23
6.1 IGRINS ve Gaia dikine hızlarının karşılaştırılması.....	26
6.2 Trumpler 5 kümesi için dikine hız karşılaştırması.....	27
6.3 Trigonometrik ıraksınım ile uzaklık belirleme.....	28
6.4 Gökada diski üzerine metal bolluğu gradiyenti.....	30
6.5 Toomre diyagramı.....	32

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 7.1 Trumpler 5 kümesinden seçilen yıldızların element bollukları.....37
- 7.2 Örnek bir yıldız için izotop oranı belirleme ekranı.....39



## TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Tr5 kümesinin literatür değerleri.....	7
2.2 Çalışma kapsamında gözlenen yıldızlar.....	12
4.1 Ti II çizgisinin temel parametreleri ve elde edilen ilişkiler.....	17
5.1 Çalışma konusu yıldızların başlangıç ve sonuç atmosfer modelleri.....	22
6.1 Tr5 kümesinde gözlenen yıldızların dikine hızları.....	26
6.2 Tr5 küme üyesi yıldızlar için hesaplanan uzaklıklar.....	29
6.3 Gözlenen yıldızların küme üyesi olma olasılıkları.....	31
7.1 Tr5 kümesinden seçilmiş yıldızların $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ izotop oranları.....	40

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$c$	Işık hızı
$M_{\odot}$	Güneş Kütleşi
$\lambda$	Dalgaboyu
$\log \varepsilon (X)$	X elementinin bolluk değeri
$[X/Y]$	X elementinin Y elementine görelı bolluk değeri
$\langle X \rangle$	Ortalama X değeri
${}^aX$	X elementinin a sayılı izotopu
dex	10 tabanında üslü sayının kuvveti
<u>Kısaltmalar</u>	

2MASS	2 Micron All Sky Survey
AGB	Asymptotic Giant Branch (Asimptotik Dev Kolu)
DCT	Discovery Channel Telescope
GAIA	Gaia Uydu Teleskobu
HB	Horizontal Branch (Yatay Kol)
IAU	International Astronomical Union
IDL	Interactive Data Language
IGRINS	Immersion Grating Infrared Spectrograph

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

KASI Korea Astronomy and Space Science Institute

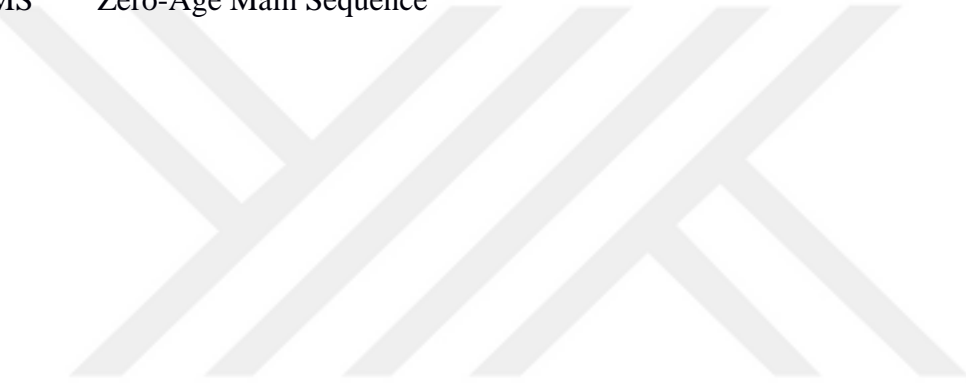
LTE Local Thermodynamic Equilibrium

NIST Nist Atomik Veritabanı

NOAO National Optical Astronomy Observatory

VO Virtual Observatory

ZAMS Zero-Age Main Sequence



## 1. GİRİŞ

Yıldız kümeleri, hem kendi gökadamız ile ilgili hem de diğer gökadalara ilgili çalışmalarda önemli yer tutmaktadır. Özellikle, gökadamızın kimyasal evrimini anlamak üzere yapılan kimyasal bolluk analizi çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmalarda aynı zamanda kimyasal bolluğun gökada yarıçapına göre değişimi de elde edilerek gökadanın kimyasal haritası çıkarılmaya çalışılmaktadır.

Gökadamız diskinde yer alan açık yıldız kümelerinin kimyasal bolluk analizleri, diskte yer alan maddenin nasıl dağıldığını araştırmamızı sağlar. Bu nedenle, duyarlılığı yüksek kimyasal bolluk analizlerinin yapılabilmesi için yıldızlardan elde edilecek tayfların yüksek çözünürlüklü ve yüksek sinyal-gürültü oranı (S/N) değerine sahip olmaları gerekmektedir.

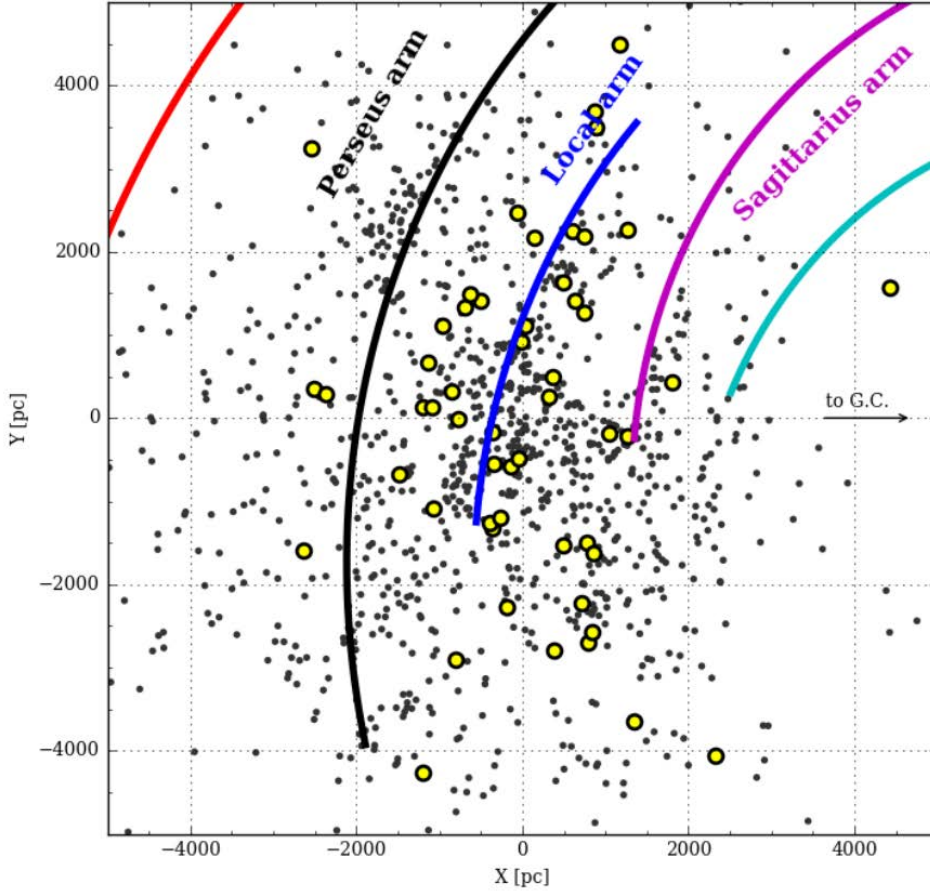
Çoğu zaman yüksek-çözünürlükte tayf verisi elde etmek tek başına yeterli olmamaktadır. Tez projemiz kapsamında çalışılan Trumpler 5 (Tr 5) kümesi gibi etrafi gaz ve tozla çevrili kümelerde tayfin elde edildiği dalgaboyu aralığı da önemli bir duruma gelmektedir. Çok yüksek yıldızlararası kızılşama değerine sahip olan Tr 5 kümesi, özellikle kızılöte bölgede yapılacak yüksek çözünürlüklü, yüksek S/N değerine sahip tayfsal analizlere ihtiyaç duymaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Tr 5 açık yıldız kümesinden seçilmiş yıldızların kızılöte bölgede kimyasal bolluk analizi yapılmıştır. Aynı zamanda dikine hız değerleri de elde edilen bu yıldızların hem küme üyelikleri incelenmiş olup hem de kümenin kimyasal bolluğuna ilişkin duyarlılık değerleri elde edilmiştir.

Yıldız kümeleri, aynı gaz ve toz bulutundan aynı zamanda oluşan yıldız popülasyonlarıdır ve oldukça önemli astrofiziksel laboratuvarlardır. Messier 22 küresel kümesi, 26 Ağustos 1665 yılında Ihle tarafından gözlenen ilk kümedir (SEDS, 2019). En ünlü küresel kümeler arasında yer alan Omega Centauri ise 1677 yılında Halley tarafından gözlenmiştir (SEDS, 2019). Açık ve küresel yıldız kümeleri keşfedilmelerinin ardından birçok astrofiziksel problemin çözümü için bilgi kaynağı olmuştur

Yıldız kümeleri genel özellikleri bakımından iki sınıfa ayrılmaktadır; küresel kümeler ve açık yıldız kümeleri. Küresel kümeler, daha fazla sayıda yıldız

içeren gökada diskinden çok gökada merkez (şişim) bölgesi ve gökada halosunda gözlenen oluşumlardır. Çekimsel olarak çok daha kuvvetli etkileşim içinde olan küresel kümeler, dışarıdan bir bütün gibi davranış gösterirken kendi içinde her yıldızın kendine öz davranışlarının olduğu bir yapıdadır. Küresel kümeler, yaş olarak açık yıldız kümelerine göre çok daha yaşlıdır ve metallece daha fakir olup, Pop II (popülasyon iki) yıldızlarına ev sahipliği yapmaktadır.



Şekil 1.1 Açık yıldız kümelerinin, gökada diski üzerindeki konumları (Cantat-Gaudin et al., 2018).

Bu çalışmanın da konusu olan açık yıldız kümeleri ise küresel kümelere oranla daha az sayıda yıldız içeren yıldız topluluklarıdır. Oldukça genç olan açık yıldız kümeleri genel olarak gökada diskinde yer alırlar. Bu nedenle gökada yıldız kümeleri, “Galactic Clusters”, olarak da adlandırılırlar. Şekil 1.1’de açık yıldız kümelerinin diskte gökada sarmal kolları üzerindeki konumları görülmektedir. Gökada diskindeki çekimsel etkilerin yarıçapa bağlı olarak değişmesinden, diğer bir deyişle disk üzerinde radyal olarak bir hız gradiyenti olmasından dolayı; açık yıldız kümeleri daha dağınık yapıda bulunmaktadır. Oluştukları gaz ve toz bulutunun farklı bölgelerindeki farklı hızlar nedeniyle yıldızlar birbirlerinden



uzaklaşır. Burada en iyi örnekler, yakın ve genç açık yıldız kümelerinden olan, Hyades ve Pleiades kümeleridir. Açık yıldız kümeleri, küresel kümelerden çok daha genç olup, metalce daha zengin, Pop I (popülasyon bir) yıldızlarına sahiptir.

Trumpler 5 kümesi, açık yıldız kümeleri arasında en yaşlılardan biridir (Donati et al., 2015) ve bu özelliği ile de öne çıkmaktadır. Açık yıldız kümelerine ilişkin bilgilere ulaşmak için kullanılan WEBDA veritabanında Tr5 kümesinin yaşı 4.1 milyar yıl olarak verilmiştir (WEBDA, 2019).

Açık yıldız kümesi üyesi yıldızların genel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yıldızların hepsi hemen hemen aynı uzaklıktadır.
- Yıldızlar yaklaşık olarak aynı yaştaadır.
- Yıldızların kimyasal bileşimleri birbirine oldukça benzerdir.
- Küme üyeleri arasındaki en önemli fark kütlelerdir. Yıldız olma alt sınırı olan  $0.08 M_{\odot}$  kütlelerinden  $80-100 M_{\odot}$  gibi çok büyük kütleli yıldızlara kadar farklı kütlelerde yıldızlar, küme üyesi olabilmektedir.

Bu özellikler arasında kütlelerin yeri oldukça önemlidir ve yıldız evrimindeki en etkili parametredir. Yıldız öncesi cisimler, merkezlerinde termonükleer tepkimelerle hidrojen çekirdeklerini helyum çekirdeğine dönüştürmeye başladığı anda yıldız olarak adlandırılır. Bu süreç tamamlanıp yıldız oluştuğu anda en önemlisi hidrostatik denge olmak üzere bir takım denge koşulları sağlanmış olur.

Yıldız evrimini en iyi anlatan yöntem, bir renk-parlaklık diyagramı da olan Hertzsprung-Russel (HR) diyagramının (Şekil 1.2) incelenmesidir. Bir yıldız doğduğu anda sıfır yaş anakolu (Zero-Age Main Sequence, ZAMS) denilen noktadan evrimine başlar. Bu noktanın konumu, yıldızın başlangıç kütlelerine bağlıdır. Daha büyük kütleli yıldızlar anakol üzerinde daha yüksek sıcaklıklı bölgede evrimlerine başlarken, küçük kütleli yıldızlar daha düşük sıcaklıklı bölgede anakola oturur. Bundan sonraki süreçte ise kütle en önemli parametredir. Büyük kütleli yıldızlar hızlıca evrimleşip dev yıldızlara dönüşürken, küçük kütleli

yıldızların anakol evrimi daha uzun sürer (detaylar için bkz. Salaris ve Cassisi, 2005).

Şekil 1.2’de bir açık yıldız kümesi olan NGC 3532 kümesine ilişkin HR diyagramı görülmektedir. Buradaki siyah kareler, küme üyesi yıldızları göstermektedir. Eşzaman çizgileri (isochrones) ise kuramsal olarak aynı kimyasal bileşimlere sahip yıldızlara ilişkin evrim yollarını göstermektedir. Burada, 2, 5, 10 ve 20 sayıları yaşları göstermektedir ve  $10^8$  yıl değerinin katsayılarıdır (Panagia and Tosi, 1980). Görüldüğü üzere, daha büyük kütleli yıldızların evrimi çok daha kısa sürmektedir. Bu, bize sadece açık yıldız kümelerinin HR diyagramlarına bakarak, yaş gibi en zor parametrelerden birine ulaşma olanağı sağlamaktadır. Bu açık yıldız kümelerinin sağladığı en büyük avantajlardan biridir ve yıldız evrimi ile ilgili daha kesin bilgilere ulaşmamızı sağlamaktadır.

Yıldızlar ve yıldız kümelerini oluşturan yıldızlararası gaz ve toz ortam, yıldız öncesi cisimlerin (Young Stellar Objects, YSOs) etrafında bir çeşit koza benzeri kabuk (cocoon-like shell) oluşturur. Bu kozanın iç bölgelerinde oluşan yüksek kütleli yıldızların ışınları, etrafındaki H atomlarını iyonlaştırır ve H II bölgeleri (yaklaşık olarak 10 000 K sıcaklığında) oluşturur. Bu H II bölgeleri, gaz basıncını artırır ve ortam boyunca bir gaz basıncı gradyenti oluşturur. Bu gradyent, kümeyi oluşturan gaz ve toz bulutunu, küme merkezinden dışarıya doğru uzaklaştırır ve bir koza yapısı oluşturur. Bu yapı, optik bölgede geçirgen bir duruma gelir (örneğin, H $\alpha$ ). Yüksek kütleli OB yıldızları da güçlü yıldız rüzgarları ile bu gaz ve toz genişlemesine yardımcı olur.

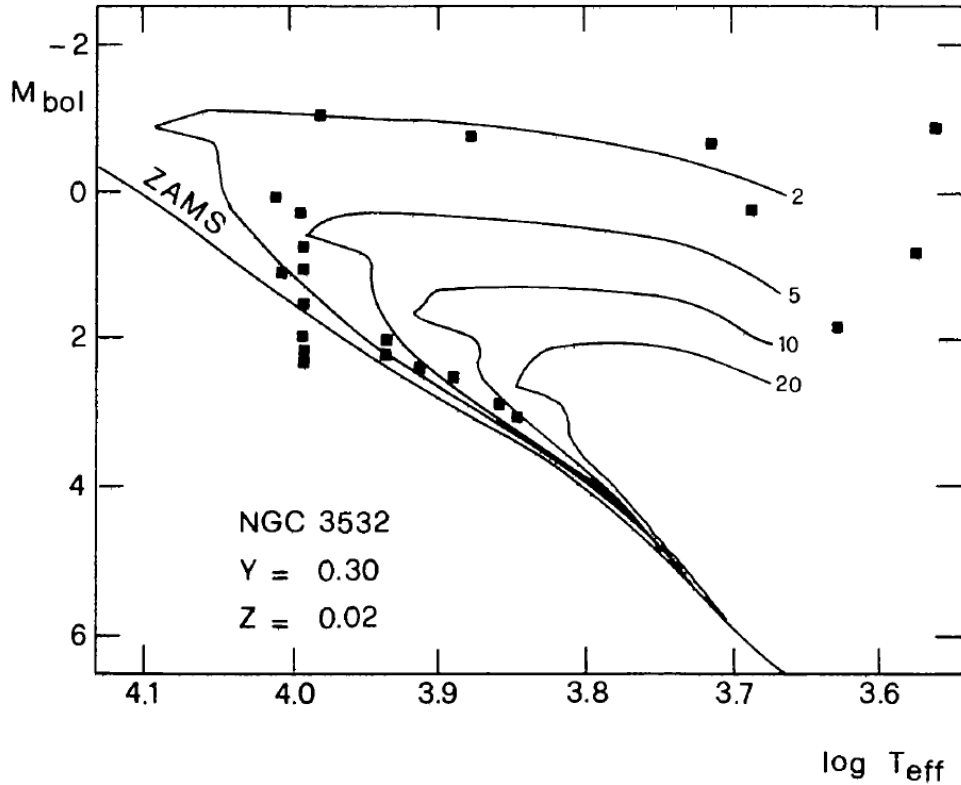
Çoğu gömülü yıldız kümeleri (embedded star clusters), H II bölgesi genişlemesinden sonra bir arada kalmaz. Bunun nedeni kaybedilen yüksek miktardaki gaz ve kütledir. Gömülü kümelerin sadece ~%10 kadarının bir arada kalabildiği (Zinnecker, 2010 ve içindeki kaynaklar), diğerlerinin ise alan yıldızlarını oluşturduğu öne sürülmektedir. Ancak bu kümelerin dağılması durumu, kümenin başlangıç kütlesi ve yıldız oluşum verimliliği gibi parametrelere oldukça bağlıdır. Bu durum, etrafı gaz ve toz ile kaplı bir şekilde gözlenen kümeleri de açıklamaktadır.

Kümenin etrafındaki gaz ve toz bulut nedeniyle, optik bölge %100 geçirgen değildir. Tr5 açık yıldız kümesi de bu kümelere bir örnektir. Etrafındaki gaz ve toz bulutun, optik bölgede tam geçirgen ve aynı zamanda da homojen olmaması (diferansiyel kızıllaşma, Donati et al. 2015) nedeniyle optik bölgede hassas

kimyasal bolluk analizleri ve tayfsal çalışmaları oldukça zordur. Bu etkilerin daha az olduğu kızılöte bölge Tr5 kümesi için daha iyi bir gözlem bölgesidir.

Oldukça iyi bilinmektedir ki; bir yıldız kümesinin analizinin tamamının yapılması oldukça zordur. Işıköçüm, astrometri ve tayfbilim gözlemlerinin tamamına ihtiyaç vardır. Kümelerde kızıllaşmanın ışıkölçümde renk-parlaklık diyagramları ile belirlenebilmektedir ve Tr5 üzerine de optik bölgede yapılmış ışıkölçüm çalışmaları bulunmaktadır (bkz. Kaluzny, 1998). Öte yandan, GAIA uydusunun verileri ile yapılan Bailer-Jones et al. (2018) ve Cantat-Gaudin et al. (2018) gibi çalışmalar da astrometrik olarak Tr5'e ilişkin bilgiler sunmaktadır. Tayfsal olarak ise optik bölgede, yalnızca birkaç üye yıldızın çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise Tr5'e ilişkin kızılöte bölgede yüksek çözünürlüklü tayf verileri ile duyarlı analizler gerçekleştirilmiştir.

