ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NORMAL A YILDIZ ATMOSFERLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Senem ERDEN ÇABUK

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2016

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NORMAL A YILDIZ ATMOSFERLERİNİN FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Senem ERDEN ÇABUK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kutluay YÜCE

Astrofizikçiler, Güneş kimyasal bileşimli normal A tipi ve metal çizgili kimyasal-tuhaf yıldızları ayırt etmekte öncelikle tayfsal sınıflandırmadan yararlanırlar. Bu süreçte, yaklaşık yüzyıllık astrofizik bilgilerinin sonuçları kullanılır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında, her iki A yıldız tipinin atmosfer özelliklerini inceledik. Daha sıcak A yıldızları hemen hemen ışımasal atmosferlere sahiptir. Konvektif hareketlerin şiddeti, azalan sıcaklıkla artmaktadır.

Yıldızların yüksek çözünürlüklü tayfsal analizlerinden yararlanılarak, söz konusu yıldız tiplerinin özellikleri ve yıldızların kendilerine özgü karakteristiklerinden hareketle, A tipi yıldız atmosferlerinin fiziksel özellikleri ve kimyasal yapıları bulundu. Bu amaçla kullanılan tayfsal veri seti, Yüce & Adelman (2014) tarafından çalışılan Anakol Bandı geç B - erken F türü aralığındaki kimyasal bakımdan 'normal' yıldızlardır. Gözlemsel veriler, Dominion Astrofizik Gözlemevi (Victoria, Kanada)'ndeki 1.22 m'lik teleskobun Coude tayfçekerine bağlı CCD dedektörler ile alınan yüksek ayırma güçlü tayfsal verilerdir.

Normal A tipi yıldızlarda [O/H] bolluğu ile log g arasında negatif bir korelasyon varken, A*m* tipi yıldızlarda güçlü bir pozitif korelasyonun olduğunu bulduk. Ayrıca normal A tipi yıldızlarda [Sc/H] bollukları ile (log g, ξ) nicelikleri arasında pozitif bir korelasyon, [Sc/H] bollukları ile (T_e, v sin i) arasında da negatif bir korelasyon vardır. Oysa ki, A*m* tipi yıldızlar için, sırasıyla, negatif ve pozitif korelasyonlar mevcuttur. Normal A tipi yıldızlar [Y/H] bolluğu ile v sin i arasında negatif bir korelasyon gösterirlerken, A*m* tipi yıldızlarında pozitif bir korelasyon görülür.

Ağustos 2016, 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Normal A tipi yıldızlar, yıldız atmosferi, element bolluğu, yıldızların fiziksel özellikleri, yıldızların kimyasal özellikleri, çapraz korelasyon

ABSTRACT

Master Thesis

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NORMAL A STAR ATMOSPHERES

Senem ERDEN ÇABUK

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

Supervisor: Assoc. Prof. Kutluay YÜCE

Astrophysicians initially use spectral classification to distinguish whether a star is a normal (or solar composition) A or is a metallic-lined chemically-peculiar A star. This process uses the results of a century of stellar astrophysical experience. Here we study the atmospheric characteristics of the both kinds of A type stars. The hotter A stars have atmospheres almost in radiative equilibrium. Convective motions increase in strength as the temperature decreases.

Using high resolution stellar spectral analyses the physical properties and chemical structures of A type stars were found from the common features and the unique characteristics of stars. The spectral data used for this purpose are the Main Sequence Band chemically 'normal' late B - early F stars from the study by Yüce and Adelman (2014) who used high dispersion spectrograms taken with CCD detectors at the Coude spectrograph of the1.22-m telescope of the Dominion Astrophysical Observatory.

We found that a positive correlation in the Am stars while there is a negative correlation between [O/H] abundance and log g in the normal A type stars. Further there is a positive correlation among the [Sc/H] abundances and (log g, ξ) quantities, a negative correlation [Sc/H] abundances and (Te, v sin i) in the normal A stars. However, for Am stars there are negative and positive correlations, respectively. The normal A type stars exhibit a negative correlation between [Y/H] and v sin i while a negative correlation is seen for the Am stars.

August 2016, 95 pages

Key Words: Normal A type stars, stellar atmosphere, elemental abundance, stellar physical properties, stellar chemical properties, cross correlation

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, çoğu zaman tüm gününü beni yetiştirmekle ve kıymetli bilgilerini bana öğretmekle geçiren ve manevi desteğini hiç esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Kutluay YÜCE'ye (Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü) en içten dileklerimle teşekkür ederim. Ayrıca Prof. Dr. Saul J. ADELMAN'a (The Citadel Physics Department, Charleston, South Caroline, United States of America) özverili yorumlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Sayın Prof. Dr. Yılmaz AKDİ (Ankara Üniversitesi İstatistik Bölümü, Bölüm Başkanı) hocama ayrıca teşekkür ederim.

Kendi tanımıyla, kader fonksiyonundaki sınırsız sayıdaki bağımsız değişkene rağmen değer kümesi görüntü kümesine eşit olan, tek bağımlı değişkeni ben olduğum biricik eşim Nazım ÇABUK' a çok teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim sırasında ailemize katılan sevgili oğlum Yusuf ÇABUK ve sevgili kızım Nisa ÇABUK' a varlıklarından ötürü teşekkür ederim.

İstediğim her yardımda beni kırmayıp yardımıma koşan değerli babam Adnan ERDEN'e, değerli annem Hülya ERDEN'e ve değerli kayınvalidem Huriye ÇABUK' a teşekkür ederim. Ayrıca sevincimi, üzüntümü paylaştığım ve manevi desteklerini her zaman hatırlayacağım kıymetli arkadaşlarım Deniz BALTA, Emine IŞIK ve Lütfiye ERKUŞ' a teşekkür ederim.

Senem ERDEN ÇABUK
Ankara, Ağustos 2016

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI…… i

ETİK……. İi

ÖZET…… iii

ABSTRACT…… iv

TEŞEKKÜR……. v

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ…….. viii

ŞEKİLLER DİZİNİ…… x

ÇİZELGELER DİZİNİ…….. xi

1. GİRİŞ…… 1

2. KAYNAK ÖZETLERİ…… 4

2.1 Normal A Tipi Yıldızlar…… 4

2.1.1 Fiziksel özellikleri…….. 8

2.1.2 Kimyasal özellikleri……. 17

2.2 A*m* Tipi Yıldızlar…… 20

3. MATERYAL VE YÖNTEM……... 22

3.1 Materyal…….. 22

3.2 Yöntem…… 28

3.2.1 Çapraz korelasyon tekniği…… 28

3.2.2 Grafik yöntemi…… 34

4. ARAŞTIRMA BULGULARI……. 37

4.1 Etkin Sıcaklık ve Yüzey Çekim İvmesi…….. 37

4.2 Etkin Sıcaklık ve Mikrotürbülans Hızı…….. 38

4.3 Etkin Sıcaklık ve Dönme Hızı……. 40

4.4 Yıldızların Element Bolluk Dağılımı……. 42

4.5 Yıldızların Kimyasal Element Bolluklarının Dönme Hızı, Mikrotürbülans Hızı ve Demir Bollukları ile Karşılaştırılması…… 45

4.6 Çapraz-Korelasyon Hesaplamaları ile İlgili Bulgular…….. 45

4.7 Atmosfer Parametreleri Birbirine Yakın Olan Yıldızların Element Bolluk Karşılaştırılması…… 48

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR……..... 53

KAYNAKLAR……. 59

EKLER…… 65

EK 1 Normal A tipi ve A*m* yıldızlarının birleştirilmiş T_e - log g grafiği 66

EK 2 Normal A tipi ve A*m* yıldızlarının birleştirilmiş T_e - ξ grafiği 67

EK 3 Normal A tipi ve A*m* yıldızlarının birleştirilmiş T_e - $v \sin i$ grafiği 68

EK 4 Normal A tipi yıldızların [C/H], [O/H], [Mg/H], [Si/H], [Ca/H], [Sc/H], [Ti/H], [Cr/H], [Fe/H], [Ni/H], [Sr/H], [Y/H], [Ba/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılmaları…….. 69

EK 5 A*m* tipi yıldızların [C/H], [O/H], [Mg/H], [Si/H], [Ca/H], [Sc/H], [Ti/H], [Cr/H], [Fe/H], [Ni/H], [Sr/H], [Y/H], [Ba/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılmaları…….. 82

ÖZGEÇMİŞ…… 95

SİMGELER DİZİNİ

HR diyagramı	Hertzsprung Russell diyagramı
K	Kelvin
R_Θ	Güneş'in yarıçapı, 6.96×10^5 km
M_Θ	Güneş'in kütlesi, 1.99×10^{33} gr
L_Θ	Güneş'in toplam ışınım gücü, 3.86×10^{33} erg sn^{-1}
Å	Angström
λ	Dalgaboyu
T_e	Etkin sıcaklık (K)
g	Yüzey çekim ivmesi
$v \sin i$	İzdüşüm dönme hızı
M	Kütle
R	Yarıçap
ξ	Mikrotürbülans hızı
dex	10 üzeri anlamında olup bolluk birimidir
mm	Milimetre
HgMn	Civa-Mangan tipi yıldızları
A*m*	Metal çizgili yıldızlar
Ap	Kimyasal tuhaf A tipi yıldız
Fp	Kimyasal tuhaf F tipi yıldız
CP	Kimyasal tuhaf yıldızlar (Chemically Peculiar Stars)
mCP	Manyetik özellik gösteren kimyasal tuhaf yıldızlar (Magnetic Chemically Peculiar Stars)
Pop I	Popülasyon I (Öbek I)
Pop II	Popülasyon II (Öbek II)
σ	Stefan-Boltzmann sabiti
F	Yüzey akısı
f	Görünür akı
θ_{LD}	Açısal çap
P	Yörünge dönemi
S/G	Sinyal gürültü oranı

r	Korelasyon katsayısı

Kısaltmalar

DAO	Dominion Astrofizik Gözlemevi (Dominion Astrophysical Observatory)
LTE	Yerel Termodinamik Denge (Local Thermodynamic Equilibrum)
HIP	Hipparcos Kataloğu
HR	Henry Drapper Kataloğu
MKK	Morgan- Keenan-Kellman sınıflandırması
ZAMS	Sıfır Yaş Anakol (Zero-Age-Main-Sequence)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Gebran vd. (2014) çalışmasına ait T_e - ξ grafiği …….. 12

Şekil 2.2 Takeda vd. (2008) çalışmasına ait [element] - v sin i grafikleri..... 14

Şekil 2.3 Normal yıldızlarda kütlenin bir fonksiyonu olarak ($M/M_\odot$) gerçek dönme hızlarının (v) dağılımları …… 16