Öte yandan, bu çalışmanın kapsamında olan kimyasal bileşimin anlaşılması, yıldızların kimyasal bolluk analizlerinin yapılmasına bağlıdır. Bu analizler, aynı zamanda Gökadamız diskinin metal bolluğu gradyentinin ve kimyasal evriminin anlaşılması bakımından da oldukça önemlidir.



Şekil 1.2 NGC3532 yıldızının HR diyagramı (Panagia and Tosi, 1980).

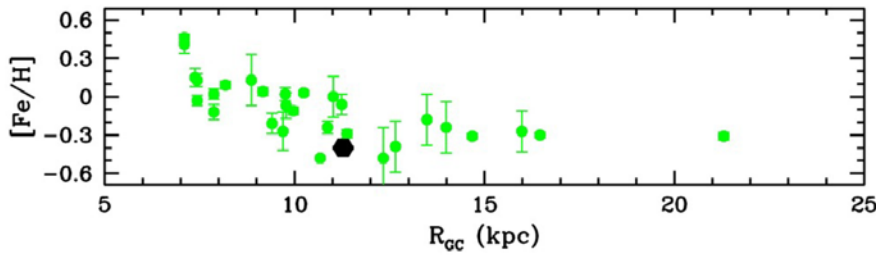
## 2. TRUMPLER 5 AÇIK YILDIZ KÜMESİ

Sönük ve yıldız sayısı bakımından zengin bir açık yıldız kümesi olan Trumpler 5 (Tr5), 1930 yılında Trumpler tarafından keşfedilmiş ve kataloglanmıştır (Piatti et al. 2004). IAU isimlendirmesi C0634+094 olan küme, Cr 105 (Collinder 105) isimleriyle de bilinmektedir. Trumpler 5 kümesi gökada merkez doğrultusuna zıt doğrultuda ve Tekboynuz (Monoceros) takımyıldızında yer almaktadır. Eşlek koordinatları  $\alpha = 6^{\text{h}} 34^{\text{m}}$ ,  $\delta = +9^{\circ} 29'$  (Piatti et al. 2004) ve gökada koordinatları ise  $l = 202.865^{\circ}$ ,  $b = 1.050^{\circ}$  (Donati et al. 2015) şeklindedir.

Tr5 kümesi, Trumpler sınıflaması ismi verilen ve açık yıldız kümelerine ilişkin bir sınıflama olan sistemde; III 1 r şeklinde sınıflanmıştır (Kim et al., 2009):

- III Tr5 kümesi herhangi bir bölgesinde bir toplanma göstermeyen ayrı bir kümedir,
- 1 Tr5 kümesindeki yıldızların büyük çoğunluğu aynı parlaklığa sahiptir,
- r Tr5 kümesi yıldız sayısı bakımından zengin bir kümedir.

Tr5 kümesinin üye yıldızları kimyasal bileşimlerindeki özellikler nedeniyle çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Kalinowski et al. (1974) çalışmasında Tr5 kümesinin olası üyesi bir karbon yıldızı incelenmiştir. Öte yandan, Monaco et al. (2014) çalışmasında, Tr5 kümesine üye olan bir süper lityum zengini kırmızı yığın yıldızı araştırılmıştır. Bu çeşitliliği barındırması açısından Tr5 kümesi önemli bir yer tutmaktadır. Bu türden yıldızların incelenmesi, yıldız kimyasal evriminin anlaşılması için oldukça önemlidir.



Şekil 2.1 Gökada diski boyunca metal bolluğu değişimi ve Tr5'in konumu (siyah altıgen). Yeşil daireler BOCCE projesi kapsamındaki kümeleri göstermektedir (Donati et al., 2015).

Açık yıldız kümeleri; gökadayaya ait disk yapısının, gökada oluşumunun ve gökadayaya ilişkin kimyasal dağılımın çalışılması için doğal laboratuvarlardır. Bilinen 2100'den fazla açık yıldız kümesinin sadece ~%15'lik bir kısmı yaşlı kümelerdir ve bunların sadece ~%5 kadarı 2 milyar yıl yaşından daha büyüktür (Donati et al., 2015). Gökada merkezine olan uzaklığı 10-13 kpc aralığında verilen Tr5 kümesi, Gökada diskinde yarıçapla orantılı olarak azalan metal bolluğunun bir doğru ile temsil edildiği bölgeye denk gelmektedir (Donati et al., 2015). Bu nedenle, Tr5 kümesi üzerine yapılacak yüksek duyarlıklı çalışmalar Gökada kimyasal evrimini daha iyi anlayabilmemizi sağlaması açısından önemlidir. Şekil 2.1'de Tr5 kümesi ve BOCCE (Bologna Open Cluster Chemical Evolution) projesi kapsamında çalışılan diğer açık yıldız kümeleri görülmektedir.

Tablo 2.1 Tr5 kümesinin literatür bilgileri (Kim et al. 2009 ve içindeki kaynaklar).

Parametre	Değer	Kaynak
Kızıllaşma, E(B-V)	0.80 mag 0.48 mag 0.60 mag 0.64 mag 0.58 mag 0.60 ± 0.10 mag 0.66 mag 0.60 ± 0.04 mag 0.64 ± 0.05 mag	Dow and Hawarden 1970; Janes and Adler 1982 Kalinowski 1974; Kalinowski et al. 1974 Piccirillo et al. 1977 Kalinowski 1979; Janes and Adler 1982 Kaluzny 1998 Kim and Sung 2003 Cole et al. 2004 Piatti et al. 2004 Kim et al. 2009
Ortalama	0.62 ± 0.08 mag	
Uzaklık, d	2.4 kpc 2.9 ± 0.1 kpc 2.4 ± 0.3 kpc 1.9 kpc 1.0 kpc 3.0 kpc 3.4 ± 0.3 kpc 2.8 kpc 2.4 ± 0.5 kpc 3.1 ± 0.1 kpc	Dow and Hawarden 1970; Janes and Adler 1982 Kalinowski 1974; Kalinowski et al. 1974 Kalinowski 1975 Piccirillo et al. 1977 Kalinowski 1979; Janes and Adler 1982 Kaluzny 1998 Kim and Sung 2003 Cole et al. 2004 Piatti et al. 2004 Kim et al. 2009
Ortalama	2.5 ± 0.7 kpc	
Yaş	4.9 Gyr 4.1 Gyr 2.4 ± 0.2 Gyr 5.67 ± 2.26 Gyr 3.0 ± 0.5 Gyr 5.0 ± 0.5 Gyr 2.8 ± 0.2 Gyr	Janes and Phelps 1994; Cole et al. 2004 Kaluzny 1998 Kim and Sung 2003 Salaris et al. 2004 Cole et al. 2004 Piatti et al. 2004 Kim et al. 2009
Ortalama	4.0 ± 1.2 Gyr	
Metallilik, [Fe/H]	0.0 dex -0.30 ± 0.10 dex -0.56 ± 0.11 dex -0.30 ± 0.15 dex -0.36 ± 0.05 dex -0.40 ± 0.10 dex	Kaluzny 1998 Kim and Sung 2003 Cole et al. 2004 Piatti et al. 2004 Carrera et al. 2007 Kim et al. 2009
Ortalama	-0.32 ± 0.17 dex	

Tr5 kümesinin salt fiziksel parametrelerini belirlemek için daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında geniş bir dağılım olduğu görülmektedir (Tablo 2.1). Ancak son dönemde yapılan çalışmaların birbiriyle daha iyi bir uyum içinde görülmektedir. Bunun olası bir nedeni olarak gözlemlerdeki duyarlılığın, gözlemlerde kullanılan teknoloji ile doğru orantılı bir şekilde artması verilebilir.

Bu kümeye ilişkin ilk fotoğrafik gözlemler Dow and Hawarden (1970) tarafından yapılmıştır. Bu gözlemlerde her ne kadar anakoldan ayrılma kolu elde edilemediyse de kümenin yaşlı, yıldız sayısı bakımından zengin ve diferansiyel olarak kızılılaşmış olduğu ortaya konulmuştur (Donati et al., 2015). Trumpler 5 kümesi ile ilgili en önemli çalışmalardan biri Kaluzny (1998) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, CCD ile BVI süzgeçleri kullanılarak yapılan ışıkölçüm gözlemlerinde kümenin anakolu, kırmızı dev kolu ve basıklaşmış bir kırmızı yığın grubu olduğu ortaya konulmuştur. Daha sonra M67 kümesi ile yapılan karşılaştırmalar ile Trumpler 5 kümesinin daha genç olduğu bulunmuştur. Kaluzny (1998)'nin çalışmasının önemli bir sonucu, Tr5 kümesini oldukça kütleli (en az  $3000 M_{\odot}$ ) bulmuş olmasıdır. Bu çalışmada aynı zamanda, uzaklık modülü  $(m-M)_0 = 12^m.4$  ve kızılılaşma değeri  $E(B-V) = 0^m.58$  olarak belirlenmiştir. Kim ve Sung (2003), Kaluzny (1998) verilerine eşzaman çizgilerini uygulayarak daha genç bir yaş (2.4 milyar yıl) önermişlerdir. Aynı zamanda, bu çalışmada tutarlı bir uzaklık modülü ( $(m-M)_0 = 12^m.64$ ) ve kızılılaşma değeri ( $E(B-V) = 0^m.60$ ) bulmuşlardır. Metal bolluğu değeri olarak ise Kaluzny (1998) tarafından kabul edilen Güneş bolluğunun aksine metalce Güneş'ten daha fakir ( $[Fe/H] = -0.30$  dex) bir küme olduğunu önermişlerdir.

Daha sonra Piatti et al. (2004), Cousin ışıkölçüm sisteminden V ve I süzgeçlerini ve Washington ışıkölçüm sistemini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında kuramsal eşzaman çizgilerini kullanarak küme için farklı bir yaş değeri (5 milyar yıl) önermişlerdir. Uzaklık modülünde de yine önceki çalışmalardan farklı olarak  $(m-M)_V = 13^m.8$  değerine, kızılılaşma ve metal bolluğu değerleri için ise Kim ve Sung'un çalışmasındakine benzer bulgulara ulaşmışlardır ( $E(V-I) = 0^m.80$ ,  $E(B-V) = 0^m.64$ ,  $[Fe/H] = -0.30$  dex). Bu çalışmada ek olarak diferansiyel kızılılaşmanın değeri bulunmuş ( $\Delta E(B-V) = 0^m.11 - 0^m.22$ ) ve kümenin yarıçapı ( $\sim 7.7$  yay dakikası) ölçülmüştür.

Kim et al. (2009), kızılöte 2 mikron tüm gökyüzü taraması (2 Micron All-Sky Survey, 2MASS) verilerini ve yıldızlı eşzaman çizgilerini kullanarak kümenin yaşını 2.8 milyar yıl olarak hesaplamıştır. Ortalama kızılılaşma değeri

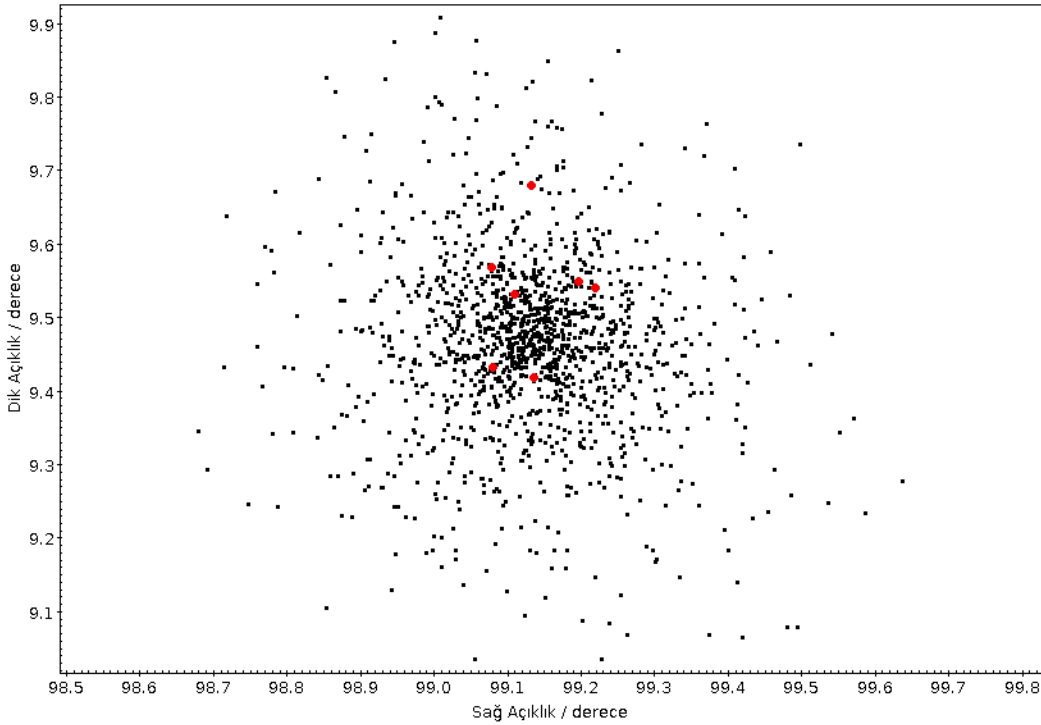
$E(B-V) = 0^m.64$ , uzaklık modülü  $(m-M)_0 = 12^m.64$  ve metal bolluğu ise  $[Fe/H] = -0.4$  dex olarak hesaplanmıştır.

Tr5 kümesini konu alan hemen hemen tüm çalışmalarda metal bolluğu Güneş bolluğundan daha düşük olarak rapor edilmiştir. Tablo 2.1’de de görüldüğü üzere sadece Kaluzny (1998)’nin çalışmasında Güneş metal bolluğu olarak alınmıştır.

Cole et al.(2004) tarafından yapılan çalışmada CaT metodu kullanılarak literatürdeki veriler üzerinden bir kalibrasyon elde edilmiş ve Tr5 kümesine uygulanmıştır. Bu çalışmada, 16 adet yıldızın tayfi kullanılmıştır. Bu yıldızlardan 14’ü dikine hızlarına göre küme üyesidir ve ortalama hız değeri  $54 \pm 5$  km s<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, Tr5 kümesinin bilinen açık yıldız kümeleri içerisinde metalce en fakirlerden biri olduğu gösterilmiştir ( $[Fe/H] = -0.56 \pm 0.11$  dex). Bu değer Carrera et al. (2007) tarafından güncellenmiş ve  $[Fe/H] = -0.36 \pm 0.05$  dex olarak bulunmuştur. Bu çalışmada 17 adet üye yıldızın tayfi kullanılmıştır (ortalama dikine hız =  $44 \pm 10$  km s<sup>-1</sup>). Son olarak ise Monaco et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada dört adet dev yıldızın tayfi kullanılarak  $[Fe/H] = -0.48$  değeri bulunmuştur.

## 2.1 Yıldızların Seçimi ve Ön Çalışmalar

Trumpler 5 kümesi, yaşlı bir açık yıldız kümesi olarak çok fazla sayıda yıldız içermektedir. Bu çalışmada, küme üyesi yıldızlardan dev yıldızlar seçilmiştir. Bu seçimler sırasında MilkyWay Star Catalogue adı verilen (Kharchenko et al., 2012, 2013) katalogdan özhareketlerine bakılarak üye olma olasılığı %90'ın üzerinde olan 4 adet dev yıldız seçilmiş ve gözlenmiştir. Bu ön çalışmadan sonraki dönemde yayınlanan Gaia uydusuna ait ikincil veri paylaşımı (Gaia DR2) ile özhareket verileri güncellenmiştir. Cantat-Gaudin et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise bu güncellemeler ve Bailer-Jones et al. (2018) tarafından güncellenen Gaia uzaklıkları kullanılarak, aralarında Tr5'in de bulunduğu pek çok açık küme üyesi yıldız için üye olma olasılıkları yeniden belirlenmiştir. Gerek bu çalışmalardan gelen uzaklık değerleri, gerek üye olma olasılıkları ve gerekse de tarafımızdan elde edilen dikine hız değerleri bu yıldızlardan 3 tanesinin küme üyesi olmadıklarını göstermiştir. Bu nedenle üye olmayan yıldızlar bu çalışma kapsamından çıkartılmıştır.

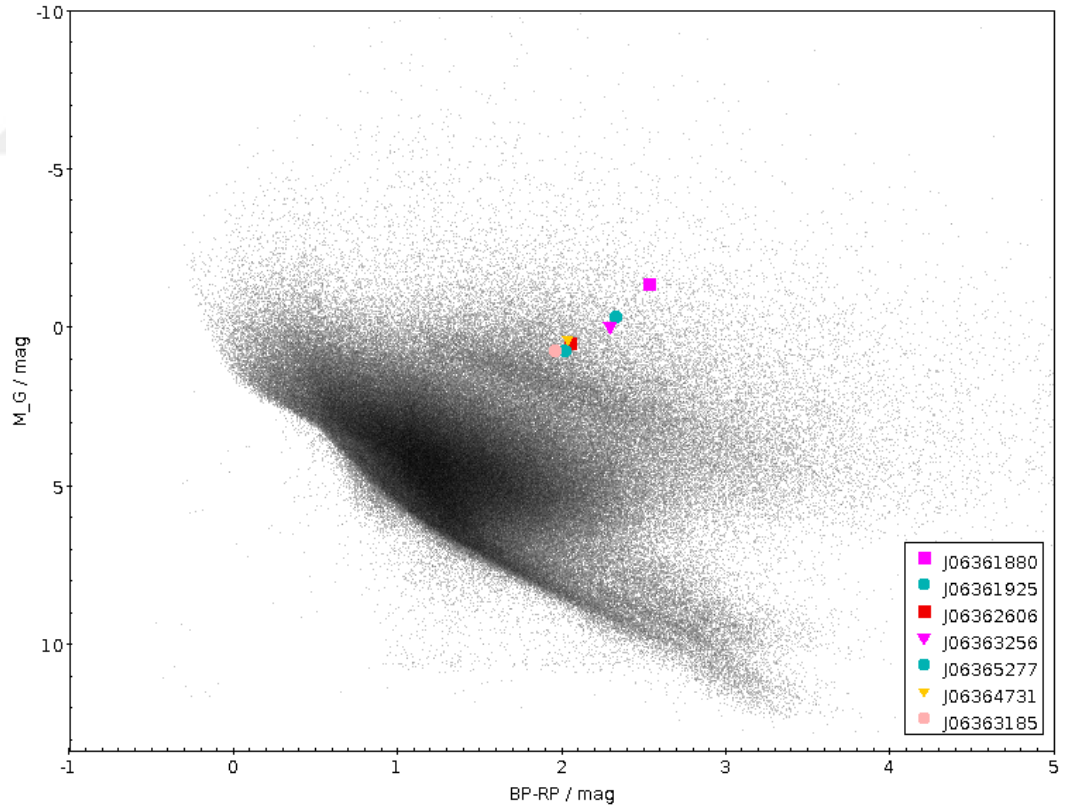


Şekil 2.2 Tez çalışmamız kapsamında gözlenen küme üyesi yıldızların konumları (kırmızı noktalar) ve Tr5 üyesi olma olasılığı 0.5'den büyük olan yıldızlar (siyah noktalar).