Şekil 2.4 Takeda vd. (2008) çalışmasına ait [element] - [Fe/H] grafikleri…….. 19

Şekil 4.1 Normal A tipi yıldızlar için T_e - log g grafiği…….. 38

Şekil 4.2 A*m* tipi yıldızlar için T_e - log g grafiği …… 38

Şekil 4.3 Normal A tipi yıldızlar için T_e - ξ grafiği……..... 39

Şekil 4.4 A*m* tipi yıldızlar için T_e - ξ grafiği ……..... 40

Şekil 4.5 Normal A tipi yıldızlar için T_e - *v* sin *i* grafiği…….……. 41

Şekil 4.6 A*m* tipi yıldızlar için T_e - *v* sin *i* grafiği…… 41

Şekil 4.7 Normal A tipi yıldızların element bolluk dağılımı ….……..…… 43

Şekil 4.8 A*m* tipi yıldızların element bolluk dağılımı..... 44

Şekil 4.9 HR 4072 A ve 46 Dra B yıldızlarına ait element bolluklarının karşılaştırılması …..…….. 50

Şekil 4.10 HR 8349 ve HR 7361 yıldızlarına ait element bolluklarının karşılaştırılması …..…….. 51

Şekil 4.11 ε Ser ve 112 Her B yıldızlarına ait element bolluklarının karşılaştırılması…….. 52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Normal A tipi yıldız atmosferlerinin fiziksel parametreleri…… 24

Çizelge 3.2 A*m* tipi yıldız atmosferlerinin fiziksel parametreleri …….. 24

Çizelge 3.3 Normal A tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (He - Sc)…… 25

Çizelge 3.4 Normal A tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (Ti - Zr)…..... 25

Çizelge 3.5 Normal A tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (Ba - Dy)…… 26

Çizelge 3.6 A*m* tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (He - Ti) 26

Çizelge 3.7 A*m* tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (V - Ba) 27

Çizelge 3.8 A*m* tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (La - Hf) 27

Çizelge 3.9 Normal A tipi yıldızlar için çapraz korelasyon veri bilgisi…… 32

Çizelge 3.10 A*m* tipi yıldızlar için çapraz korelasyon veri bilgisi……... 33

Çizelge 4.1 Normal A tipi yıldızların çapraz-korelasyon katsayıları (r)……..…... 46

Çizelge 4.2 A*m* tipi yıldızların çapraz-korelasyon katsayıları (r)……..……. 47

Çizelge 4.3 Atmosfer parametreleri birbirine yakın olan yıldızların fiziksel parametreleri ……. 49

1. GİRİŞ

Yıldız spektroskopisi, bir yıldızdan gelen ışınları analiz ederek o yıldızın maddesel yapısı hakkında sağlam ve güvenilir bilgi edinme alanıdır. Astronominin en faal kollarından biri olan "yıldız spektroskopisi / tayfbilim" üzerinde yapılan çalışmalar, astrofizikçilere yıldız atmosferlerinin fiziksel özelliklerini tespit etmeleri yanında, kimyasal bileşimlerini anlama ve yıldızları mantıksal bir sıraya göre sınıflandırma olanağı sağlar. Bir yıldızın A tayf türü olarak adlandırılması diğer yıldız türleri gibi tayfsal sınıflandırmanın bir sonucudur. Yaklaşık yüzyıl kadar önce Harvard Gözlemevi tayfsal sınıflandırıcıları, A tayf türü yıldızları fotoğrafik emülsiyonlar kullanarak 100 Å/mm çözünürlüğe sahip tayflardan tanımladılar. Tayfsal sınıflama yapan araştırmacıların tayf görünümlerine göre normal olarak tanımladığı, ancak yüksek çözünürlükte yapılan kimyasal bolluk analizlerinde öyle olmadığı anlaşılan yıldızlar, Cowley (1980) tarafından "görünürde normal yıldızlar (superficially normal stars)" olarak tanımlanmıştır. Adelman (2005)'a göre birçok civa-mangan (HgMn) ve metal çizgili (A*m*) yıldız tipleri bu sınıfın birer üyesidir.

Nitel ve nicel atmosfer analizleri neticesinde yıldızlar, kimyasal özelliklerine göre ayrıca sınıflandırıldı. Optik bölge tayflarında, daha yaygın bilinen 'normal' yıldızlarınkinden farklı olarak, sahip oldukları fiziksel parametrelerinden beklenenin dışında kimyasal yapı içeriği sebebiyle; "kimyasal-tuhaf (peküliyer / özel) yıldızlar" olarak isimlendirilen yıldız tiplerinin varlığı, yıldız astrofiziğinin ilgi alanı içerisinde yer aldı. Geç B - erken F tayf türü aralığındaki yıldızların bir kısmını teşkil eden "kimyasal tuhaf yıldızlar" bu türden normal yıldızlara nazaran bazı anormal / sıra dışı özellikler göstermektedir. Bu yıldızların özelliklerinin ve gelişim safhalarının izahı konusunda mevcut teoriler bizi tatmin edici sonuçlara götürmemektedir. Çünkü bu gruba dahil yıldızların ortak nitelikleri bulunduğu gibi, ayrıca her birinin kendine has özellikleri de vardır. Bu sebeple bu tipten mümkün mertebe çok sayıda yıldızın incelenmesi, ortak niceliklerinin tespiti ve evrimlerinin tahmini bakımından zorunlu görülmektedir (Yüce 2015).

Kimyasal tuhaf B, A ve erken F türü yıldızlar (örneğin; A*p*, F*p* ve A*m* yıldızları), daha güçlü metal çizgilerine sahip olmaları nedeniyle Henry Drapper kataloğunun sınıflandırıcıları tarafından belirlenmiştir. Yüksek dispersiyona sahip yıldızların tayfsal analizleri sayesinde, manyetik özellik gösteren B ve sıcak A*m* gibi diğer kimyasal tuhaf yıldızların varlığı ortaya konulmuştur. Tayfsal sınıflama, Pop I tek yıldızlar için tasarlanmıştır. Metal bakımından fakir, evrimleşmiş A türü Pop II yıldızları genellikle yatay-kol yıldızlarıdır (örneğin; FHB B ve A türü yıldızları ve RR Lyrae yıldızları). Bazı Pop I A yıldızları Güneş'e nazaran metal fakiri yıldızlardır (örn.; Vega ve α Dra) (Adelman 2005).

Anakol bandı yıldızları içeren pek çok çalışma, normal yıldızları Ia, Ib, II ışınım sınıfından süperdevler ve beyaz cücelerden ayrı tutmaktadır. Kuşkusuz onların ataları, bugünün Pop I anakol A yıldızlarınınkinden farklı ZAMS (Zero-Age Main Sequence = Sıfır-Yaş Anakol) kütlelerine sahipti. Diğer kimyasal tuhaf Pop I A yıldızları ise aşağıdaki gibi gruplandırılırlar:

- Metal bakımından fakir yıldızlar (örn.; λ Boo, Vega, α Dra yıldızları)
- Çevresel madde veya yıldızlararası madde bulunduran yıldızlar (örn.; β Pic, kabuk ve Ae yıldızları)
- Algılanabilir manyetik alanları veya tayfları aşağıdakilere benzer olan yıldızlar
    1. Manyetik özellikli CP (mCP) yıldızları – Preston (1974)'un CP2 yıldızları
    2. ro*Ap* yıldızları – mCP yıldız kolunun soğuk bölgesi
- Metal Çizgili yıldızlar – Preston'un CP1 yıldızları
- Civa-Mangan yıldızları – Preston'un CP3 yıldızları
- Bileşeninden önemli miktarda kütle alan çift yıldızlar (örn.; Sirius)

Güneş'in yüzey kimyasına sahip düşük genlikli fotometrik değişim gösteren yıldızlar, kimyasal bakımdan 'normal' A tipi yıldızlar olarak kabul edilebilir. Fiziksel dış katman kaynaklı değişimler fotometrik değişime neden olmaktadır (Adelman 2005).

Normal A tipi yıldızlar Adelman (2005) tarafından tanımlanmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında; normal A tipi yıldızların yüzey element bollukları ve fiziksel yapıları incelenerek, ilgili araştırmanın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, bu tez çalışmasında, elektromanyetik enerji tayfının optik bölgesine ait yüksek çözünürlüklü tayfsal analiz serisi olan Yüce ve Adelman (2014) çalışmasından yararlanılmıştır. Söz konusu çalışmadan sağlanan argümanlar geç B - erken F türü 'normal', 'civa-mangan' ve 'metal çizgili' yıldız tiplerinin etkin sıcaklık, dönme hızı, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans hızı ve göreli element bolluklarına ilişkin değerlerdir.

Literatürde bugüne kadar, genellikle F6'dan daha geç türler ile B1'den daha sıcak olan yıldızlar tayfsal yolla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Oysa HR diyagramının bu tez çalışmasında ele alınan geç B - erken F tayf türü aralığında, Dominon Astrofizik Gözlemevi (DAO) verilerine dayalı yıldız analizleri literatürde "Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms" başlıklı DAO serisinde ele alındığı gibi, ayrıntılı bir tayfsal çalışma serisi (örn.; bkz. Yüce vd. 2011) henüz hazır değildir.

Bu tez çalışmasında ele alınan temel sorular, geç B - erken F tayf türü aralığındaki yıldız atmosferlerinin fiziksel ve kimyasal niceliklerini dikkate alarak, aşağıdaki konular üzerinde olmuştur:

(i) Normal A tipi yıldız nedir?
(ii) Normal A tipi anakol yıldızının tayfsal özellikleri nelerdir?
(iii) Sınıflandırma standartları ne ölçüde iyi seçilmektedir?

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Normal A Tipi Yıldızlar

Normal A yıldızları, kimyasal özellikleri bakımından sıra dışı atmosfer özellikleri göstermeyen yıldız tipleri olarak ifade edilmektedir. Normal A tipi yıldızlar, kimyasal tuhaf A tipi yıldızlara nazaran hızlı dönen yıldızlar olup, tayflarında çizgi profil hatları genişlemiştir. Normal A tipi yıldızlar, fotosferlerinde Güneş'tekine yakın yüzey element bolluklarına sahip (süperdevler ve beyaz cüceler dışında), algılanabilir manyetik alanlara sahip olmayan, 120 km sn^{-1} den büyük ekvatoryal hızlara sahip, tayflarında salma çizgileri görülmeyen, fotometrik olarak mümkün olduğunca değişim göstermeyen yıldızlar olarak tanımlanmıştır (Adelman 2005). Ayrıca bu yıldız tipleri bir çift sistemin üyesi ise, bileşenler arasında önemli ölçüde kütle aktarımına ait belirtiler görülmez. Normal A tipi yıldızlar, manyetik A*p*, A*m*, λ Boo veya diğer kimyasal tuhaf yıldızların karakteristik özelliklerini göstermeyen, yerel termodinamik denge varsayımı altında (LTE) gerçekleştirilen ayrıntılı atmosfer analizlerinde, Güneş'in yüzey kimyasına benzeyen ve herhangi bir tayfsal değişim özelliği göstermeyen yıldızlardır (Adelman ve Unsuree 2007). Benzer şekilde Hertzsprung-Russel (HR) diyagramının geç B - erken F tayf türü aralığında yer alan, herhangi bir sıra dışı tayfsal özellik sergilemeyen yıldızlar "normal" yıldız olarak tanımlanmıştır (Murphy 2014).