Bu yeni çalışmalar ışığında üye olma olasılığı yüksek olan yıldızlardan 6 adet daha olası küme üyesi seçilerek çalışmamız kapsamında gözlemleri tamamlanmıştır. Sonuç olarak toplamda 7 olası üye yıldızın yüksek çözünürlüklü yakın kızılöte tayfları elde edilmiş ve detaylı analizleri yapılmıştır. Yıldızların



konumları Şekil 2.1’de, isimleri ve gözlem parametreleri Tablo 2.2’de görülmektedir. Yıldız isimlerinin uzunluğu nedeniyle, yıldız isimleri kısaltılarak sadece ilk kısımları ile belirtilmiştir. Şekil 2.1’de Gözlem Dizisi olarak görülen ABBA dizilerinden daha sonra bahsedilecektir (bkz. Bölüm 3). Bu yıldızların, olası evrim durumlarını incelemek için yıldızlararası kızıllaşma miktarı dikkate alınmaksızın salt parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ve ön bakış için gerekli işlemler sırasında Virtual Observatory (VO) platformu kullanılmıştır. Sanal Gözlemevi olarak da bilinen bu platform kısaca VO olarak adlandırılmaktadır. VO platformu literatürde yayına dönüşmüş ya da henüz yayınlanmamış gözlem verilerinin bulunduğu bir platformdur ve çok sayıda büyük gözlemevi, üniversite ve çeşitli ülkelerin çalışmaları ile desteklenmektedir. VO üzerinden elde edilen Cantat-Gaudin et al. (2018)’in çalışmasının verileri küme üyesi yıldızların Gaia verilerini ve küme üyesi olma olasılıklarını vermektedir. Bu veriler ile hesaplanan G bandı salt parlaklık ( $M_G$ ) değerleri, Gaia rengine ( $B_P - R_P$ ) karşılık grafiklendirilerek renk-parlaklık diyagramı elde edilmiştir.



Şekil 2.3 Gaia renk-parlaklık diyagramı üzerinde gözlenen yıldızların konumları.

Renk-parlaklık diyagramları, yıldızların evrimsel durumlarına ilişkin bilgiler içermektedir. Cantat-Gaudin et al. (2018)’in çalışmasındaki yıldızlara ilişkin elde edilen renk-parlaklık diyagramı Şekil 2.2’de görülmektedir ve bu çalışmadaki

yıldızların konumları diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Yedi yıldızın tamamı devler bölgesinde yer almaktadır. Gaia ekibinin (Gaia Collaboration et al., 2018) çalışmasında oluşturulan diyagramlara bakıldığında yıldızlarımızın yatay kol (Horizontal Branch, HB) ve asimptotik dev koluna (Asymptotic Giant Branch, AGB) tırmanan yıldızlardan oluştuğu görülmektedir. 2MASS J06361880+0934066 (J06361880) yıldızının bir AGB yıldızı adayı olduğu görülmektedir.

Tablo 2.2 Bu tez çalışma kapsamında gözlenen yıldızlar ve gözlemlere ilişkin bazı bilgiler.

Yıldız İsmi (2MASS)	Tarih	Gözlem Dizisi	Poz Süresi (saniye)	Standart Yıldız	Sağ Açıklık Gaia	Dik Açıklık Gaia
J06363185+0940450	25/03/2016	A B B A	600	HIP 29434	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup> .8	+09° 40' 45".12
J06361880+0934066	21/12/2018	A B B A	24	HR 2584	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> .8	+09° 34' 06".60
J06362606+0931548	21/12/2018	A B B A	180	HR 2584	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup> .0	+09° 31' 54".84
J06365277+0932270	21/12/2018	A B B A	240	HR 2584	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> .7	+09° 32' 26".88
J06364731+0932596	27/11/2018	A B B A	300	HR 2584	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup> .3	+09° 32' 59".64
J06361925+0925587	25/11/2018	A B B A	300	HR 2584	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup> .2	+09° 25' 58".80
J06363256+0925083	19/03/2019	A B B A	180	HR 2584	6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup> .5	+09° 25' 08".40

### 3. GÖZLEMLER VE VERİLERİN İNDİRGENMESİ

Çalışmamız kapsamında Tr 5 açık yıldız kümesinden 7 tane olası üyenin (Tablo 2.2) yüksek çözünürlüklü yakın kızılöte tayfları elde edilmiştir. Bu yıldızlardan 2MASS J06363185+0940450 yıldızının gözlemleri Amerika'da McDonald Gözlemevi'nde bulunan 2.7m çaplı Harlan J. Smith (HJS) teleskobu ile, diğer yıldızların gözlemleri ise Lowell Gözlemevi'ndeki 4m çaplı Discovery Channel teleskobu (DCT) ile yapılmıştır. Tüm gözlemlerde, bu teleskopların odak düzlemine yerleştirilen Immersion Grating Infrared Spectrograph (IGRINS) tayfçekeri kullanılmıştır.

IGRINS tayfçekeri,  $R = 45\ 000$  tayfsal çözünürlük değerine sahip kızılöte bölge tayfçekeridir.  $\sim 1.5\ \mu\text{m}$  ile  $2.5\ \mu\text{m}$  arasındaki pencerede hem H hem de K bandında tek pozlama ile tayf elde edebilmektedir (Yuk et al. (2010), Park et al. (2014), Mace et al. (2016)). Bu şekilde, çok geniş bir aralıkta yüksek çözünürlüklü tayfin eş zamanlı olarak elde edilmesine olanak sağlanmaktadır. IGRINS, sahip olduğu silikon kırınım ağları ve iki adet 2K x 2K kızılöte dedektörü ile yüksek çözünürlüğe ulaşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında IGRINS tayfçekerinde elde edilen ham veriler, IGRINS verileri için özel olarak yazılmış PLP2 programı ile indirgenmiştir (PLP2, 2019). Bu yazılım, Dr. Jae-Joon Lee (KASI) tarafından yönetilen bir çalışma grubu tarafından geliştirilmektedir. Yazılım, python diliyle yazılmış olup açık kaynak kodlu bir şekilde paylaşılmaktadır. Trumpler 5 kümesindeki yıldızlar Tablo 2.2'de yer alan diziler şeklinde gözlenmiştir. ABBA sırasına göre alınan tayflarda A ve B harfleri sırasıyla CCD üzerinde birbirinden 7 yay-saniyesi ayrık olan iki noktayı temsil etmektedir. Bu AB çiftlileri kullanılarak PLP2 yazılımında OH salma çizgileri ortadan kaldırılmıştır. Bu işlem Horne (1986) kaynağındaki prosedürlere dayalı olarak yazılımın kendisi tarafından yapılmaktadır. Dalga boyu kalibrasyonu için ise önce aynı gece elde edilen ThAr lambda tayfları kullanılmış, ardından OH salma çizgileri hedef yıldızla ilişkin iki boyutlu tayf ile örtüştürülerek kalibrasyonun daha hassas olması sağlanmıştır. Bu işlem sonrasında bu pozların birbirinden farkı alınmış, hem gökyüzü salma çizgilerinin etkisi hem de aletsel gerizemin etkileri gözlem verisinden arındırılmıştır.

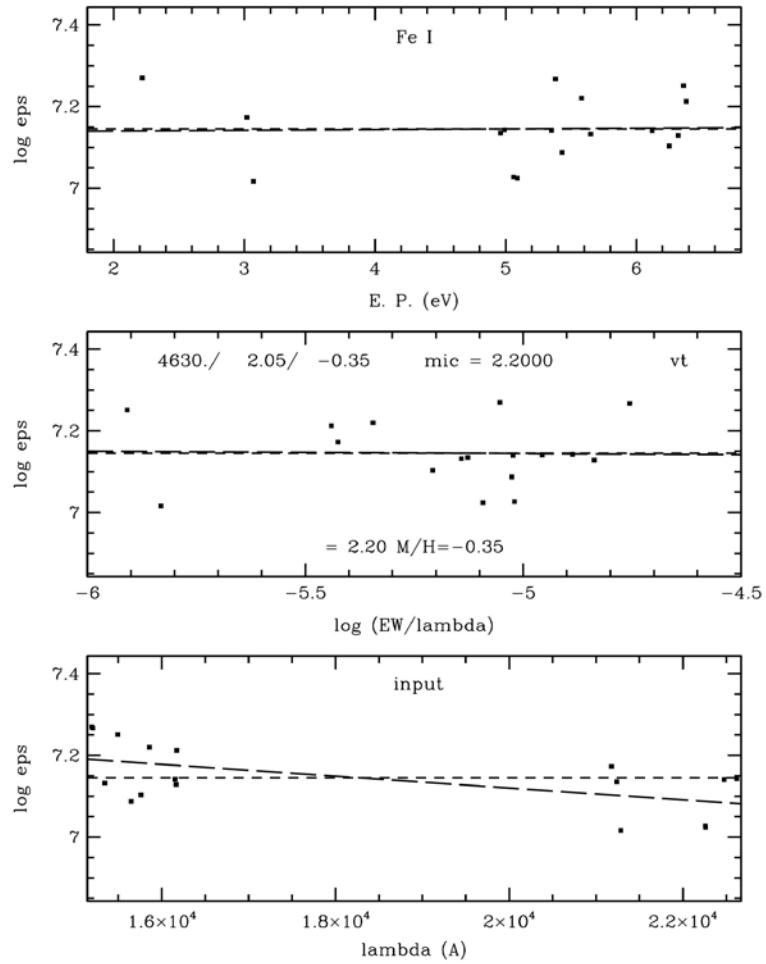
Yakın kızılöte tayfında etkin olan atmosferik çizgiler başlıca  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CO}_2$  moleküllerine ilişkin soğurma yapısındaki çizgilerdir. Bu çizgiler atmosferik (tellürik) çizgiler olarak bilinir. Gözlemi yapılan nesnenin tayfindan

arındırılmaları için analiz öncesinde tellürik düzeltme olarak bilinen işlemin yapılması gereklidir. Bu işlem için hızlı dönen, sıcak ve dolayısıyla tellürik standartı olarak kullanılabilen olan B0-A0V tayf türünden yıldızlar, hedef yıldızlarla aynı koşullarda gözlenmiş ve veriler PLP2 yazılımı ile indirgenmiştir. Daha sonra elde edilen hedef yıldız ve tellürik standart yıldızına ilişkin “.fits” uzantılı görüntüler, NOAO tarafından geliştirilen IRAF yazılımının “*telluric*” isimli paket programı yardımıyla incelenerek tellürik düzeltmeler yapılmıştır. Tellürik düzeltme işleminde, standart yıldızla ilişkin olan tayflar tellürik çizgileri içeren bir model gibi düşünülerek bu etkiler arındırılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, atmosferik düzeltmelerin ve dalga boyu kalibrasyonunun yapıldığı hedef yıldızlara ilişkin tayflar elde edilmiştir. Bu sürecin sonunda elde edilen tayflarda düşey eksen ADU (Analog to Digital Unit) birimindedir. Ancak bu değerler teknik değerlerdir ve fiziksel olarak anlam çıkarılabilecek değerlere dönüştürülmelidir. Bu işlem için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada, yapay süreklilik (pseudo-continuum) kullanılmıştır. IRAF içerisindeki “*continuum*” isimli paket program kullanılarak her bir açıklık “1” değerine normalize edilmiştir. Bu süreçlerin ardından veriler analiz edilmeye ve bilimsel sonuçlar elde edilmeye hazır hale gelir.

Daha sonra analize hazır duruma getirilen tayflar kullanılarak hedef yıldızların dikine hız ölçümleri yapılmıştır (bkz. Bölüm 6.1). IGRINS tayfları, PLP2 çıktısı durumunda 44 açıklıktan oluşmaktadır (23 tanesi *H*, 21 tanesi *K* süzgecinde). Bu açıklıklar her iki süzgeç için de birleştirilerek, *H* ve *K* süzgecinde bütün olarak tayflar elde edilmiştir. Bu işlem için IRAF içerisindeki “*scombine*” paket programı kullanılmıştır. Elde edilen tayflar hem Doppler kayma hem de aletsel kayma değerlerini içermektedir. Kimyasal bolluk analizi için bu tayflar laboratuvar dalgaboyuna taşınmalıdır. Bu işlem için gerekli olan kayma miktarları belirlenerek, yıldız tayfları IRAF içerisindeki “*dopcor*” paket programı ile laboratuvar dalgaboylarına taşınmıştır.

Model atmosfer belirleme ve kimyasal bolluk analizi için MOOG (Snedden, 1973) kodu kullanılmıştır. MOOG kodunun ilk versiyonu Fortran diliyle yazılmıştır. Grafik arayüzü olarak SuperMongo (SM, 2019) yazılımını kullanmaktadır. SuperMongo, ücretli bir lisansa sahip olduğundan, bu çalışma kapsamında Monika Adamow tarafından yazılan ve Fortran kütüphanelerini Python dili üzerinden çalıştıran pyMOOGi yazılımı kullanılmıştır (pyMOOGi, 2019). MOOG kodu LTE (Yerel Termodinamik Denge) koşulları altında çizgi analizi yapabilen ve sentetik tayf oluşturarak analiz yapmaya olanak veren bir

yazılım kodudur. Bu çalışmada MOOG'un standart çalıştırma seçenekleri olan "abfind" ve "synth" sürücüleri kullanılmıştır. "abfind" sürücüsü, gözlemlerden elde edilen eşdeğer genişlik ölçümlerinin hesaplanan değerler ile iterasyon yöntemi ile eşleştirilmesi işlemini yürütür ve model atmosfer parametreleri ile kimyasal bollukların belirlenmesi için kullanılır. "synth" sürücüsü özellikle karışık (blend), ince-yapı yarılmaları gösteren çizgilerden ve moleküler yapılardan bolluk belirlenmesi durumunda kullanılır. "synth" sürücüsü bir dizi sentetik tayf hesaplama ve bunları gözlenen tayf ile eşleştirerek bollukları belirleme esasına dayanarak çalışır.

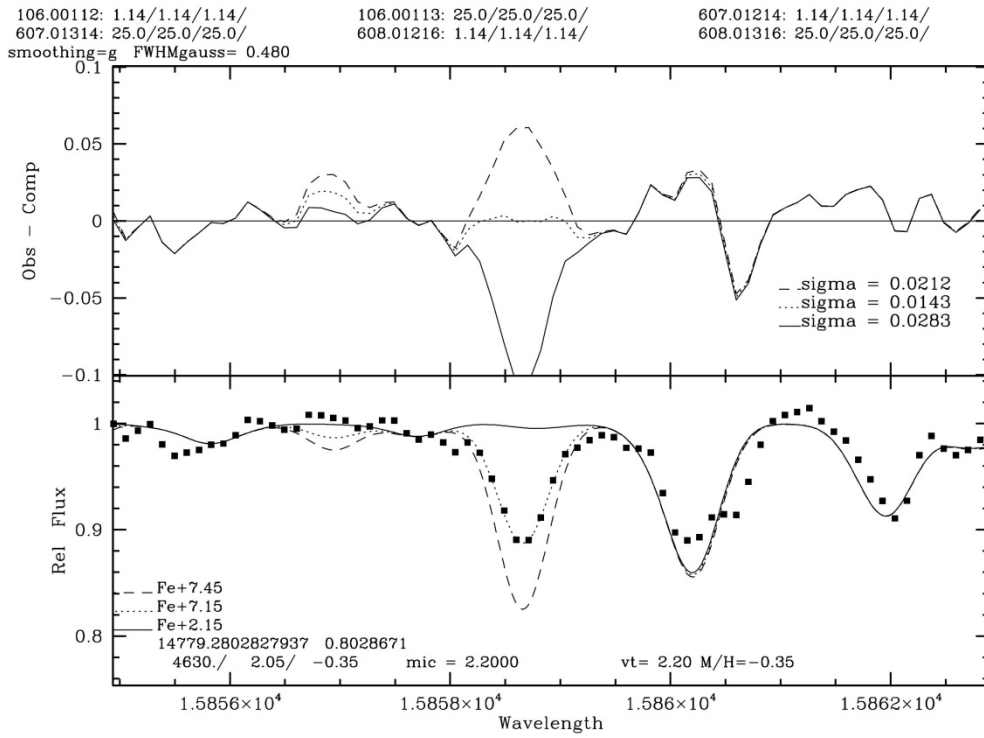


Şekil 3.1 Abfind sürücüsünün örnek bir çıktısı.

Bu çalışmada kullanılan ilk sürücü "abfind" sürücüsüdür. Yukarıda da belirtildiği gibi ölçülen eşdeğer genişlikler ile hesaplanmış genişlikler eşleştirilerek bolluk hesabı yapan bu sürücü, bu çalışmada demir ve titanyuma ilişkin çizgilerden elde edilen eşdeğer genişlikler ile model bulma çalışmasında

kullanılmıştır. Bu şekilde, hem elementlere ilişkin ortalama bolluklar hesaplanmış hem de model atmosfer parametreleri elde edilmiştir. abfind sürücüsünün grafik arayüzünü gösteren program çıktısı Şekil 3.1'de görülmektedir.

synth sürücüsü, başlangıç bolluk değerleri verilen elementler, güvenilir bir çizgi listesi ve yıldıza ilişkin model atmosfer parametrelerini girdi değerleri olarak kullanır. Gözlenen tayf ile sentetik tayfin en iyi uyumu sağladığı bolluk değeri hesaplanarak sentetik analiz gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında görsel olarak bir inceleme yapılırken aynı zamanda gözlenen ile hesaplanan tayf arasındaki fark matematiksel olarak en aza indirgenmeye çalışılır. Programın örnek grafik çıktısı Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Synth sürücüsünün örnek bir çıktısı.

#### 4. MODEL ATMOSFER PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Tr5 kümesi etrafını saran toz bulutu nedeniyle, optik bölgede oldukça opaktır. Ayrıca, daha önce de belirtildiği gibi yüksek derecede diferansiyel kızılalmaya sahip olması nedeniyle optik bölgede çalışılması oldukça zordur. Tez projemizde yer alan yıldızların tamamı ilk kez bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu nedenle, model atmosfer parametrelerine ilişkin herhangi bir literatür bilgisi bulunmamaktadır. Bu durum atmosfer parametrelerinin belirlenmesi adına bir yöntem geliştirilmesini gerektirmiştir. Model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan klasik yöntem, demir (Fe) elementinin hem nötr (Fe I) hem de iyonize (Fe II) atomik çizgilerinin birlikte kullanımını gerektirir. Optik bölge her iki türden de çok sayıda çizgi içerdiği için model atmosfer parametrelerini belirlemede çoğunlukla optik bölge tayfları kullanılır. İyonlaşma dengesi, Saha iyonlaşma denklemi aracılığıyla özellikle yüzey çekimi parametresine ilişkin bilginin elde edilmesini sağlar. Kızılöte bölgede ise iyonlaşmış Fe elementine ait çizgi bulunmamaktadır. Yüzey çekimi belirleme sürecinde gerekli olan Fe-grubu elementlerinden titanyumun yalnızca bir adet iyonlaşmış (Ti II) çizgisi H bandında 15873.84 Å'de bulunmaktadır. Bu çizgiye ilişkin bilgiler Tablo 4.1'de verilmektedir. Ti II çizgisine ilişkin değerler Wood et al. (2004)'den alınmıştır.

Tablo 4.1 Ti II çizgisinin temel parametreleri ve elde edilen ilişkiler.

Element	Dalgaboyu	log (gf)	E.P.
Ti II	15873.840 Å	-1.90	3.123 eV
İlişki	R <sup>2</sup>	Standart Hata	Anlamlılık F
$T_{\text{eff}} = 5670.28 - 10.14 \times \text{EW}$	0.87	164	$3.62 \times 10^{-44}$
$\log g = 4.44 - 0.03 \times \text{EW} + 5.41 \times 10^{-5} \times \text{EW}^2$	0.84	0.29	$9.78 \times 10^{-33}$
$V_t = 0.19 + 0.02 \times \text{EW}$	0.62	0.19	$8.61 \times 10^{-16}$

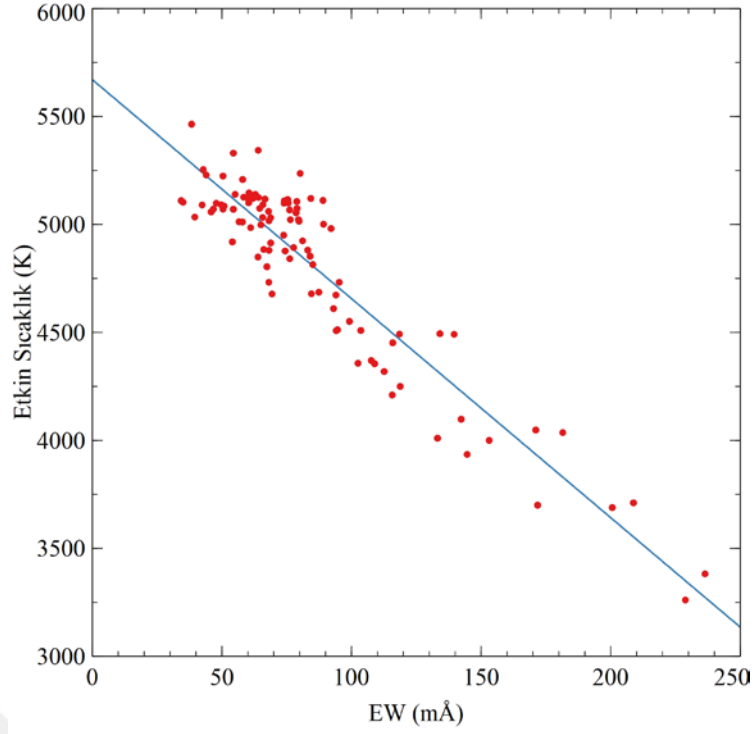
Yıldız atmosferinin temel parametreleri olan etkin sıcaklık ( $T_{\text{eff}}$  (K)), yüzey çekimi ( $\log g$ ), metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) ve mikro türbülans hızı ( $V_t$  (km/s)) için Ti II eşdeğer genişliği (EW (Ti II)) ile bu parametreler arasında ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda daha önce IGRINS ile kızılöte bölgede tayfları elde edilmiş olan ve model atmosfer parametreleri optik bölge tayflarından elde edilmiş 70 kadar kırmızı yatay kol (RHB) yıldızının (Afşar et al. 2018a) verileri kullanılmıştır. Bunun yanı sıra IGRINS tayfsal kütüphanesi (Park

et al., 2018) çalışmasında bulunan yıldızlarının da verileri kullanılarak, örneklem sayısının artırılması amaçlanmıştır. Model atmosfer parametreleri yeteri kadar güvenilir olmayan yıldızlar incelemede kullanılmamıştır. Ti II çizgisinin olduğu *H* bandındaki  $\sim 15870 \text{ \AA}$  bölgesi tellürik çizgilerden de oldukça az etkilenen bir bölgedir. Bu da eşdeğer genişlik ölçümlerinin dış etkilerden minimum düzeyde etkilenmesini sağlamaktadır. Çok güçlü bir çizgi olmayan Ti II çizgisi, çok düşük sıcaklıklarda etkisi artan CO moleküler çizgisi dışında başka tayfsal yapılarla karışmadığı için genel olarak simetrik bir yapıya sahiptir ve çizginin profili ters-Gauss profili ile kolaylıkla temsil edilebilmektedir.

#### 4.1 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Etkin Sıcaklık İlişkisi

Etkin sıcaklık için Ti II çizgisinin eşdeğer genişliğine karşılık olarak iyi bilinen yıldızların etkin sıcaklıkları değerlendirilmiştir. 99 örneklem ile yapılan incelemede doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Yapılan doğrusal regresyon analizi ile örnekleme temsil eden en iyi doğrunun denklemi ve regresyon işleminin istatistiksel sonuçları Tablo 4.1'de verilmektedir. 164 K olarak bulunan standart hata değeri başlangıç modelinde kullanılacak sıcaklık değeri için oldukça iyi bir yaklaşım sunmaktadır.  $T_{\text{eff}}$  ve EW (Ti II) arasındaki doğrusal bağıntının ne kadar iyi olduğunu gösteren  $R^2$  değeri 0.87 olarak bulunmuştur.  $R^2=1$  değeri kusursuz bir bağıntıyı  $R^2=0$  değeri ise tamamen bağıntısız bir durumu göstermektedir. F analizinde ise bu ilişkinin ne kadar güvenilir olduğu incelenmiştir. “Significance F (Anlamlılık F)” adı verilen bu değer 0.05'den küçük olması güvenilir bir veri seti anlamına gelmektedir. Bu değer ne kadar düşükse veri o kadar güvenilir anlamına gelmektedir. Sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.





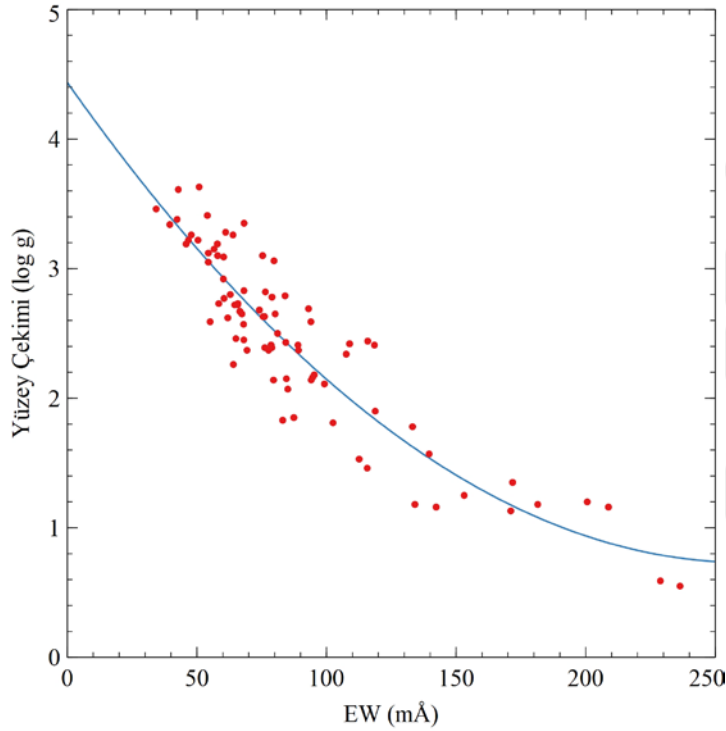
Şekil 4.1 EW (Ti II) -  $T_{\text{eff}}$  ilişkisi.

#### 4.2 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Yüzey Çekimi İlişkisi

Ti II eşdeğer genişliğine karşılık yüzey çekim ( $\log g$ ) değerleri incelendiğinde ise ikinci dereceden bir polinom ile temsil edilen bir bağıntı elde edilmiştir. Burada aynı veri seti içerisinde 84 örneklem yıldız kullanılmıştır. Bu çalışmadan çıkarılan yıldızlar metal bolluğu  $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.8$  olan metalce fakir yıldızlardır. Bu metal bolluğu bölgesinde  $\log g$  değerlerinin EW değerlerine bağlı olarak değiştiği izlenmiştir. Ancak bu değişimin anlamlı olup olmadığının incelenebilmesi için örneklem sayısının daha fazla olması gerekmektedir. Sonuç olarak, kullanılan örneklem sayısı ile yüzey çekimi için elde edilen standart hata değeri 0.29 olarak bulunmuştur. Kuadratik regresyon analizinin sonuçları Tablo 4.1’de görülmektedir.  $R^2=0.84$  değeri bu bağıntının oldukça iyi olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4.2’de bu bağıntıyı gösteren grafik verilmiştir.

### 4.3 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Metal Bolluğu İlişkisi

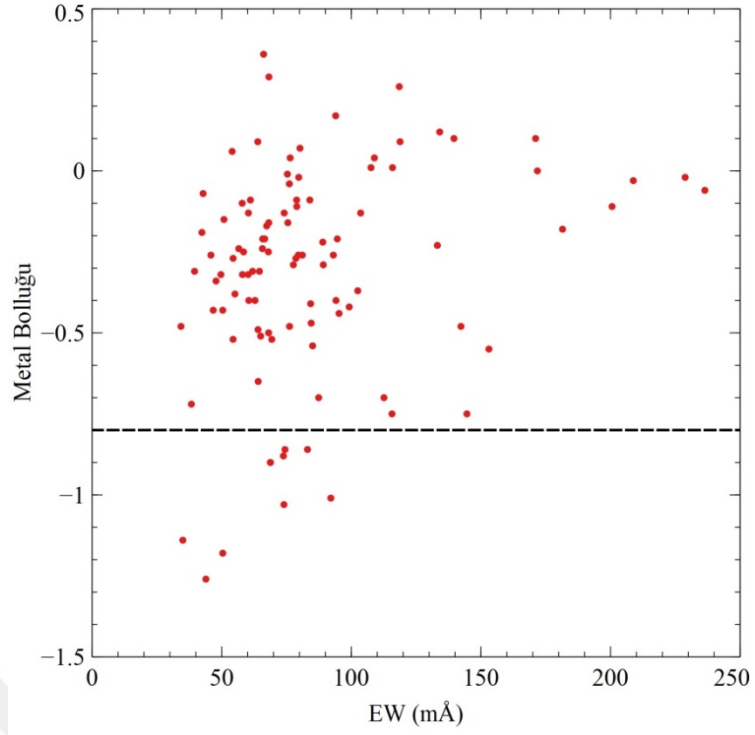
Bir diğer temel parametre olan metal bolluğu ile Ti II eşdeğer genişliği arasında ise beklendiği gibi herhangi bir ilişki gözlenmemiştir (Şekil 4.3). Sadece metalce çok fakir yıldızlar ( $< -0.8$  dex) için doğrusal gibi görünen bir eğilim vardır. Fakat bir çıkarım yapabilmek için daha fazla sayıda örnekleme ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.3 bu grafiği içermektedir. Kesikli çizgi metal bolluğunun  $-0.8$  değerine eşit olduğu yeri göstermektedir.



Şekil 4.2 EW (Ti II) –  $\log g$  ilişkisi.

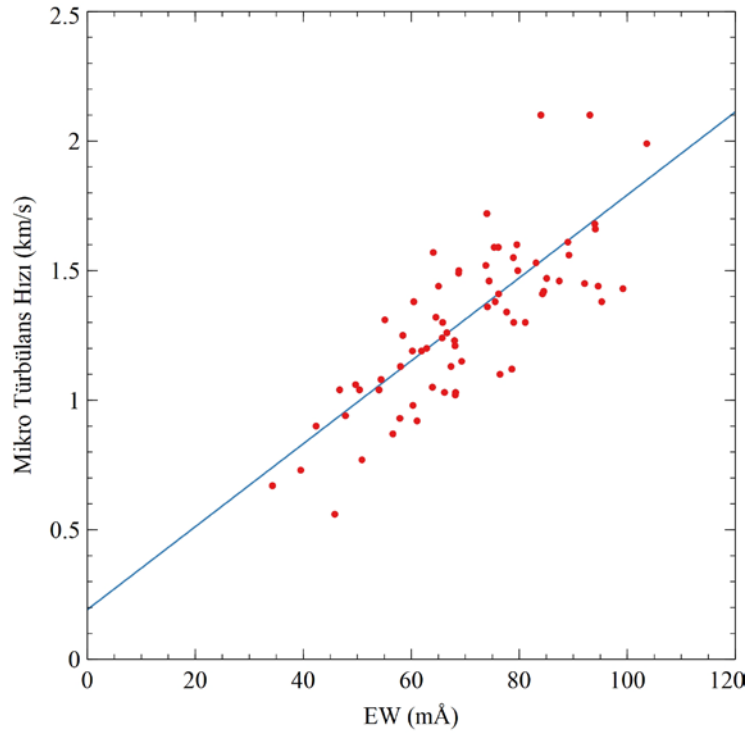
### 4.4 Ti II Eşdeğer Genişliği ve Mikro Türbülans Hızı İlişkisi

Son parametre olarak mikro türbülans hızı incelenmiştir. Mikro türbülans hızı serbest bir parametre olduğundan örneklem olarak atmosfer parametrelerini tek bir kaynaktan (Afşar et al. 2018a) aldığımız RHB tayf verileri kullanılmıştır. Güvenilir olan değerler ile Ti II çizgisinin eşdeğer genişlikleri incelendiğinde doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. 70 örneklem ile elde edilen bu ilişkide, 0.19 standart hata değerine sahip  $R^2 = 0.62$  değerinde bir ilişki ortaya konulmuştur. İstatistiksel değerler Tablo 4.1’de grafiksel gösterim ise Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.3 EW (Ti II) – [Fe/H] ilişkisi.

Sonuç olarak elde edilen bağıntılar ve onlara ilişkin sonuçlar Tablo 4.1’de verilmektedir. Bu bağıntılardan elde edilen parametreler başlangıç atmosfer modellerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Burada eşdeğer genişlik mÅ birimindedir.



Şekil 4.4 EW (Ti II) –  $V_t$  ilişkisi.

## 5. Ti II İLİŞKİSİNİN Tr5 YILDIZLARINA UYGULANMASI

### 5.1 Başlangıç Modelleri

Bu çalışma kapsamında gözlenen Tr5 üyesi yıldızların literatürde optik bölgede ya da başka bir bölgede elde edilmiş atmosfer modeli yoktur. Bu nedenle, her bir yıldız için Ti II çizgisinin eşdeğer genişliği ölçülerek başlangıç modelleri oluşturulmuştur. Ti II çizgisinin eşdeğer genişliği IDL dilinde yazılan bir kod ile dikkatli bir şekilde ölçülmüştür. Kanat bölgelerinde genişleme etkisi çok fazla olmayan Ti II çizgisinin temsili için ters-Gauss fonksiyonu kullanılmıştır. Ölçülen değerler ile elde edilen başlangıç modelleri Tablo 5.1’de verilmiştir..

### 5.2 Sonuç Modeller

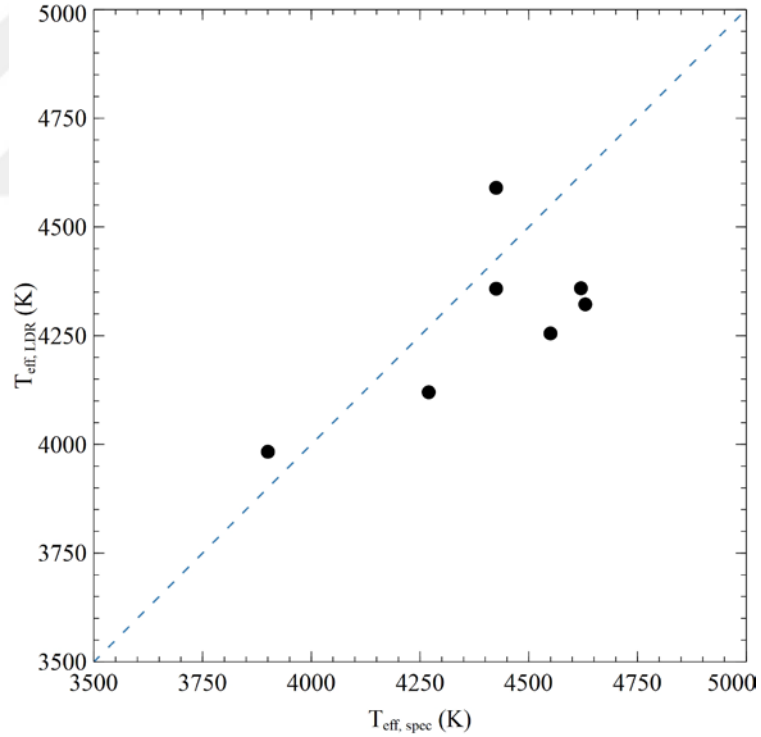
Elde edilen başlangıç parametreleri ile Kurucz (1970) tarafından oluşturulan ODFNEW (Opacity Distribution Function) fonksiyonu kullanılarak başlangıç modelleri oluşturulmuştur. Metal bolluğunun -0.5 dex değerinden daha düşük olduğu durumlarda ise alfa elementlerinin baskın olduğu durumlar için geçerli olan AODFNEW fonksiyonu kullanılmıştır. Daha sonra, kırmızıöte bölgesinde bulunan demir (Fe) çizgileri için eşdeğer genişlikler ölçülmüştür. Elde edilen eşdeğer genişlikler ile başlangıç modelleri kullanılarak MOOG analiz kodunun (Snedden, 1973) “abfind” isimli sürücüsü ile model arama çalışmalarına başlanmıştır.

Tablo 5.1 Çalışma konusu yıldızların başlangıç ve sonuç atmosfer modelleri.

Yıldız	Başlangıç Modelleri			Sonuç Modeller			
	$T_{\text{eff}}$ (K)	$\log g$	$V_t$ (km/s)	$T_{\text{eff}}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$V_t$ (km/s)
J06363185	4677	2.18	1.73	4425	2.24	-0.37	1.70
J06361880	4006	1.25	2.77	3900	1.45	-0.48	1.85
J06361925	4397	1.73	2.16	4270	2.02	-0.34	1.60
J06362606	4613	2.07	1.83	4550	2.11	-0.31	1.75
J06363256	4538	1.95	1.95	4425	1.69	-0.45	1.95
J06365277	4546	1.96	1.93	4620	2.18	-0.34	1.75
J06364731	4538	1.95	1.95	4630	2.05	-0.35	2.20

Şekil 3.1’de örnek bir program çıktısı görülmektedir. Burada dikey eksen  $\log \epsilon (\text{Fe})^1$  değeri yani demir bolluğunu verirken yatay eksenlerde ise; en üst panelde uyartılma potansiyeli (excitation potential (E.P.), eV), orta panelde indirgenmiş genişlik (reduced width, R.W., Å) ve alt panelde dalgaboyu (Å) bulunmaktadır.

Buradaki arayışlar temel olarak çizgi listemizde bulunan Fe çizgileri ile yapılmıştır. Eşdeğer genişlikleri ölçülen Fe ve Ti çizgileri kullanılarak iterasyon yöntemiyle en uyumlu model aranmıştır. Burada Ti I ve Ti II bollukları arasındaki denge yüzey çekimine, Fe I bollukları ise daha çok sıcaklık ve metal bolluğuna bağlıdır. Dolayısıyla, bu ilişkiler gözetilerek sonuç modeller elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen modeller Tablo 5.1’de görülmektedir. Başlangıç modelleri ile en iyi modeller arasındaki oldukça küçük farklar, Ti II ile elde edilen ilişkinin önemini ortaya koymaktadır. Hata değerleri için, nümerik analizler sonucu Ti I ilişkisinden gelen hatalar verilmiştir.



Şekil 5.1 Çizgi derinlik oranları ile elde edilen sıcaklıkların tayf ile elde edilen sıcaklıklar ile karşılaştırılması. Kesikli çizgi her iki sıcaklığın birbirine eşit olduğu durumu göstermektedir.

<sup>1</sup> X elementi için;  $\log \epsilon (X) = \log (N_X/N_H) + 12$ ,  $N_X$ : X elementinin bolluğu.