Normal A tipi yıldızlar, sıcak yıldızlar ($T_e \leq 15000$ K) ile enerjinin konveksiyonla iletiminin önemli olmaya başladığı soğuk yıldızlar arasındaki ($T_e > 6000$ K) bir bölgede yer alırlar. Bu tip yıldızların yüzey konveksiyon alanları geniş değildir. Bu yıldızlarda hidrojen önemli bir donukluk kaynağıdır. Tayflarında, salma çizgilerine ve kısa dönemli düzensiz değişimlere rastlanmamıştır (Wolff 1983).

Bazı normal A tipi anakol yıldızlarının, metal çizgili A*m* tipi yıldızlarınkini düşündüren yüzey bolluklarına sahip oldukları görülür. Bunun sebepleri arasında, normal A tipi yıldızların yüzeylerinde bazı elementlerin nispeten daha az olması, bunların yıldız yüzeyine taşınmamış ve burada birikmemiş olmasına bağlanmaktadır (Michaud 1970). Çünkü kimyasal tuhaf yıldızlarda bazı ağır elementler için çekim kuvveti ışınım

basıncına yenik düşer. Bu ağır elementler ışınım yoluyla yıldız yüzeyine taşınmakta ve bazı bölgelerde birikmektedir. Bu durum kimyasal tuhaf yıldızlarda özellikle ağır elementlerin daha fazla var olduğu kanısına sebep olur.

Michaud (1970) tarafından ortaya konulan ve Vauclair vd. (1978) tarafından geliştirilen 'difüzyon teorisi', yıldız atmosferlerindeki element dağılımlarının tahmininde kullanılan bilimsel bir yaklaşımdır. Genel kanâat ise, HgMn yıldızları arasında daha nadir olan ağır elementler göreli olarak bol miktarda iken, hafif bol elementlerin azalmasıdır. Talon vd. (2006) tarafından yapılan hesaplamalar, A*m* tipi yıldızlarda gözlenen bolluk anormalliğinin ana nedeni olarak, ışınım ivmesi tarafından kontrol edilen atomik difüzyonu göstermiştir. Işınım basıncı ve bölgesel yüzey çekimi arasındaki denge; bir elementin yukarı doğru itilmesine ve desteklenmesine ya da aşağı doğru hareketini belirler. Eğer karşı koyan hidrodinamik süreçler etkin değilse, atomik difüzyon gözlenenden daha büyük bolluk anormallikleri üretebilir. Sabit bir oranda türbülans karışımı ve kütle kaybı meydana geliyorsa element bolluk miktarlarında azalma beklenebilir (Yüce 2015).

Geç B - A tayf türünden yıldızlar arasında nispeten en yavaş dönen yıldız tipleri HgMn yıldızlarıdır (Wolff ve Preston 1978). Bununla birlikte normal A tipi yıldızların mikrotürbülans hız değerleri HgMn tiplerine göre daha yüksektir (Adelman 1994). Bu özellikler HgMn yıldız atmosferlerinin Güneş ve Güneş ile ilintili kimyasal bileşimli yıldızlara göre oldukça "sakin" olduklarını işaret etmektedir.

$$(B\text{-}V)_{gözlem} = (B\text{-}V)_{model} + 0.02 \qquad (2.1)$$

(1) no'lu ifadeye göre, HgMn yıldızlarını temsil eden modelden beklenen (B-V) renginden matematiksel olarak daha büyük (B-V)'ye sahiptir. Bu da aynı etkin sıcaklık değerine sahip bir HgMn yıldızının, normal yıldızdan daha kırmızı olduğu anlamına gelir. HgMn yıldızlarının aynı sıcaklıktaki normal yıldızlara nazaran daha kırmızı görünmesi, yüzeydeki ağır element birikiminden kaynaklandığı düşüncesiyle uyumludur. Yıldız yüzeyinde biriken ağır elementler atmosferin soğurma katsayısını arttırarak, yüksek enerjili fotonların kaçmasını engelleyici bir etki doğurur. Yıldızdan

salınan yüksek enerjili foton sayısının azalması, yıldızı kırmızılaştıracaktır (Doğan 2008).

Standart tayfsal sınıflandırma sistemi oluşturabilmek için iki koşul sağlanmalıdır. Birincisi, sistemin sıcaklık ve parlaklık sınıflarını yansıtmaya imkân sağlayacak tayfsal çözünürlüğe sahip gözlemlerle doğru bir şekilde tanımlanmış olması gerekir. İkincisi, tayfsal çözünürlük olabildiğince düşük olmalıdır ki, sınıflandırma sönük cisimleri de kapsayacak biçimde genişletilebilsin. En yaygın kullanılan sistem, tayf türü ve parlaklıkları bilinen, standart bir yıldız seti tarafından tanımlanan MKK sistemidir (Morgan vd. 1943).

Tayfsal sınıflandırma yapabilmek için tayf çizgi şiddetlerinin kullanımına bir alternatif olarak, süreklilik akı ölçümlerine bağlı, çeşitli fotometrik sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan sistemler Johnson UBV (Johnson ve Morgan 1953) ve Strömgren uvbyβ (Hauck ve Mermilliod 1980) sistemleri olup, her ikisi de HR diyagramının tamamına uygulanabilir.