Burada sıcaklık parametresi ikinci bir yöntemle de denetlenebilir. Çizgi-derinlik-oranı (Line-Depth-Ratio, LDR) denilen bu yöntemde, esas olarak bilinen iki çizginin derinliklerinin oranından yararlanılarak elde edilen eşitlikler aracılığıyla sıcaklığa ulaşılmaktadır. Bu yöntem, Gray ve Johanson (1991) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra, bu konu üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır (bkz. Biazzo et al., 2007a,b). Bu yöntemde özellikle yıldız parametrelerinden sadece etkin sıcaklığa duyarlı olan çizgi çiftleri seçilmektedir. Sıcaklık belirlenmesinde, fotometrik belirsizlikler, yıldızlararası kızılama ve sönmüleme gibi etkenlerden bağımsız olması bu yöntemin önemli özelliklerindedir (Böcek Topcu et al., 2019).

Görsel bölgede birden fazla bağımsız çalışma bulunsa da, kızılöte bölgedeki en değerli çalışma son dönemde yapılmıştır. Fukue et al. (2015) tarafından yapılan bu çalışmada,  $H$  bandında 18 adet soğurma çizgisi belirlenerek, 9 adet çizgi çifti elde edilmiştir. Sadece model atmosfer çözümlerinden elde ettiğimiz sıcaklık değerlerinin bağımsız bir kaynak ile de denetlenmesi için bu çizgi çiftleri kullanılarak LDR etkin sıcaklık ( $T_{\text{eff, LDR}}$ ) değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.1'de elde edilen tayfsal sıcaklıklar ve LDR sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere, genel anlamda oldukça uyumludur. Buradaki farklılıklar, yüksek sıcaklıklara doğru gidildikçe LDR yönteminin duyarlılığının azalmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, LDR çiftlerinin elde edildiği model atmosfer parametrelerindeki sıcaklığın 5500 K olduğu durumda, bazı çizgi çiftlerinde sıcaklıklar arasındaki fark 800 K değerine çıkmıştır. LDR ve tayfsal sıcaklıklar arasındaki farkların ortalaması ise 119 K'dir ve sıcaklık için öngörülen hata sınırları ( $\pm 150$  K) içindedir.

## 6. KİNEMATİK

### 6.1 Dikine Hız

Doppler yasası, hareket eden cisimlerden yayınlanan dalgaların (ses dalgası, elektromanyetik dalga gibi), cismin hareket yönüne ve hızına bağlı olarak referans dalgaboyuna göre olan kayma miktarının belirlenmesini sağlayan fiziksel bir eşitliktir. Işığın dalga doğası nedeniyle bu özellik astrofiziksel cisimlerden alınan ışık için de geçerlidir. Doppler yasası Eşitlik (6.1)'deki gibi verilir. Burada,  $\lambda_0$  referans dalgaboyudur, " $\Delta\lambda$ " gözlenen dalgaboyu ile referans dalgaboyu arasındaki fark, diğer bir deyişle Doppler kaymasının dalgaboyu miktarıdır. Eşitliğin sağ tarafındaki " $V_r$ " ifadesi, gözlenen cismin hızının radyal yöndeki bileşeni olup dikine hız (radyal hız) olarak adlandırılmaktadır. "c" harfi ise evrensel bir sabit olan ışık hızının boşluktaki değerine eşittir. Doppler yasasında, gözlenen dalgaboyu referans dalgaboyundan daha uzun olduğu durumda " $\Delta\lambda$ " ve dikine hız değeri pozitif olur ve bu durum kırmızıya kayma olarak adlandırılır. Gözlenen dalgaboyunun daha kısa olması durumunda değerler negatif olur ve bu durum maviye kayma olarak adlandırılır. Maviye kayma gözlenen cismin gözlemciye doğru yaklaşması, kırmızıya kayma ise gözlemciden uzaklaşması anlamına gelmektedir.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{(\lambda_{\text{gözlenen}} - \lambda_0)}{\lambda_0} = \frac{V_r}{c} \quad (6.1)$$

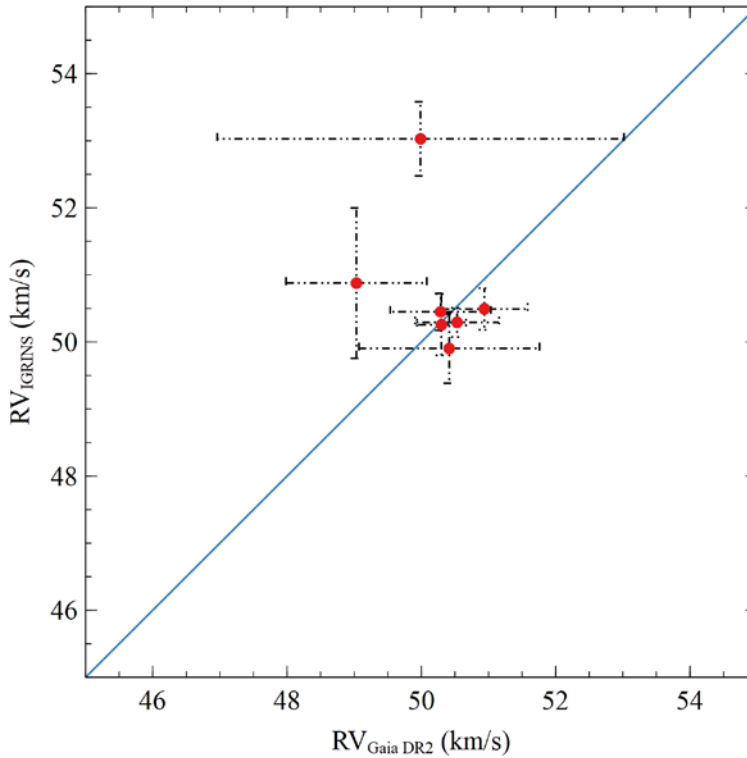
Tayf verileri kullanılarak dikine hız değerinin belirlenmesi astrofiziksel çalışmalarda büyük bir öneme sahiptir. Özellikle, küme çalışmalarında küme üyelerinin benzer dikine hız değerlerine sahip olması beklendiğinden daha da önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada da dikine hız değerlerinin yüksek duyarlıkta belirlenmesi incelenen yıldızların küme üyesi olma durumlarının değerlendirilebilmesi için önemlidir. Bu amaçla aynı alet ile gözlenen ve dikine hız değeri oldukça iyi belirlenmiş bir yıldız standart yıldız olarak kullanılarak, dikine hız çalışmaları yapılmıştır. Standart olarak kullanılan yıldızlar IGRINS ile gözlenmiş olan Arcturus ve HIP 54048 yıldızlarıdır. Her iki standart ile yapılan ölçümler oldukça uyumlu çıkmıştır. Bu nedenle Arcturus yıldızının standart olarak kullanıldığı durumda belirlenen dikine hız değerleri yeterli olmuştur. Arcturus, Lee (2004) tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde küresel küme üyelerinin dikine hızlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Elde edilen değerler, Tablo 6.1'de görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında incelenen küme üyesi

yıldızların literatür bilgisi sadece GAIA uydusunun ikincil veri paylaşımından (DR2) gelmektedir. GAIA DR2'den alınan dikine hız değerleri de Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Trumpler 5 kümesinde gözlenen yıldızların dikine hızları.

Yıldız İsmi	Gaia DR2 (km/s)	Hata (km/s)	Bu çalışma (km/s)		Standart Sapma (km/s)	
			H	K	H	K
J06363185	49.033	1.047	50.850	50.904	0.942	1.299
J06361880	50.938	0.644	50.474	50.509	0.290	0.330
J06362606	50.287	0.750	50.527	50.371	0.309	0.246
J06365277	50.300	0.364	50.227	50.286	0.672	0.242
J06364731	50.415	1.343	49.791	50.013	0.250	0.784
J06361925	50.532	0.624	50.220	50.362	0.207	0.227
J06363256	49.988	3.027	53.195	52.862	0.417	0.685

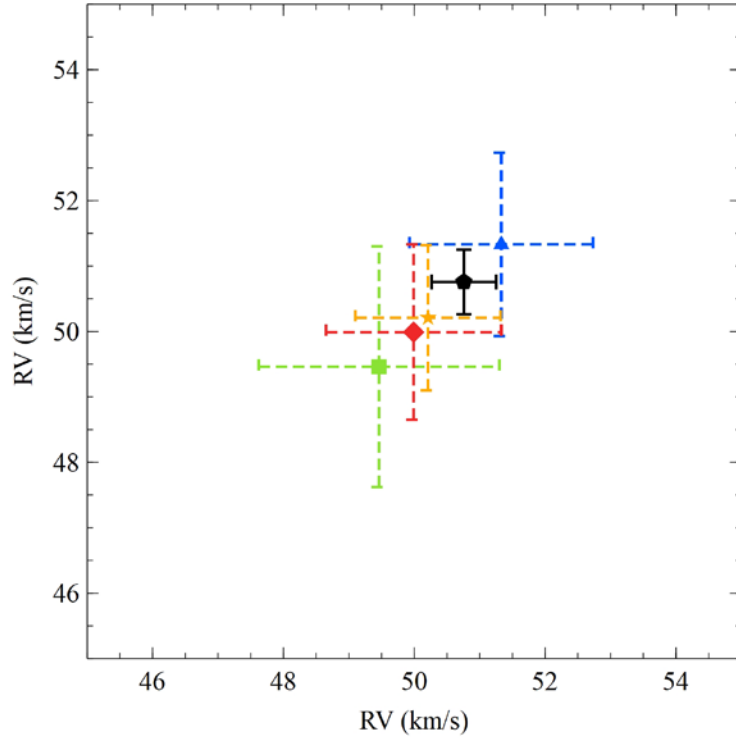
Tablo 6.1'deki verilerin grafiksel gösterimi Şekil 6.1'de görülmektedir. Bu şekildeki, mavi doğru hızların birbirine eşit olduğu durumu gösterirken, yatay eksen Gaia DR2'de yıldızlar için verilen hız değerlerini, dikey eksen ise IGRINS tayflarından ölçtüğümüz dikine hız değerlerini vermektedir. Her iki gözlemdeki hatalar da standart sapma olarak verilmektedir. Genel olarak tüm ölçümler birbirleriyle uyum içindedir.



Şekil 6.1 Tr5 kümesi yıldızları için gözlenen dikine hız değerinin, GAIA değerleri ile karşılaştırılması.



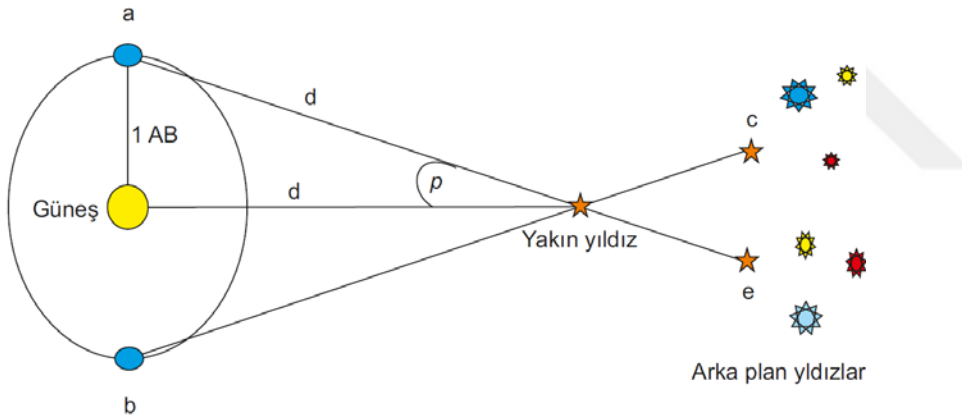
Şekil 6.2 küme yıldızları için bulunan dikine hızlardan elde edilen ortalama küme hızını göstermektedir. Grafikteki değerler, Carrera et al. (2019, ve içindeki referanslar) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Buradaki yeşil nokta (kare), Carrera et al. (2019)'nın 8 üye yıldızdan elde ettiği dikine hızların ortalamasıdır. Kırmızı renkli nokta (elmas) ise üç adet yıldızdan Carrera et al. (2019) tarafından literatürden alınan dikine hızların ortalamasıdır. Mavi renkli nokta (üçgen) ile gösterilen ise 18 üye yıldız için Soubiran et al. (2018)'in çalışmasından elde edilen ortalama dikine hız değeridir. Turuncu nokta (yıldız) çalışmamızda yer alan 7 yıldız için Gaia DR2 dikine hızlarının ortalama değeridir. Siyah nokta (beşgen) ise çalışmamız kapsamında hesaplanan dikine hızların ortalama değeridir ve tüm hatalar standart sapma olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere, bu çalışmada bulunan 50.76 km/s ( $\sigma = 0.49$  km/s) değeri, diğer hız değerleriyle oldukça uyumlu ve düşük standart sapma değeriyle kendi içerisinde oldukça tutarlıdır.



Şekil 6.2 Tr5 kümesi için hesaplanan dikine hız değerleri ile literatür değerlerinin karşılaştırılması.

## 6.2 Uzaklık

Astrofiziğin en temel niceliklerinden biri olan uzaklık aynı zamanda doğrudan ölçümü oldukça zor bir parametredir. Açık yıldız kümelerinde uzaklığın belirlenmesi; gökada diskinin kinematiği, gökada diskinin yarıçapa bağlı olarak kimyasal bolluk dağılımının duyarlı bir şekilde belirlenmesi gibi diğer çalışma alanları açısından da oldukça önemlidir. Trumpler 5 kümesi, etrafını saran toz bulutu nedeniyle uzaklığı oldukça zor belirlenen bir açık yıldız kümesidir. Tablo 2.1’de özetlenen önceki çalışmalara bakıldığında uzaklığın oldukça geniş bir aralıkta dağıldığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamındaki yıldızların birer birer uzaklıklarının belirlenmesi için Gaia DR2 veri setindeki ıraksınım değerleri kullanılmış ve trigonometrik uzaklıkları hesaplanmıştır (Tablo 6.2).



Şekil 6.3 Trigonometrik ıraksınım yöntemi ile uzaklık belirleme.

Bu yöntem, çok basit geometrik özelliklere dayanmaktadır ve Şekil 6.3’de basit bir gösterimi bulunmaktadır. “a” ve “b” konumları, Yer’in Güneş yörüngesinde sırasıyla 6 ay aralıklarla olan konumlarını göstermektedir. “c” ve “e” noktaları ise sırasıyla arka plan yıldızlarına göre hedef yıldızın görüldüğü konumları göstermektedir. Buradaki “p”, ıraksınım açısı olup çok küçük değerlere sahiptir. Yer-yıldız ve Güneş-yıldız arasındaki uzaklık eşit olup, “d” harfi ile gösterilmiştir. “d” parametresinin hesabı Eşitlik (6.2) ile verilmiştir. Ancak özellikle Tr5 kümesi gibi uzak cisimlerde ( $d \geq 300\text{pc}$ ) bu yöntemin güvenilirliği azalmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalardan en önemlisi Bailer-Jones et al.

2018 tarafından yapılan çalışmasıdır. Bu çalışmada, yeni geliştirilen bir algoritma kullanılarak 1.33 milyar yıldız için uzaklıklar hesaplanmıştır.

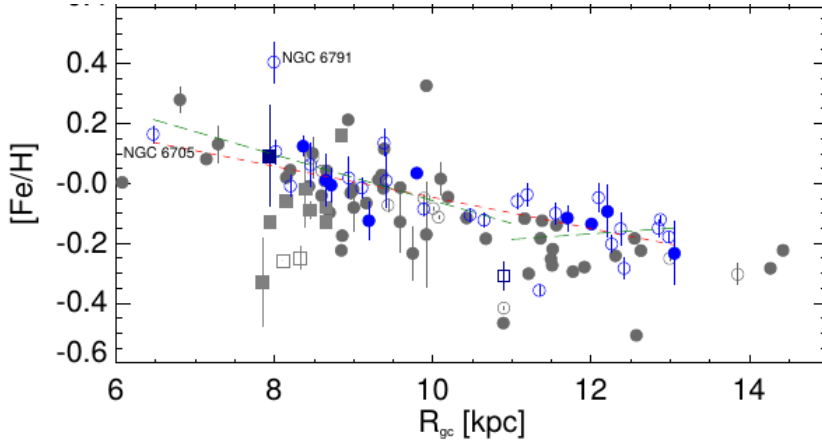
$$d (pc) = \frac{1}{p \text{ (arcsec)}} \quad (6.2)$$

Bu uzaklıklar incelendiğinde, çalışmamızdaki tüm yıldızlar küme için verilen ortalama uzaklık değerleri içinde kalmaktadır. Küme için en güncel uzaklık değerini veren Cantat-Gaudin et al. (2018) tarafından verilen değerler de bu değerler ile uyumludur. Çalışmamızda yer alan yıldızlar için bulduğumuz değerlerin ortalaması küme için bulunan Gaia DR2 değerleri ile birlikte Tablo 6.2’de verilmektedir.

Tablo 6.2 Trumpler 5 küme üyesi yıldızlar için hesaplanan uzaklıklar.

Yıldız İsmi	Gaia DR2 uzaklık (pc)			Bailer-Jones uzaklık (pc)		
	Alt sınır	Uzaklık	Üst sınır	Alt sınır	Uzaklık	Üst sınır
J06363185	2355	2674	3092	2192	2479	2849
J06361880	2826	3231	3773	2584	2934	3386
J06362606	2924	3186	3500	2909	2686	3172
J06365277	3194	3493	3853	2908	3157	3452
J06364731	2843	3319	3987	2585	2994	3545
J06361925	3035	3471	4051	2755	3123	3598
J06363256	2833	3167	3589	2601	2888	3242

Sonuç olarak, küme için bulunan uzaklık değeri ~3 kpc ve kümenin Gökada merkezinden olan uzaklığı ~11 kpc’dir. Gökadamızın bu bölgesi disk kimyasal bolluğunda bir değişim olduğuna yönelik izler taşıması bakımından birçok çalışmada incelenen bir bölgedir ve literatürde açık bir tartışma konusudur (bkz. Carrera et al. 2019; Friel et al. 2002; Carrera and Pancino 2011). Dolayısıyla, Tr5 kümesi Gökadamızdaki konumu nedeniyle, özellikle detaylı kimyasal bolluk analizlerinin gerekliliği konusunda önemli bir yere sahiptir. Şekil 6.4’de bazı kümelerin ve Trumpler 5’in gökada diski üzerindeki konumu verilmiştir. Burada 11 kpc değeri tam olarak kümeleri iki farklı gruba ayıran uzaklık gibi görünmektedir (Carrera et al., 2019). Kümelerdeki farklı davranışların anlaşılması ancak yüksek duyarlıkta yapılacak kimyasal bolluk analizleri ile mümkündür. Bu nedenle, literatürde yeterli çalışması bulunmayan Tr5 kümesi için kızılöte bölgede yüksek çözünürlükte elde ettiğimiz tayfların bolluk analizleri çok büyük önem taşımaktadır.



Şekil 6.4: Gökada diski boyunca, metal bolluğunun değişimi (Carrera et al., 2019). Tr5 kümesi yaklaşık 11 kpc uzaklığında görülen koyu mavi kare ile gösterilmiştir.