Sınıflandırmaya yardımcı olacak tayf çizgilerinin ya çok kuvvetli (CaII K λ3933Å ve Balmer çizgileri) ya da nispeten zayıf çizgi hatları olmaları sebebiyle; A türü yıldızlar, sınıflandırılması en zor olan yıldızlardır. Bu yıldızlarda, sıcaklık ve parlaklığın saptanması, orta şiddetteki metal çizgilerin yokluğundan dolayı oldukça zordur. MK türleriyle veya teorik modellerle karşılaştırıldığında, A3'den daha geç anakol yıldızlarında, hidrojen çizgi indeksi H_β, tayf türü ve sıcaklık ölçümü için ideal bir terimdir. A0'dan daha erken yıldız türleri için tam tersi bir durumdur. (b – y) renk ölçeği sıcaklığa duyarlıdır, ancak kırmızılaşan yıldızlar için tercih edilmez (Strömgren 1966).

Yıldızların atmosfer parametrelerini ve element bolluklarını belirlemek için ideal fakat çoğu zaman pratik olmayan yol, tüm tayfın yüksek çözünürlüklü fotoelektrik ölçümlerini elde etmekle mümkün olabilir. Uygulamada, süreklilik akısını belirlemek için genellikle geniş veya orta-band fotometri destekli sınırlandırılmış tayf ile

çalışılmalıdır. Ölçülen parametreler daha sonra sıcaklığı ve parlaklığı ile kimyasal bileşimi açısından kalibre edilmelidir.

A tayf türü yıldızların HD sınıflaması, Balmer çizgilerine ve Ca II K çizgisine bakılarak yapılmıştır (Keenan vd. 1969). Özellikle, iyonlaşmış metal çizgileri (örn.; Fe II, Si II ve Mg II gibi) A5 türü civarında maksimum şiddete ulaşır. MKK sınıflamasına göre, A2 türüne kadar Balmer çizgilerinin şiddeti, daha sonraki sınıflarda ise Fe II, Mg II ve Ti II çizgi şiddet oranları kullanılır (bkz. Erden-Çabuk 2012). En önemli sınıflama belirteçleri Chalonge ve Divan (1952) tarafından verilmiştir.

Erken tür normal A tipi yıldızlarda, iki boyutlu sınıflandırma üç temel ölçüte göre tanımlanabilir: (1) Ca II K çizgi şiddeti, (2) metal ve karma/örtüşük/binişik (blend) çizgi şiddetleri ve (3) hidrojen çizgi genişlikleridir (Wolff 1983). İlk ölçüt tamamen sıcaklığa duyarlıdır. İkinci ölçüt, çoğunlukla sıcaklıktaki değişime duyarlıdır, fakat mutlak parlaklığa da bir miktar hassasiyet gösterir. Geç tayf türlerine doğru gidildikçe, elementlerin nötr ve iyonize olmuş türlerine ait binişik çizgilerinin şiddeti artar. Oysa iyonize demir ve titanyum elementlerinin özellikle λ4172-4179 Å bölgesine ait çizgileri, parlaklığa karşı duyarlılık gösterirler ve daha sönük yıldızların süperdevlerden ayırt edilmesine yardımcı olurlar (Gray ve Garrison 1989). Üçüncü ölçüt, parlaklık sınıflandırmasındaki değişime duyarlı fakat sıcaklık sınıflandırmasında meydana gelen değişimlere oldukça duyarsızdır. Erken A türü yıldızların hidrojen çizgi şiddetleri diğer türlerinkine nazaran en yüksektir. Bu nedenle hidrojen çizgilerinin görünümü sıcaklık değişimlerine karşı hassas değildir.

Hertzsprung-Russell diyagramının birçok bölgesinde, 'normal yıldız'ın tanımı açıktır ve genellikle normal olarak adlandırılması bu yıldızların yoğun olarak bulunduğu yerlerde kullanmaya elverişlidir. Ancak A türü yıldızlar için bu durum mümkün değildir; çünkü birçoğu anormal çizgi şiddetine sahiptir. Büyük bir ihtimalle normal olarak sınıflandırılamayacak kadar hızlı dönen geç A türü yıldızlar da vardır (Abt ve Moyd 1973).

Birçok A*m* ve 'görünürde normal A' tipi yıldızlar, ikili yıldız sistemlerinin birer üyesidir. Çoğu sistemde ışık şiddetleri oranı bilinmemekte ve yıldız tiplerinin belirlenmesi için mutlaka bulunmalıdır. Başyıldızın bileşenine göre daha sıcak ve büyük olması beklendiği gibi, optik ve moröte bölgede üretilen süreklilik akısının büyük bir kısmı yine başyıldıza aittir. Toplam akıdan bileşen yıldızın akısı çıkarıldığında, başyıldızın etkin sıcaklığına ilişkin ölçümler daha sağlıklı olmaktadır. Ayrıca, özellikle tayf türleri A0, A1, A2 ve F0 olan keskin çizgili 'görünürde normal A' tipi yıldızların seçiminde sorunlar vardır. A3 ve A9 türü yıldızlar çok nadirdir. Çünkü bu bölgede, anakoldan ayrılan δ Sct yıldızları nedeniyle değişim görülür. δ Sct yıldızlarında gözlenen bu etkilerin element bolluklarından kaynaklanıp kaynaklanmadığı henüz bilinmemektedir (Adelman ve Unsuree 2007).