### 6.3 Küme Üyesi Olma Olasılıkları”

Yıldız kümeleri, kuramsal olarak aynı yıldızlararası gaz ve toz bulutundan aynı zamanda oluşan yıldız gruplarıdır. Fizikte, iyi bilinen n-cisim probleminin çok iyi bir laboratuvarı olan yıldız kümeleri, aynı zamanda birçok parametrenin aynı olarak kabul edilebilmesinden dolayı astrofizikte de çok iyi bir araçtır. Yıldızlara ilişkin bilgilere ulaşırken –özellikle fotometrik olarak- oldukça kullanışlıdır. Çok fazla bilinmeyen olan astrofiziksel gözlemlerde küme içerisinde yaş, uzaklık, kızılşama gibi parametrelerin aynı olması bu yıldızların hepsinin en az etkiyle aynı bakış açısı içerisinde değerlendirilmesine izin verir. Yıldız kümelerinin, modellenmesi ise başlı başına oldukça önemli bir alandır. Matthew R. Bate’in çalışma grubu bu alanda önemli çalışmalar yapmaktadır. Hazırladıkları internet sayfası (Bate, 2019) ise bu modellemelerin simülasyonlarına ulaşımı mümkün kılmaktadır.

Aynı ortamda oluşan bu yapılar özellikle evrimin etkilerini çok iyi görmemize olanak sağlar. Çalışılan yıldızların ön plan ya da arka plan yıldızlarından ayırt edilerek küme üyesi olduklarını anlamak oldukça önemlidir. Yıldızların küme üyesi olma olasılıklarının tespitindeki en önemli yöntem, kinematik çalışmalardır. Kinematik çalışmalar ile yıldızın gökyüzündeki görelî hareketi incelenerek, hedef küme ile arasındaki ilişki araştırılır.

Cantat-Gaudin et al. (2018)’in çalışmasında açık yıldız kümeleri üzerine Gaia DR2 verileri kullanılmış ve oldukça önemli sonuçlar bulunmuştur. Aynı çalışmada 1229 kümenin parametreleri güncellenmiş ve üye olasılıkları verilmiştir. Bunun yanı sıra, 60 tane de yeni açık yıldız kümesi keşfi literatüre kazandırılmıştır.

Trumpler 5 kümesi de aynı çalışmada yer almıştır. Bu çalışmanın konusu olan yıldızlara ilişkin elde edilen, küme üyesi olma olasılıkları Tablo 6.3'te verilmektedir. Bu olasılıklar, 0 ile 1 arasında değerler almaktadır ve 1 maksimum olasılığı (%100) belirtmektedir. Açıkça görüldüğü üzere, J06363185 ve J06361925 yıldızları için küme üyesi olma olasılığı %90, diğer yıldızlar için ise %100'dür. Sonuç olarak incelediğimiz tüm yıldızların küme üyesi oldukları söylenebilir.

Tablo 6.3 Gözlenen yıldızların küme üyesi olma olasılıkları.

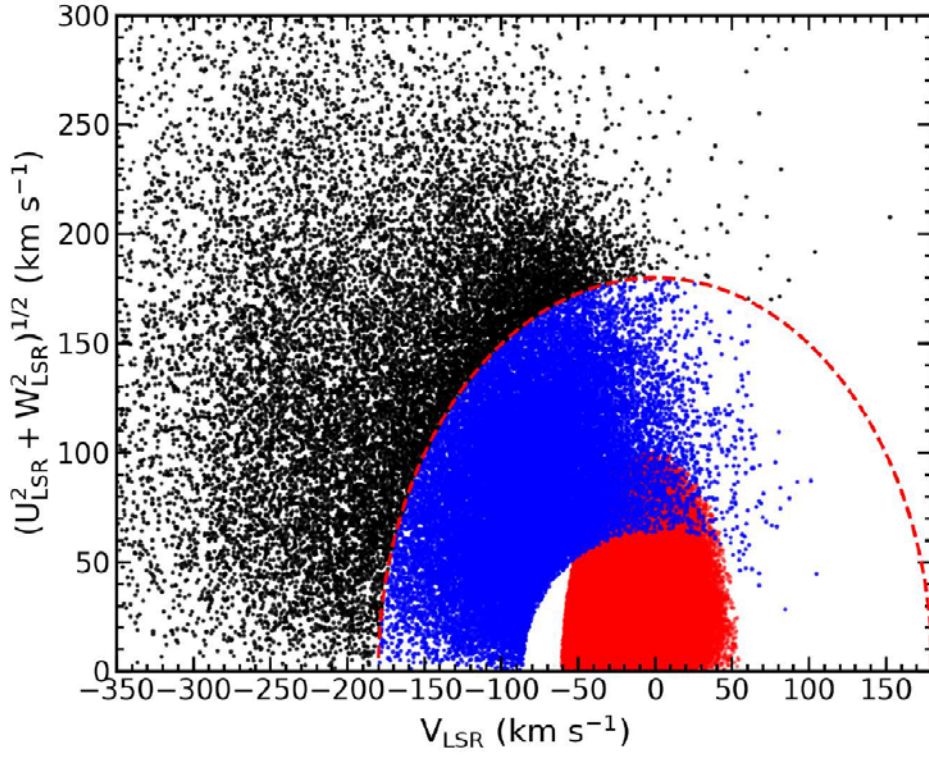
Yıldız İsmi	Küme Üyesi Olma Olasılıkları
J06363185	0.9
J06361880	1.0
J06362606	1.0
J06365277	1.0
J06364731	1.0
J06361925	0.9
J06363256	1.0

## 6.4 Gökada Konumu

Gökadamız üç ana bölgeden oluşmaktadır; Şişim, halo ve disk. Açık yıldız kümeleri daha önce de belirtildiği üzere disk üzerinde yer almaktadır. Gökada diski, ince ve kalın disk olmak üzere iki bölümde incelenir. İnce disk, birkaç yüz parseklik yüksekliğe sahiptir (Carraro, 2013). Gökada hızları incelendiğinde ise ince ve kalın disk yıldızları arasındaki fark ortaya çıkmaktadır. Tr5 kümesi, ince disk üzerinde yer alan bir kümedir (Soubiran et al., 2018).

Toomre diyagramı, Gökadamızdaki hız dağılımını veren bir diyagramdır. En kapsamlı olarak Yan et al. (2019) tarafından verilen Toomre diyagramı Şekil 6.5'de görülmektedir. Diyagram üzerindeki siyah noktalar halo yıldızlarını, mavi noktalar kalın disk yıldızlarını ve kırmızı noktalar ise ince disk yıldızlarını göstermektedir. Kırmızı kesikli çizgi ise  $v_{tot} = \sqrt{U_{LSR}^2 + V_{LSR}^2 + W_{LSR}^2} = 180 \text{ km s}^{-1}$  değerine karşılık gelen bölgedir. Burada  $U_{LSR}$ ,  $V_{LSR}$  ve  $W_{LSR}$ , sırasıyla Gökadanın merkezi, Gökadanın dönme ve kuzey kutbu doğrultularındaki uzay hızı bileşenleridir. Soubiran et al. (2018)'in çalışmasında Trumpler 5 kümesi için verilen (U,V,W) hızları sırasıyla -50.42, -12.78, -5.12  $\text{km s}^{-1}$  dir. Grafik ile karşılaştırabilmek için düşey eksenindeki değer hesaplandığında,  $\sqrt{U_{LSR}^2 + W_{LSR}^2} = 50.68 \text{ km s}^{-1}$  olarak bulunmaktadır. Bu değer karşılık geldiği bölgeye

bakıldığında Tr5 kümesinin ince disk yıldızlarını içeren bölgede bulunduğu görülmektedir.



Şekil 6.5 Toomre Diyagramı (Yan et al., 2019).

## 7. KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ

### 7.1 Çizgi Listesi

Kimyasal bolluk analizi yapılacak olan elementler için bir çizgi listesinin oluşturulması gereklidir. Bir çizginin modelini belirleyen en temel parametreler uyarılma potansiyeli (E.P.) ve osilatör şiddetleridir ( $\log gf$ ). Ancak bunların yanı sıra sönümlenme katsayısı denilen ve çizgilerdeki kanat genişlemelerini belirleyen katsayının da belirlenmesi gerekmektedir. Bu da modeli belirleyen parametrelerden biridir. Bu nedenle çizgi listesinde bu parametrelerin hepsi dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada Afşar et al. (2018b) tarafından verilen çizgi listesi kullanılmıştır. Bu çizgi listesinde yer alan CN ve OH moleküllerine ilişkin çizgiler sırasıyla Sneden et al. (2014) ve Brooke et al. (2014) çalışmalarından alınmıştır. Genişlemiş atomik çizgiler için kullanılan ve Paul Barklem (Barklem, özel iletişim) tarafından hesaplanan sönümlenme katsayıları analizlerin daha sağlıklı yapılmasına olanak sağlamıştır. Yeni sönümlenme katsayıları Chris Sneden tarafından MOOG programının içine dahil edilerek güncel bir sürüm elde edilmiştir.

Bu çalışmada, temel olarak kullanılan çizgi listesi; 27 adet nötr demir (Fe I), 10 tane nötr titanyum (Ti I), 1 tane iyonlaşmış titanyum (Ti II), 11 tane nötr magnezyum (Mg I), 12 tane nötr silisyum (Si I), 10 tane nötr sülfür (S I) ve 11 tane nötr kalsiyum (Ca I) element çizgisini içermektedir. Yıldızdan yıldıza kullanılabilen çizgi sayısı değişmektedir. Moleküler yapılar için ise H bandında bulunan OH ve CN çizgileri ile K bandında bulunan CO çizgileri kullanılmıştır. Moleküler çizgiler bant şeklinde olduğu için bu bantların içerisindeki en kullanışlı ve uygun bölgeler test edilip kullanılmıştır.

### 7.2 Kimyasal Bolluk Değerlerinin Gösterimi

Oluşturulan bu çizgi listesi ile hesaplanan kimyasal bolluklar, logaritmik olarak bulunan değerlerdir ve  $\log \epsilon$  olarak bilinir. Fakat astrofizikte yaygın gösterim, demir bolluğunun hidrojen bolluğuna oranı şeklindedir ve  $[Fe/H]$  ile gösterilir. Yıldızlarda  $[Fe/H]$  oranı Güneş metal bolluğu ( $[Fe/H]_{\odot}=0.0$ ) ile karşılaştırılarak hesaplanır (Eşitlik 7.1). Güneş metal bolluğundan daha küçük değerler metalce fakir daha büyük değerler ise metalce zengin olarak adlandırılır.

Bu çalışmada güneş bollukları için Asplund et al. (2009)'un çalışmasında verilen değerler kullanılmıştır. Öte yandan demir dışındaki elementlerin bolluğu verilirken, hidrojen yerine demire oran alınmaktadır. Bu gösterim de Eşitlik (7.2)'de görülmektedir.

$$[Fe/H] = \log(Fe/H)_* - \log(Fe/H)_\odot \quad (7.1)$$

$$[X/Fe] = \log(X/H)_* - \log(Fe/H)_* \quad (7.2)$$

### 7.3 Demir Grubu Element Bolluklarının Belirlenmesi

Yıldızlarda metal bolluğunu belirten standart element demir elementidir. Daha önce de belirtildiği gibi dev yıldızlarda kızılöte bölgede bolluk analizi için uygun iyonlaşmış demir (Fe II) çizgisi bulunmadığı için Fe II bollukları hesaplanamamıştır. Fe I çizgileri için güncel laboratuvar çalışmalarının eksikliğinden dolayı, Afşar et al. (2018b) çalışmasında, ters-Güneş analizi ile belirlenen değerler, Paul Barklem'in (özel iletişim) belirlediği sönmleme katsayıları ile beraber kullanılarak Fe I bollukları hesaplanmıştır. İncelenen 7 yıldız için ortalama demir bolluğu,  $\langle [Fe/H] \rangle = -0.38$  ( $\sigma = 0.06$ ) olarak bulunmuştur. Bu değer, Tr5 kümesi için literatürde bulunan diğer değerler ile de uyumludur. Tablo 5.1'de görüldüğü üzere, J06361880 ve J06363256 yıldızları görel olarak diğer yıldızlardan metalce daha fakir görünmektedir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan diğer bir demir grubu elementi ise titanyum olmuştur. Titanyum yapı olarak alfa elementleri arasında olsa da gerçek  $\alpha$  elementleri, doğal olarak oluşan izotopları  $^4He$  çekirdeklerinin katlarından oluşanlardır; bunlar Mg, Si, S ve Ca gibi gözlenebilir elementleri içerir. Ti bolluğu büyük bir oranda  $^{48}Ti$  (güneş sisteminde % 73) içerir ve  $\alpha$  formu olan  $^{44}Ti$  kısa ömürlüdür.  $[Ti/Fe]$  oranı, metal bolluğuna göre gerçek  $\alpha$  elementleri ile genel olarak aynı eğilimi gösterdiğinden, genellikle bu element grubu içinde adı geçer. Titanyum elementine ilişkin bolluklar ise hem Ti I hem de Ti II için ölçülebilmektedir. Ti II için kızılöte bölgede kullanılan tek çizgi daha önce de söz edilen 15873 Å dalga boyundaki çizgidir. Tek çizgi olması nedeniyle, oldukça önemli olan bu çizgi üzerinde dikkatle çalışılmıştır. Ti I ile Ti II bollukları arasında tüm yıldızlarda bir uyum söz konusudur. Tek aykırı görünen yıldız, J06361880 yıldızıdır. Buradaki fark ise 0.17 dex kadardır. Ti I ve Ti II bollukları arasındaki farklar 0.1 dex kadar olabilmektedir. Küme üyesi J06361880 için bu farkın fazla çıkmasının nedeni araştırılmış ve diğerleri arasında en düşük sıcaklığa



sahip olan bu yıldızın evrimsel durumundaki olası farklılığın buna neden olabileceği önerilmiştir.

#### 7.4 Karbon, Azot ve Oksijen Bolluklarının Belirlenmesi

Evren’de gözlenen element bolluklarının oranlarında, hidrojen ve helyumdan sonra gelen karbon (C), azot (N) ve oksijen (O) elementleri oldukça önemlidir (Salaris ve Cassisi, 2005; Williams ve Viti, 2013). Yıldız evrimi süresince, gerek CNO çevrimlerinde ara ürün, gerekse nükleosentez işlemlerinde ana ürün olarak bu elementlerin bolluğu değişim göstermektedir. Bu değişim, yıldızın evrim durumu, yıldızın kaçınıcı jenerasyondan bir yıldız olduğu gibi önemli bilgilere yönelik izler taşımaktadır.

Karbon, azot ve oksijen bolluklarının belirlenmesinde moleküler çizgiler kullanılmıştır. C, N ve O elementlerinin bollukları oluşturdukları moleküler yapılar nedeniyle birbirlerine bağlıdır. Bu nedenle bu üç elementin bollukları belirlenirken tekrarlamalı yöntemler ile sırasıyla oksijen, karbon ve azot bollukları hesaplanmıştır. Karbon bolluklarının belirlenmesinin ardından bir sonraki bölümde anlatıldığı şekilde  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranları belirlenmiştir. Kullanılan moleküller, karbon monoksit (CO), hidroksil (OH) ve siyanür (CN) molekülleridir. Öncelikle OH molekülü kullanılarak oksijen elementinin bolluğu belirlenir. Oksijen bolluğu belirlenince bu bolluğa bağlı olarak karbon bolluğu hesaplanır. Bu hesaplama için ise CO molekülü kullanılmıştır. Ardından karbon bolluğundan emin olununca  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranları belirlenir ve CN molekülleri kullanılarak azot bolluğu hesaplanır. Burada, C, N ve O bollukları birbirine bağlı olarak bulunduğundan tekrarlamalı yöntem ile bulunan bolluklar iyileştirilmiştir.

*H* bandındaki OH molekülüne ilişkin çizgiler, aynı zamanda karbon ve azot içeren bileşiklere ait çizgiler ile karışma (blend) olasılığını da içerir. OH çizgileri sıcak yıldızlara doğru ilerledikçe zayıflar ve belirlenmesi zorlaşır. Bu nedenlerden dolayı, C ve N bolluklarının etkileri sentetik tayflar üzerinden denetlenmiştir ve etkilenmeyen, uygun OH çizgileri belirlenmiştir. Bu çizgiler, 15600 ile 16915 Å arasındaki geniş bölgede bulunmaktadır. Daha sonra, belirlenen uygun çizgiler kullanılarak O bollukları bulunmuştur. Bu süreçte C ve N bolluklarının başlangıç değerleri olarak ise Güneş bolluk değerleri kullanılmıştır.

Bulunan oksijen bollukları ve Güneş azot bolluğu kullanılarak, karbon bolluğu için tekrarlamalı analizleri yapılmıştır. Karbon bollukları, *K* bandındaki

23260 ve 23770 Å dalgaboyu aralığındaki CO bantları kullanılarak bulunmuştur. Karbon bollukları belirlendikten sonra izotop oranları belirlenmiştir. Sonraki bölümde izotop oranlarından bahsedilecektir (bkz. Bölüm 7.6). Bu adımın sonunda, karbon ve oksijen bollukları belirlenmiştir.

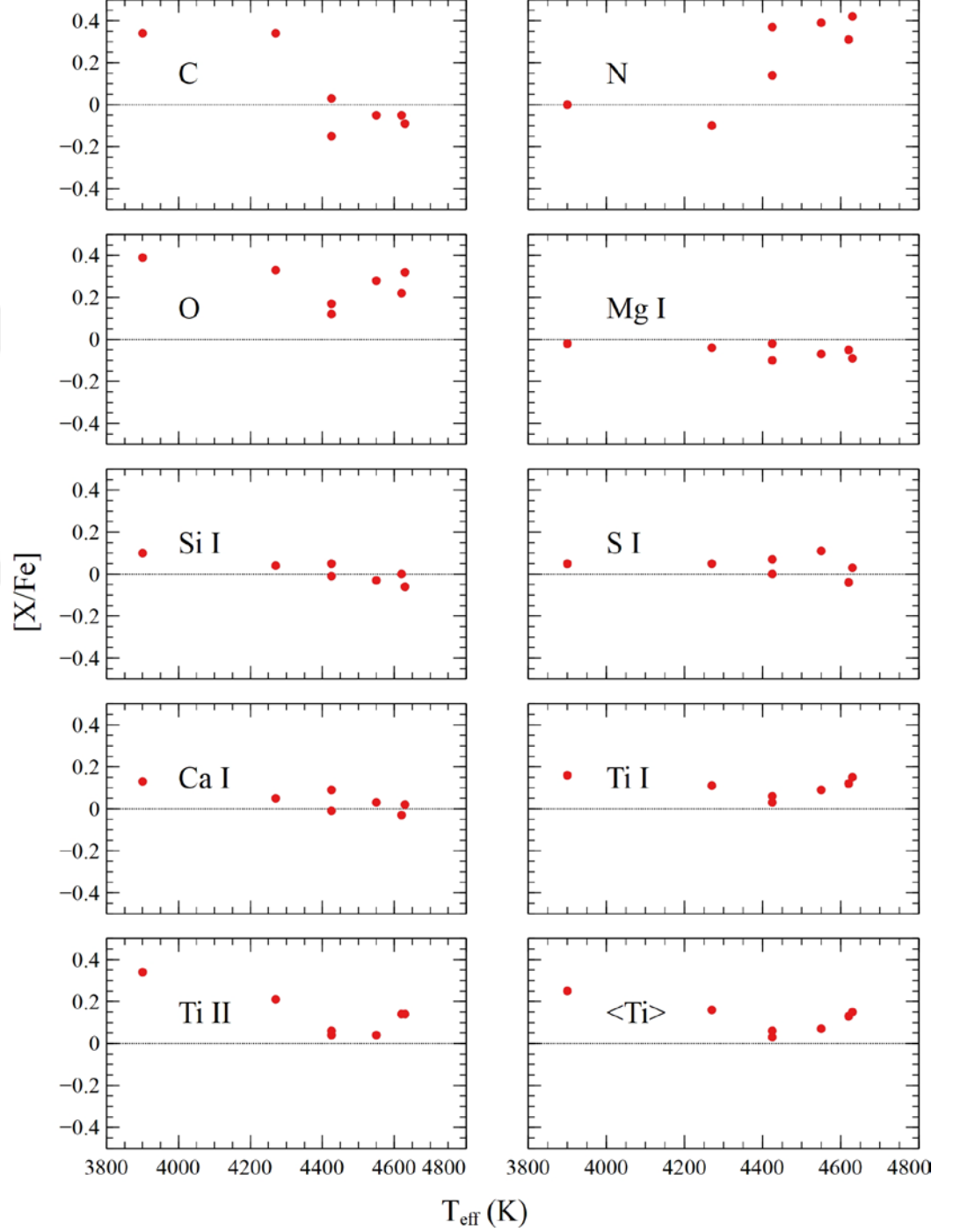
Son adım olarak, belirlenen oksijen ve karbon bollukları kullanılarak azot bolluğu aranmıştır. Azot bolluğu için *H* bandında bulunan CN bölgeleri kullanılmıştır. 15000 Å dalgaboyundan başlayarak yaklaşık 500 Å büyüklüğünde bir bölge küçük bölgelere ayrılarak incelenmiştir. Sonuç olarak, azot bollukları belirlenerek tekrarlama analizinin ilk adımı tamamlanmıştır. Bu ilk analiz sonucunda elde edilen C, N ve O bollukları kullanılarak tekrarlama analizleri yinelenmiş ve bir önceki bolluk ile son belirlenen arasında fark kalmayınca kadar analizlere devam edilerek gerçek C, N ve O bolluklarına ulaşılmıştır.