Literatürde yer alan "Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms" başlıklı DAO serisindeki normal A tipi yıldızların bazılarının anormal bolluk sergiledikleri görülmüştür. Atmosfer analizleri, Dr. Robert L. Kurucz (Kurucz 1993, 1995)'un yerel termodinamik denge varsayımlı, paralel düzlem geometrili ATLAS9 ve O'nun ilgili programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DAO tayfsal analiz serisinde; örneğin, Adelman (1991) ve Adelman vd. (1997) tarafından bazı geç-B türü normal yıldızlar (π Cet, 134 Tauri, 21 Aql, ν Cap) ile erken-F türü normal yıldızlar (σ Boo, θ Cyg, ι Psc) incelenmiştir. Söz konusu yıldızların, özellikle nadir toprak elementler bakımından Güneş'e nazaran zengin oldukları tespit edilmiştir.

2.1.1 Fiziksel özellikleri

Yıldız atmosferleri, fotonların uzaya rahatça gönderilmesini ve gözlemci tarafından bu fotonların ölçülebilmesini sağlayan katmanları içermektedir. Yaklaşık 500 nm'lik bir foton için görsel derinliğin yaklaşık %50 olduğu bölgeye 'yıldız fotosferi' denilmektedir. Bir başka ifade ile fotosfer, bir nesnenin ışınım enerjisine karşı saydamlığını kaybettiği bölgenin sınırıdır. Yıldız atmosferlerindeki madde, düşük yoğunluktaki bir gazdır. Bu gazın gözlemlenebilir katmanlardaki yoğunluğu o kadar düşüktür ki; uyarılma, ayrışma ve iyonlaşma dengesinden ayrılsalar bile parçacıklar ideal gaz gibi davranırlar. Eğer bir yıldız atmosferinin durağan olduğu varsayılırsa, bir

başka ifade ile hiçbir makroskopik madde hareketinin etkin olmadığı dikkate alınırsa, atmosferin hidrostatik ve ışınımsal dengede olduğu varsayımı altındaki modeller atmosfer analizlerinde kullanılabilir (Mihalas ve Hubeny 2009).

Yıldız evrimi teorisi açısından bakıldığında, bir yıldızın temel özellikleri kütlesi [M], kimyasal bileşimi ve yaşıdır. Yıldız evrimi eşitlikleri kullanılarak bir yıldızın toplam ışınım gücü [L] ve yarıçapı [R] zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir. Yıldızların M, L ve R değerleri gözlenen ışınım akısından türetilebilir. Bu niceliklerin hassas değerleri, yıldız yapısı hakkında veri sağlamaktadır.

M ve L'nin anlamları açıktır çünkü her ikisi de gözlemlerden elde edilebilir. Dedektör kalibrasyonu ve yıldızlararası maddenin soğurma miktarındaki belirsizlikler nedeniyle L'nin ölçümü zorlaşabilir. Kütle, bir yıldızın başka bir yıldızla kütle çekimsel etkileşime geçtiğinde oluşan dinamik davranışlarından bulunabilir. Temel ilke, M ve L'nin her ikisinin de yıldızın içyapısından bağımsız bir şekilde uzak bir gözlemci tarafından bulunabilir olmasıdır (Mihalas ve Hubeny 2009).

Yarıçap R'nin değeri de her zaman açık ve net değildir. Yoğun atmosfere sahip yıldızlarda (örn.; anakol yıldızları), atmosfer kalınlığı yıldızın fotosfer yarıçapından daha küçüktür. Örneğin, Güneş'in fotosfer kalınlığı sadece birkaç yüz kilometre iken, fotosferinin yarıçapı $R_{\odot} \approx 7 \times 10^5$ km'dir. R ile ilgili kesin verilerin olmadığı durumlarda, atmosferin paralel düzlem katmanlardan oluştuğu varsayımı altında analizler yapılır.

Verilen bir kimyasal bileşim için, atmosfer yoğunluğu, iki temel parametre ile belirlenir. Yoğunluğu belirleyen yüzey çekim ivmesi (g),

$$g \equiv GM/R^2 \; [\; cm/sn^2 \;] \tag{2.2}$$

ve birim alan için yıldızdan salınan yüzey akısı,

$$F = \sigma_R T_e^{\ 4} \ [erg/cm^2/sn] \tag{2.3}$$

eşitlikleri ile belirlenir. Burada σ_R, Stefan-Boltzmann sabitidir. Buradan, yıldızın toplam ışınım gücü,

$$L = 4\pi R^2 \sigma_R T_e^{\ 4} \ [erg/sn] \tag{2.4}$$

olarak elde edilir (Mihalas ve Hubeny 2009).

Yakın bir zamana kadar, yıldızların bolometrik enerji dağılımlarının doğrudan ölçümleri Yer tabanlı gözlemler ile sınırlıydı. 1990'lı yıllarda atmosfer dışına konuşlandırılan tayfölçerlerin gelişimi sayesinde, moröte bölgede de yıldızların akısını doğrudan gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Etkin sıcaklığı 10000 K yöresinde olan bir yıldız için, λ3300Å'den kısa dalgaboylarında toplam akının yaklaşık % 30'u salınırken, λ1100Å de %1'inden daha az oranda salınır. Bu nedenle uydu ve roket gözlemleri, Yer tabanlı optik gözlemlerle birlikte, salınan tayfın büyük oranda elde edilmesini olanaklı kılar. Bolometrik düzeltmeler doğrudan elde edilebilirse ve açısal çap biliniyorsa, etkin sıcaklık modelden bağımsız olarak türetilebilir.

Yıldızın yüzey akısının (F), Dünya atmosferinin dışında ölçülen akı miktarı (f) ile ilişkisi, aşağıdaki ifade ile verilir:

$$F = 4f/\theta^2_{LD} \tag{2.5}$$

Burada, yıldızlararası sönümleme etkileri için f düzeltilmiş olup, θ_{LD} yıldızın açısal çapını ifade eder. Yıldızın etkin sıcaklığı (σ_R Stefan-Boltzmann sabiti olmak üzere):

$$T_e = (F/\sigma_R)^{1/4} \tag{2.6}$$

şeklinde ifade edilir.