Bu çalışmada belirlenen CNO bollukları, Şekil 7.1’de görülmektedir. Burada, özellikle J06361880 ve J06361925 yıldızı karbon ve azot bolluklarında diğer yıldızlardan farklı bir görünümde. Bu da bu iki yıldızın evrimsel olarak daha farklı bir konumda olabileceği düşüncesini ortaya atmaktadır.

## 7.5 Alfa-Elementlerinin Bolluklarının Belirlenmesi

Helyum çekirdeği (alfa parçacığı) içeren nükleer tepkimeler sonucunda üretilen elementlere alfa ( $\alpha$ ) elementleri denir. Bu anlamıyla bakıldığında, magnezyum (Mg), silisyum (Si), kalsiyum (Ca) ve sülfür (S) ilk akla gelen ve alfa elementi olarak analizleri oldukça önemli olan elementlerdir. Bu nükleer tepkimeler, esas olarak büyük kütleli yıldızların evriminde gerçekleşir ve bu yıldızların evriminin sonunda gerçekleşen Tip II Süpernova patlamaları ile yıldızlararası ortama atılır. Bunun yanı sıra daha az miktarda da olsa Tip I Süpernova patlamaları sırasında da alfa elementleri üretilir. Bu anlamda, evrenin farklı bölgelerinde gerçekleşen Süpernova patlamalarının etkilediği bölgelerin özellikleri ve alfa elementlerinin bolluğunun toplam metal bolluğuna oranı, yıldız popülasyonlarının geçmişine ilişkin bilgi elde edilmesi için oldukça kullanışlıdır (Caffau et al. 2014).

Alfa elementlerinin demir bolluğuna oranı yıldız oluşum hızları için dolaylı bir kaynak olarak gösterilebilir (Matteucci 2012). Bunu yapabilmek için ise farklı kimyasal bolluklara sahip yıldızların bu oranları belirlenmelidir. Yıldız kümelerinde bu çalışmalar özellikle, gökada kimyasal evrimi ve Süpernova çalışmaları için oldukça önemlidir.



Şekil 7.1 Tr5 kümesinden seçilen yıldızların element bollukları. Kesikli çizgiler güneş bolluklarını temsil etmektedir,  $[X/Fe]_{\odot}=0$ .

Bu çalışma kapsamında, Trumpler 5 kümesi içerisinde seçilen yıldızların  $\alpha$  elementlerinin bollukları da belirlenmiştir. Çizgi listemizde bulunan magnezyum, silisyum, kalsiyum ve sülfür analizleri yapılan alfa elementleridir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 7.1’de görülmektedir. Bu elementler içerisinde özellikle sülfür üzerine gerçekleştirilen analizler oldukça önemlidir. Sülfür, oldukça uçucu bir alfa elementidir (Caffau et al. 2014). Dolayısıyla, hem tespit edilmesi hem de analizinin yapılması oldukça zor bir elementtir. J06363185 ve J06362606 yıldızları için çizgi listemizde bulunan 10 adet sülfür çizgisinden yalnızca H bandında bulunan bir çizgiden ( $\sim 15404 \text{ \AA}$ ) bolluk elde edilebilmiştir. Bu iki yıldızın, atmosfer modelleri ve evrimsel durumları birbirine çok benzemektedir. Bu ortak özellikleri nedeniyle çok daha detaylı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Tr 5 kümesi için 7 yıldızdan elde edilen S bolluğunun ortalaması  $\langle [S/Fe] \rangle = 0.04 \text{ dex}$  olarak bulunmuştur.

Çizgi listesinde bulunan 11 Si ve 10 Ca çizgisinin hemen hemen tamamı kullanılarak bolluk hesaplamaları yapılabilmektedir. Bu iki elemente ilişkin çizgiler oldukça kuvvetli çizgilerdir. Başkaca tayfsal özelliklerle karışık oldukları durumlar dışında tamamı kullanılabilir. Ortalama Ca bolluğu, S bolluğuna benzer şekilde  $\langle [Ca/Fe] \rangle = 0.04 \text{ dex}$  bulunmuştur. Si bolluğu da Güneş bolluğuna yakın olarak hesaplanmıştır.

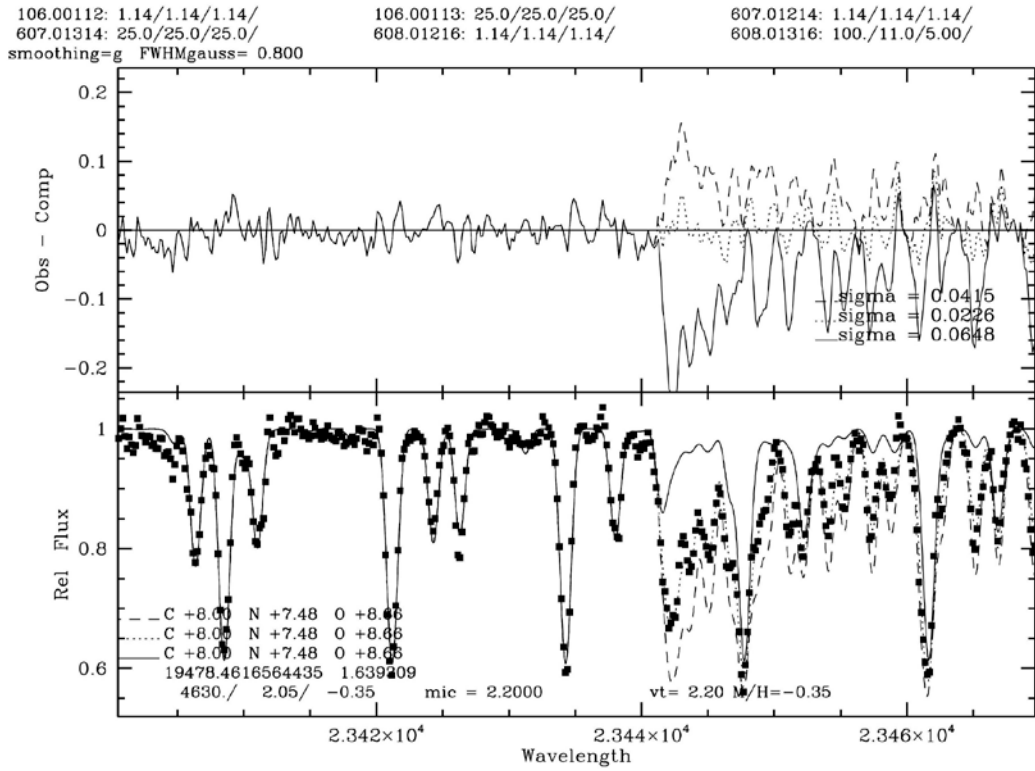
Mg bolluğu 11 tane Mg I çizgisinden belirlenmiştir. Bu çizgilerden bazıları, karışık yapıları nedeniyle kullanılamasa da genel anlamda Mg bollukları duyarlı bir şekilde hesaplanabilmiştir. Trumpler 5 kümesi için ortalama Mg bolluğu,  $\langle [Mg/Fe] \rangle = -0.05 \text{ dex}$  olarak bulunmuştur. Diğer  $\alpha$  elementlerine göre Mg daha düşük bir bolluk değeri verse de genel olarak Güneş bolluğu dolayında kabul edilebilir. Bu çalışmada, Tr5 kümesi için dört  $\alpha$  elementinin ortalaması alınarak küme ortalaması,  $\langle [\alpha/Fe] \rangle = 0.01 \text{ dex}$  olarak hesaplanmıştır.

## 7.6 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ İzotop Oranlarının Belirlenmesi

Karbon atomu, çekirdeğinde 6 proton ve 6 nötron içeren ve dolayısıyla atom numarası 6, kütle numarası 12 olan bir atomdur. Karbon atomu, diğer atomlarla en fazla bağ yapabilen atomlardan biridir. Dolayısıyla, Güneş sistemi içerisinde de oldukça fazla gördüğümüz ve organik maddelerin, bir başka deyişle yaşam arayışlarının en önemli elementlerinden biridir. Yıldızlarda ise çekirdekte gerçekleşen termonükleer tepkimelerin bir parçasıdır. C atomu, bu birbiri ardına gelen tepkimelerin içerisinde ara ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Yıldız evrimi

süresince, bazı aşamalarda doğrudan tepkimelerin içerisinde. Tepkimelerin içerisinde yer alması nedeniyle, C bolluklarının hesabı da oldukça önemlidir.

Yıldız evrimi sürecinin en iyi belirteçlerinden biri de bazı elementlerin izotop oranlarıdır. Bunların içerisinde en önemlisi ise C elementinin izotop oranlarıdır. Aynı element yapılarına sahip ve içerdikleri proton sayıları aynı olan, fakat farklı nötron sayıları nedeniyle farklı kütle numaralarına sahip olan atomlara, izotop adı verilir. Karbon atomunun kararlı bir izotopu olan,  $^{13}\text{C}$  izotopu 6 proton ve 7 nötrondan oluşmaktadır.  $^{13}\text{C}$  izotopu, yıldız çekirdeğinde evrim süreci boyunca bir ara ürün olarak üretilmektedir.



Şekil 7.2 J06364731 yıldızının izotop oranlarının belirlendiği bölgenin synth sürücüsü çıktısı.

Yıldızlardan belirlenen  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranları evrim boyunca düşme gösterir. Bunun anlamı,  $^{13}\text{C}$  izotopunun bolluğunun artış göstermesidir. Anakol evrimi boyunca çok büyük değişimler göstermeyen bu oran, devler bölgesinde ciddi bir değişim gösterir. Devler bölgesinde, konvektif zarf ve Helyum elementinden oluşan çekirdeğin zamana bağlı olarak davranışlarında değişim meydana gelir. Konvektif katmanın daha derinlere kadar ulaşması ile birlikte, merkezde anakol süresince Hidrojen yanması ile üretilen Helyum elementleri

yüzeğe taşınır. Yıldız yüzeyindeki Helyum bolluğu, konveksiyon maksimum derinliğe ulaşana kadar artmaya devam eder. Bu süreç astronomide “birinci tırmıklama (first dredge-up)” olarak adlandırılır. Bu süreçte, yüzeydeki He bolluğunun yanı sıra hidrojen yanma sürecinde yer alan  $^3\text{He}$  izotopu ve CNO elementleri de karıştırılır (Salaris ve Cassisi, 2005). Kütlenin, Güneş kütlesinin dört katından büyük olduğu yıldızlarda ikinci ve üçüncü tırmıklama süreçleri de görülmektedir.

Birinci tırmıklama evresinin en önemli sonuçları şu şekildedir:

- Yüzeydeki Azot ( $^{14}\text{N}$ ) izotopunun bolluğu yaklaşık iki katına çıkar,
- Yüzeydeki Karbon ( $^{12}\text{C}$ ) atomunun bolluğu kabaca yüzde 30 kadar azalır,
- Karbon izotoplarının oranı ( $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ) oranı, 20-30 değerlerine azalır,
- Oksijen ( $^{16}\text{O}$ ) izotopunun bolluğunda çok az bir değişim meydana gelir (Salaris ve Cassisi, 2005).

Evrimsel sürece ilişkin taşıdığı bu bilgiler nedeniyle  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranları oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, Trumpler 5 kümesine ilişkin gözlenen yıldızların kızılöte bölgeden  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranları belirlenmiştir.  $^{12}\text{CO}$  ( $\Delta v = 2$ ) izotopuna ilişkin (2-0) ve (3-1) bant başlarına  $^{13}\text{CO}$  bant başları eşlik etmektedir (Böcek Topçu et al., 2019, Afşar et al., 2018b). Sırasıyla bu bölgeler, 23440 ve 23730 Å dalgaboyu bölgelerinde başlamaktadır ve  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranlarını belirlemek için oldukça iyi bölgelerdir. Tablo 7.1’de bu çalışmada belirlenen değerler görülmektedir.

Tablo 7.1 Trumpler 5 kümesinden seçilmiş yıldızların  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  izotop oranı.

Yıldız İsmi	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$
J06363185	20
J06361880	24
J06362606	17
J06365277	23
J06364731	11
J06361925	26
J06363256	14

Şekil 7.2’de ise örnek bir synth sürücüsü çıktısı verilmiştir. İzotop oranları olarak kullanılan 100, 11 ve 5 değerleri, sırasıyla, kesikli, noktalı ve düz çizgilerle temsil edilmiştir. Görüldüğü üzere en iyi temsil  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 11$  değeri için elde edilmiştir (bkz. Şekil 7.2).



## 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kızılâşmış Trumpler 5 açık yıldız kümesinden seçilen yıldızların kızılöte bölgede yüksek çözünürlüklü ( $R \sim 45000$ ) tayfları elde edilerek kimyasal bolluk analizleri gerçekleştirilmiş ve evrimsel durumları araştırılmıştır. Açık yıldız kümeleri, gökada kimyasal evrimine ilişkin çok önemli ipuçları barındırması bakımından oldukça önemlidir. Açık yıldız kümelerinin HR diyagramları aracılığıyla, gözlenen yıldızların evrimsel durumlarına ilişkin doğrudan ve tutarlı sonuçlara ulaşılmaktadır. Yıldız kümelerinin aksine, alan yıldızları için bu bilgilere ulaşmak daha dolaylı yöntemler içerir ve olası hatalar daha büyüktür. Öte yandan, açık yıldız kümeleri, küresel kümelere göre çok daha gençtir ve konum olarak gökada diski üzerinde yer almalarından dolayı, Gökada diskinin kimyasal evrimini daha iyi anlayabilmek açısından da oldukça önemlidir. Gökada diski üzerindeki dağılımlarına bakıldığında ise genç açık yıldız kümeleri diskin iç kısımlarında gökada merkezine yakın bölgelerde yer alırken daha yaşlı açık yıldız kümeleri gökada diskinin dış kısımlarında Gökada merkezine zıt doğrultularda bulunmaktadır. Konumu açısından bakıldığında yaşlı ve kızılâşmış Tr5 açık yıldız kümesi Gökada diskinin dış kısımlarının daha iyi anlaşılması bakımından oldukça önemlidir.

Yıldızlarının sönük olması nedeniyle Tr5 küme üyesi yıldızların çok kapsamlı ve yüksek çözünürlüklü bolluk analizleri yapılamamıştır. Tr5 kümesinin içerisinde bulunduğu ortam nedeniyle kızılöte bölgede gözlemlerinin yapılmasının daha uygun olması ve IGRINS tayf çekerinin kızılöte bölgedeki gücü, yüksek çözünürlüklü kızılöte tayflar ile kimyasal bolluk analizi yapılabilmesine olanak vermiştir. Bu şekilde, yüksek çözünürlüklü ve hassas bolluk analizleri yapılabilmektedir.

Literatürde daha önce çalışılmamış olan bu yıldızlar için herhangi bir model atmosfer bilgisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, model atmosfer parametrelerinin belirlenmesi için öncelikle kızılöte bölgede bir yöntem geliştirme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu yöntem için model atmosfer parametreleri daha önce optik bölgeden belirlenmiş yaklaşık 100 kadar dev yıldızın IGRINS ile elde edilmiş kızılöte tayfları kullanılmıştır. H bandında bulunan Ti II çizgisinin eşdeğer genişliği ile model atmosfer parametreleri arasındaki bağıntılar incelenerek bu bağıntılardan başlangıç model atmosfer parametreleri elde edilmiştir. Gözlediğimiz kızılöte bölgesinde iyonlaşmış demir çizgisi olmaması nedeniyle



Saha denklemi aracılığıyla yüzey çekiminin denetlenmesi zorlaştığı için bu yöntemin sonraki çalışmalarda da oldukça kullanışlı olacağı açıktır.

Bu ilişkinin, iyileştirilmesi için örneklem yıldız sayısını da artırmak oldukça anlamlı olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken başka bir nokta da yöntemin verdiği hata değerleri ile ilgilidir. Bu analizlerin sonucunda verilen hata nümerik işlemlerin sonucunda ortaya çıkan değerdir ve bu hatanın fiziksel karşılığını belirlemek açısından dikkatli olunmalıdır. Analizler sonucu hesaplanan hatalar fiziksel olarak öngörülen hataların üzerinde olduğundan bu değerleri kabul etmek mümkün olmuştur. Bu yöntem sadece dev alan yıldızları kullanılarak geliştirilmiştir ve özel yıldızlar (kimyasal tuhaf, zonklayan gibi) ya da anakol yıldızları için aynı yöntemin geçerli olması beklenmemelidir.

Bu çalışma kapsamında gözlenen yıldızların uzaklık hesabı için ise Gaia DR2 verileri kullanılmıştır. Gaia DR2 verilerinden bulunan uzaklığın yöntem olarak uzak yıldızlar için güvenilir olmaması nedeniyle uzaklık değerleri Bailer-Jones et al. (2018)'in çalışmasında verilen şekilde kullanılmıştır. Cantat-Gaudin et al. (2018) tarafından yapılan çalışma ile birlikte değerlendirildiğinde yıldızlarımızın tamamının Tr5 kümesinin üyesi oldukları ortaya çıkmıştır. Tr5 kümesinin, güneş sistemine yaklaşık olarak 3 kpc, Gökada merkezine ise yaklaşık 11 kpc uzaklıkta olduğu hesaplanmıştır. Gökada uzay hızları ve konumu değerlendirildiğinde ise gökada ince diski üzerinde yer aldığı görülmüştür.

Dikine hızları hesaplanan yıldızların ortalama hız değeri hesaplanarak belirlenen Tr5 kümesinin dikine hızı literatürde verilen dikine hız değerleri ile uyumludur. J06363256 yıldızının dikine hızı için çalışmamızda yapılan ölçümle Gaia DR2'de verilen ölçüm arasında yaklaşık  $3 \text{ km s}^{-1}$  değerinde fark vardır. Bu farkın nedeninin anlaşılması için tekrarlayan gözlemlerle yeni verilerin elde edilmesine gereksinim vardır.

Demir bollukları, genel anlamda literatürde küme için verilen değerlerle uyumludur. Küme için yedi yıldızdan bulunan ortalama metal bolluğu değeri  $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -0.38 \text{ dex}$ 'dir. Trumpler 5 kümesinin metalce fakir bir küme olduğu tekrar ortaya konmuştur. Ti I ve Ti II arasındaki iyonizasyon dengesi oldukça uyumludur. Bu durum  $\log g$  değerlerinin iyi belirlendiğinin de bir göstergesidir. J06361880 yıldızı en aykırı gözükendir. Bu yıldızla ayrıca değinilecektir.

CNO analizlerine bakıldığında yıldızların tamamı benzer bir görüntü sergilese de J06361880 ve J06361925 yıldızları az da olsa daha farklı davranmaktadır. CNO analizleri sırasında belirlenen izotop oranları bu yıldızların evrimleşmiş dev yıldızlar olduğunu göstermiştir. Tüm  $\alpha$ -elementlerinin bollukları Güneş bollukları dolayında bulunmuştur ( $\langle[\alpha/\text{Fe}]\rangle = 0.01$  dex).

İncelenen yıldızlar içerisinde, J06361880 yıldızı metalce en fakir olan yıldızdır. İlk bakışta CMD üzerindeki konumu (Şekil 2.2) itibariyle de farklı bir noktada görülen yıldız, CNO analizlerinde de diğer yıldızların dışında bir davranış sergilemektedir. Bu yıldızın, evrimsel olarak bulunduğu nokta kesinlikle daha detaylı CMD analizleri ile incelenmelidir. Öte yandan J06361925 yıldızı da benzer özellikler göstermektedir. Her iki yıldız için de izotop oranları hemen hemen aynıdır. Sıcaklıklarını da dikkate aldığımızda bu yıldızların kırmızı dev koluna tırmanan yıldız olduklarını önermekteyiz. En düşük izotop oranlarına sahip olan J06363256 ve J06364731 yıldızlarının ise evrimsel açıdan bakıldığında kırmızı yığın yıldızları olabilecekleri düşünülmektedir. Tüm yıldızların evrim durumlarının ortaya konabilmesi için daha detaylı analizlere ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışması kapsamında, Tr5 kümesine ilişkin yedi adet yıldızın kızılöte bölgede yüksek çözünürlüklü tayfları elde edilmiş ve ardından model parametreleri belirlenerek duyarlıklı kimyasal bolluk analizleri yapılmıştır. Sadece kızılöte bölgede elde edilen tayf verileri ile atmosfer modellerinin belirlenmesi için geliştirilebilir bir yöntem öne sürülmesi, evrimsel olarak incelemeye aday yıldızlar ortaya koyması ve yüksek çözünürlüklü kızılöte tayf verileri ile hassas kimyasal bolluk analizlerinin yapılması bu tezin en önemli sonuçlarıdır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Afşar, M., Bozkurt, Z., Böcek Topcu, G. et al.**, 2018a, A Spectroscopic Survey of Field Red Horizontal-branch Stars, *The Astronomical Journal*, 155:240A, 25 pp.
- Afşar, M., Sneden, C., Wood, M. P. et al.**, 2018b, Chemical Compositions of Evolved Stars from Near-infrared IGRINS High-resolution Spectra. I. Abundances in Three Red Horizontal Branch Stars, *The Astrophysical Journal*, 865:44A, 19 pp.
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J. et al.**, 2009, The Chemical Composition of the Sun, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 47:481, 41 pp.
- Bailer-Jones, C.A.L., Rybizki, J., Fouesneau, M. et al.**, 2018, Estimating distance from parallaxes. IV. Distances to 1.33 billion stars in Gaia data release 2, *The Astronomical Journal*, 158:58, 11pp.
- Bate, Matthew, 2019**, <https://www.astro.ex.ac.uk/people/mbate/Cluster/>, Erişim tarihi: 30 Haziran 2019
- Biazzo, K., Frasca, A., Catalano, S. and Marilli, E.**, 2007a, Effective temperature vs. line-depth ratio for ELODIE spectra: Gravity and rotational velocity effects, *Astronomische Nachrichten*, 328:9, 12 pp.
- Biazzo, K., Pasquini, L., Girardi, L. et al.**, 2007b, Deriving temperature, mass, and age of evolved stars from high-resolution spectra, *Astronomy & Astrophysics*, 475:3, 9 pp.
- Böcek Topcu, G, Afşar, M., Sneden, C. et al.**, 2019, Chemical abundances of open clusters from high-resolution spectra – I. NGC6940, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 485:625, 16 pp.
- Brooke, J. S. A., Bernath, P. F., Western, C. et al.**, 2014, 69th International Symposium on Molecular Spectroscopy, *The University of Illinois*.
- Caffau, E., Monaco, L., Spite, M. et al.**, 2014, Clues on the Galactic evolution of sulphur from star clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 568:A29, 7 pp.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A. et al.,** 2018, A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way, *Astronomy & Astrophysics*, 618:A93, 16 pp.
- Carraro, G.,** 2014, The Milky Way thin disk structure as revealed by stars and young open clusters, *Proceedings IAU Symposium*, 298, 13 pp.
- Carrera, R., Gallart, C., Pancino, E., and Zinn R.,** 2007, The Infrared Ca II Triplet as Metallicity Indicator, *The Astronomical Journal*, 134:1298C, 17 pp.
- Carrera, R. and Pancino, E.,** 2011, Chemical abundance analysis of the open clusters Berkeley 32, NGC 752, Hyades, and Praesepe, *Astronomy & Astrophysics*, 535:A30, 21 pp.
- Carrera, R., Bragaglia, A., Cantat-Gaudin, T. et al.,** 2019, Open clusters in APOGEE and GALAH. Combining Gaia and ground-based spectroscopic surveys, *Astronomy & Astrophysics*, 623:A80, 21 pp.
- Cole, A. A., Smecker-Hane, T. A., Tolstoy, E., Bosler, T.L. and Gallagher, J. S.,** 2004, The effects of age on red giant metallicities derived from the near-infrared CaII triplet, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 347:367, 14 pp.
- Donati, P., Coccozza, G., Bragaglia, A. et al.,** 2015, The old, metal-poor, anticentre open cluster Trumpler 5, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446, 13 pp.
- Dow, M.J. and Hawarden, T.G.,** 1970, The open cluster Trumpler 5, *Monthly Notes of the Astronomical Society of Southern Africa*, 29, 9 pp.
- Friel, E.D., Janes, K. A., Tavares, M. et al.,** 2002, Metallicities of old open clusters, *The Astronomical Journal*, 124:5, 28 pp.
- Fukue, K., Matsunaga, N., Yamamoto, R. et al.,** 2015, Line-Depth Ratios in H-band Spectra to Determine Effective Temperatures of G- and K-type Giants and Supergiants, *The Astrophysical Journal*, 812:64, 10 pp.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A. et al.** 2018, Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties, *Astronomy & Astrophysics*, 616:A1, 22 pp.
- Gray, F. and Johanson, H. L.,** 1991, Precise measurement of stellar temperatures using line-depth ratios, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 103:439, 5 pp.
- Horne, K.,** 1986, An optimal extraction algorithm for CCD spectroscopy, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 98, 9 pp.
- IGRINS,** 2019, <https://wikis.utexas.edu/display/IGRINS/IGRINS+Home> , Erişim tarihi: 30 Haziran 2019
- Kalinowski, J.K., Burkhead, M.S. and Honeycutt, R.K.,** 1974, On a possible Carbon-star member of the old open cluster Trumpler 5, *Astrophysical Journal*, 193L, 5 pp.
- Kaluzny, J.,** 1998, CCD photometry of distant open clusters. IV. Trumpler 5, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 133, 4pp.
- Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Schilbach, E. et al.,** 2012, Global survey of star clusters in the Milky Way. I. The pipeline and fundamental parameters in the second quadrant, *Astronomy and Astrophysics*, 543:A156, 13 pp.
- Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Schilbach, E. et al.,** 2013, Global survey of star clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 558:A53, 8 pp.
- Kim, S.C., Sung, H.,** 2003, Physical Parameters of the old open cluster Trumpler 5, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 36, 7 pp.
- Kim, S.C., Kyeong, J. and Sung, E.C.,** 2009, Near-infrared photometric study of the old open cluster Trumpler 5, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 42, 10 pp.
- Kurucz, R.L.,** 1970, Atlas: a Computer Program for Calculating Model Stellar Atmospheres, *SAO Special Report*, 309, 286 pp.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lee, J. W., Carney, B.W. and Balachandran, C.**, 2004, Infrared Echelle Spectroscopy of Palomar 6 and M71, *The Astronomical Journal*, 128:2388, 14 pp.
- Mace, G., Kim, H., Jaffe, D.T. et al.**, 2016, 300 nights of science with IGRINS at McDonald Observatory, *Proceedings of the SPIE*, 9908, 12 pp.
- Matteucci, F.**, 2012, Chemical Evolution of Galaxies, *Springer Press*, 225 pp.
- Monaco, L., Boffin, H.M.J., Bonifacio, P. et al.**, 2014, A Super lithium-rich red-clump star in the open cluster Trumpler 5, *Astronomy and Astrophysics*, 564L6, 5 pp.
- Panagia, N. and Tosi, M.**, 1980, *Astronomy & Astrophysics*, 4 pp.
- Park, C., Jaffe, D. T., Yuk, I. et al.**, 2014, Design and early performance of IGRINS, *Proceedings of the SPIE*, 9147, 12 pp.
- Park, S., Lee, J. E., Kang, W. et al.**, 2018, IGRINS Spectral Library, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 238:2, 30 pp.
- Piatti, A.E., Claria, J.J. and Ahumada, A.V.**, 2004, The old open cluster Trumpler 5: a reddened, metal-poor anticentre cluster, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 349, 8 pp.
- PLP2**, 2019, <https://github.com/igrins/plp> , Erişim tarihi: 30 Haziran 2019
- pyMOOGi**, 2019, <https://github.com/madamow/pymoogi> ,Erişim tarihi: 30 Haziran 2019
- Salaris, Maurizio and Cassisi, Santi**, 2005, Evolution of stars and stellar populations, *WILEY press*, 367 pp.
- SEDS**, 2019, [http://spider.seds.org/spider/MWGC/Add/gc\\_dis.html](http://spider.seds.org/spider/MWGC/Add/gc_dis.html), Erişim tarihi: 30 Haziran 2019
- Sm**, 2019, SuperMongo, <https://www.astro.princeton.edu/~rhl/sm/>, Erişim tarihi: 23 Haziran 2019
- Snedden, C.**, 1973, The nitrogen abundance of the very metal-poor star HD122563, *Astrophysical Journal*, 184:839, 11 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Snedden, C., Lucatello, S., Ram, R. S. et al.**, 2014, Line lists for the red and violet systems of CN, and application to astronomical spectra, *The Astrophysical Journal Supplement*, 214:26S, 10 pp.
- Soubiran, C., Cantat-Gaudin, T., Romero-Gomez, M. et al.**, 2018, Open cluster kinematics with Gaia DR2, *Astronomy & Astrophysics*, 619:A155, 11 pp.
- WEBDA**, 2019, WEBDA Database, <https://webda.physics.muni.cz/>, Erişim tarihi: 30 Haziran 2019
- Williams, D. A. and Viti, S.**, 2013, Observational Molecular Astronomy, *Cambridge Press*, 174 pp.
- Wood, M. P., Lawler, J. E. and Shetrone, M. D.**, 2004, A laboratory log(gf) measurement of the Ti II 15873.84 Å H-band line in support of SDSS-III APOGEE, *Astrophysical Journal Letters*, 787:L16, 4 pp.
- Yan, Y., Du, C., Liu, S. et al.**, 2019, Chemical and kinematic properties of the galactic disk from the LAMOST and Gaia sample stars, *The Astrophysical Journal*, 880:36Y, 15 pp.
- Yuk, I., Jaffe, D. T., Stuart, B. et al.**, 2010, Preliminary design of IGRINS, *Proceedings of the SPIE*, 7735, 15 pp.
- Zinnecker, H.**, 2010, Embedded and open star clusters: basic questions, *Proceedings IAU Symposium*, 266, 7 pp.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince gerekli verilerin sağlanmasında kolaylık gösteren IGRINS ekibine, özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Chris Sneden'a, tezin biçimlenmesinde ve gelişmesinde değerli katkılarını aldığım Prof. Dr. Zeynep Bozkurt'a, verilerle ilgili karşılaştığımız her sorunda yardımlarını esirgemeyen Texas Üniversitesi araştırma görevlisi Gregory N Mace'e, teşekkürü bir borç bilirim.

Tez konumun belirlenmesi, verileri elde etme, verilerin nasıl işleneceği ve nasıl bilimsel sonuçlar çıkaracağım hakkında uzun ve detaylı eğitimi ve her problemle karşılaştığımda sabırla ve tekrar tekrar çözüme ulaşmama yardımcı olduğu için değerli danışmanım Prof. Dr. Melike Afşar'a özellikle teşekkür etmek isterim.

Bu yüksek lisans tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 117F497 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu destek için, TÜBİTAK'a ve değerli proje yürütücüsü Prof. Dr. Zeynep Bozkurt'a teşekkür ederim.

Bu süreçte, yanımda olan tüm arkadaşlarıma, özellikle karşılaştığım sorunların çözümlerinde yardımlarıyla Yavuz Kaan Başkaya ve İsmail Furkan Tekelioğlu'na, değerli fikir alışverişleri nedeniyle Güleser Selin Üstündağ'a özellikle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman aldığım her kararda bana destek olan tüm aile üyelerime, daha rahat bir üniversite hayatı yaşamam için kendi rahatlarını bırakıp İzmir'de yanımda olan annem ve babam Gülşan ve Bektaş Özdemir'e, abilerim ve yengelerim değil artık ablalarım olan eşlerine, canım sıkıldığında aklıma gelen ve keyiflendiren yeğenlerime çok teşekkür ederim.

02/ 07/ 2019

İmzası



Sergen ÖZDEMİR



## ÖZGEÇMİŞ

### EGİTİM

**Yüksek Lisans**, Ege Üniversitesi, İzmir. 2016–2019

Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

**Lisans**, Ege Üniversitesi, İzmir. 2011–2016

Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Onur Öğrencisi, mezuniyet ortalaması: 3.48/4.00, Sınıf sıralaması: 1

**Değişim**, *Stockholm Üniversitesi*, Stockholm. 2015–Bahar

Astronomi Bölümü

Erasmus+ Programında değişim öğrencisi

### Yüksek Lisans Tezi

**Başlık:** Kızıllaşmış Trumpler 5 Açık Yıldız Kümesinden Seçilmiş Yıldızların Kızılöte Bölgede Kimyasal Bolluk Analizi.

**Danışman:** Prof. Dr. Melike Afşar

### Lisans Tezi

**Başlık:** Çift Yıldızlarda Dikine Hız Ölçümleri: Örnek Bir Sistem "EQ

Boo".

**Danışman:** Prof. Dr. Zeynep Bozkurt

### DİL

**Türkçe:** Anadil

**İngilizce:** Çok İyi Güncel IELTS puanı: 6

**İsveççe:** Çok Az

## **BİLGİSAYAR YETENEKLERİ**

**C: Temel**

**Python: İyi**

**IRAF ve VO: Çok İyi**

**Ofis Uygulamaları: Çok İyi**

**Diğer Programlama Dilleri: Aşına**

**Fotoğraf ve Video Düzenleme: Temel**

## **SERTİFİKALAR**

- ISO 10002
- ISO 9001:2008 Belgeleme
- CE Markalama
- ISO 19011 Belgeleme
- Stratejik Yönetim

## **SCI MAKALELER**

- Chemical Abundances Of Open Clusters From High-Resolution Infrared Spectra. I. NGC 6940, Topçu, G.B. Afşar, M., Sneden, C. et al., 2019, MNRAS, 485, 4625

## **Non-SCI MAKALELER VE TOPLANTI YAYINLARI**

- Abundance Analysis Of 13 Metal-Poor Stars Observed With Lick/APF, Mardini, M.K., Taani, A. A., Al-Wardat, M.A. et al., 2018
- The Nucleosynthesis and Reaction Rates Of Fluorine 19 (<sup>19</sup>F) In The SUN, Mardini, M.K., Ershiadat, N., Al-Wardat, M.A. et al., 2019, arXiv: 1904.09608

## **TOPLANTI VE OKULLAR**

**Ulusal**

- **STEM Eğitimi için Çeşitli Bilimsel Fuarlar**, Türkiye, 2014–Gönüllü Rehberlik
- **1. Lisansüstü Echelle Tayfbilim Yaz Okulu**, İzmir, Türkiye, 2019
- **IAU'nun 100. yılı kapsamında "Ege'de 100 Saat Astronomi"**, İzmir, Türkiye, 2019, Yerel Düzenleme Kurulu Üyesi
- **4. Genç Fizikçiler Kongresi**, İzmir, Türkiye. 2016, Katılımcı
- **TÜBİTAK 4007 Bilim Fuarı**, Manisa, Türkiye. 2016, Rehber
- **20. Ulusal Astronomi Kongresi**, Erzurum, Türkiye. 2016, Katılımcı
- **17. ve 19. Ulusal Gökyüzü Gözlem Senliği**, Antalya, Türkiye, 2014:16, Popüler Etkinlik
- **TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi Lisans Öğrencileri için Yaz Programı (LOYP)**, Antalya, Türkiye, 2015 - I

#### **Uluslararası**

- **The Ninth International Workshop on Occultation and Eclipse**, Çanakkale, Türkiye, 2019
- **Instability Phenomena and Evolution of the Universe**, Yerevan, Ermenistan, 2018, Poster Katılımı
- **The Sixth Byurakan International Summer School for Young Astronomers**, Yerevan, Ermenistan, 2018, Katılımcı
- **The Current and Future Observing Facilities: A Guided Tour**, Belgrade, Sırbistan, 2018, Sözlü katılım, Advanced School
- **The Eight International Workshop on Occultation and Eclipse**, İstanbul, Türkiye, 2018

## **EKLER**

- **Ek 1:** Trumpler 5 küme üyesi yıldızlar için belirlenen bolluk değerleri.
- **Ek 2:** Trumpler 5 küme üyesi yıldızlar için belirlenen ortalama alfa elementlerinin demire göre bolluk değerleri
- **Ek 3:** Trumpler 5 küme üyesi yıldızlar için bolluk belirlenen çizgi sayısı.
- **Ek 4:** Asplund et al. (2019) tarafından verilen ve bu çalışmada kullanılan güneş bolluk değerleri.



## Ek 2

Trumpler 5 küme üyesi yıldızlar için belirlenen ortalama alfa elementlerinin demire göre bolluk değerleri.

	J06361880	J06361925	J06362606	J06363256	J06364731	J06365277	J06363185
$\langle[\alpha/\text{Fe}]\rangle$	0.07	0.02	0.01	0.05	-0.02	-0.03	-0.03

### Ek 3

Trumpler 5 küme üyesi yıldızlar için bolluk belirlenen çizgi sayısı.

	J06361880	J06361925	J06362606	J06363256	J06364731	J06365277	J06363185
Mg I	5	7	7	5	3	6	8
Si I	10	11	10	11	8	9	10
S I	3	6	1	3	2	3	1
Ca I	9	9	8	10	9	7	10
Ti I	9	9	7	8	6	8	8
Fe I	22	19	23	26	14	20	23



## Ek 4

Asplund et al. (2019) tarafından verilen ve bu çalışmada kullanılan güneş bolluk değerleri.

Element	$\log \varepsilon (X)$
C	$8.43 \pm 0.05$
O	$8.69 \pm 0.05$
N	$7.83 \pm 0.05$
Mg	$7.60 \pm 0.04$
Si	$7.51 \pm 0.03$
S	$7.12 \pm 0.03$
Ca	$6.34 \pm 0.04$
Ti	$4.95 \pm 0.05$
Fe	$7.50 \pm 0.04$