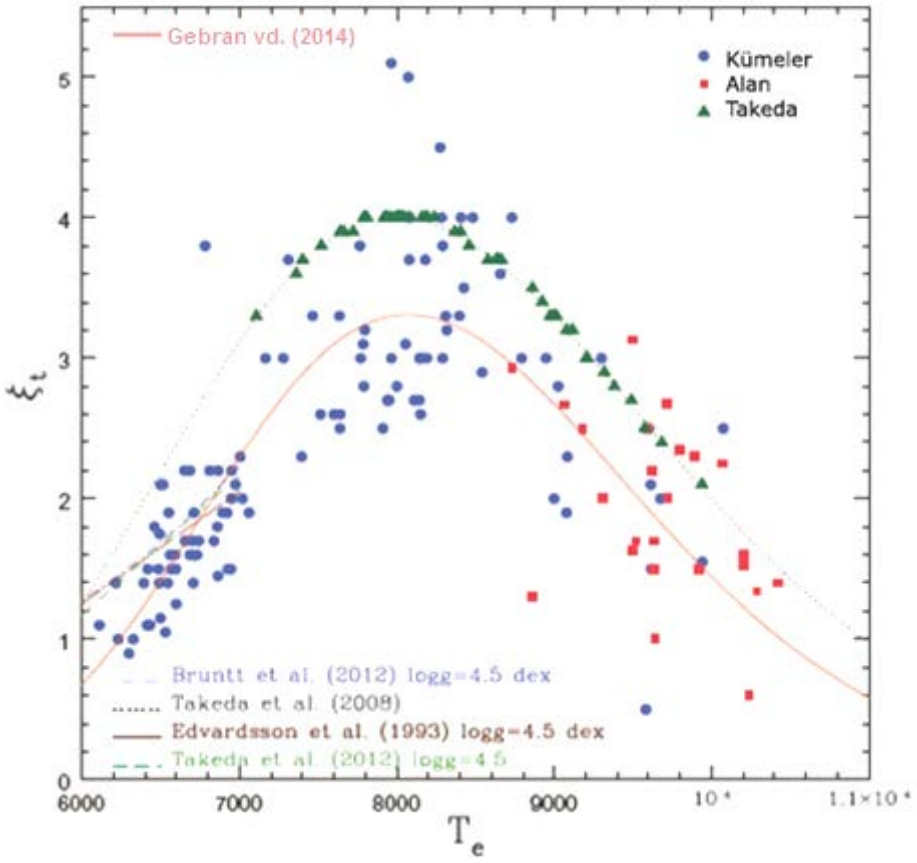
Metal çizgili A*m* tipi yıldızların atmosfer parametreleri (T_e, log g), diğer yıldızlarda olduğu gibi bu yıldız tiplerinin doğasının anlaşılmasına büyük ölçüde yardımcı olur. Bazıları güçlü metalik soğurma çizgilerine sahip olduklarından, gözlemlenen (B – V) ve (U – B) renkleri, normal A tipi yıldızlarla karşılaştırılmasında doğrudan kullanılamaz. Etkin sıcaklığın kesin değerleriyle bu sorun çözülebilir (Baschek ve Oke 1964). Kimyasal tuhaf yıldızların HR diyagramındaki dağılımları, aynı sıcaklık aralığındaki normal yıldızların dağılımlarından farklıdır (Hubrig vd. 2000). Normal A tipi yıldızlar anakol boyunca yer alırken, manyetik özellik gösteren A tipi yıldızlar anakol bandının ortasında nispeten daha yoğun olarak yer almaktadır. Özellikle, yıldızlardan anakol ömrünün en az %30'unu tamamlamış olanların manyetik alan özellikleri tespit edilmiştir. Hipparcos (ESA 1997) paralakslarına sahip yıldız örnekleri içerisinde manyetik özellik göstermeyen ya da çok zayıf özellikli olan birkaç A*p* yıldızı, güçlü manyetik özellikli yıldızların HR diyagramındaki dağılımına benzer dağılım göstermektedirler.

Türbülans hız alanları, bütün yıldızların atmosferlerinde belirli oranda mevcuttur. Gerçekçi bir yıldız atmosfer modeli, türbülansı oluşturan maddenin yapısını ve hızını içermelidir (de Jager 1980). Uygulamalarda bu hususla ilgili dikkate alınması gereken iki durum söz konusudur: Türbülansı oluşturan yıldız maddesinin boyutu, fotonun ortalama serbest yolundan daha küçük ise, hız alanı mikrotürbülans; fotonun ortalama serbest yolundan daha büyük ise oluşan hız alanı makrotürbülans hızını oluşturur.

Mikrotürbülans hızı, anakol bandı ve komşuluğundaki yıldızların atmosfer analizleri ve yüzey element bolluk hesaplamaları için önemli bir 'atmosfer parametresi' dir. Mikrotürbülans hızındaki 0.5 km sn^{-1} lik değişim aralıkları, hesaplanan bolluklarda 0.1 dex ya da daha fazla bir farka karşılık gelmektedir. Adelman (2005)'a göre DAO tayflarının analizine dayalı gerçekleştirilen çalışmalarda normal A tipi yıldızların 17'sinde mikrotürbülans hızı 0 km sn^{-1} civarında iken diğer altı yıldızın ortalama mikrotürbülans hızı 1.6 ± 1.3 km sn^{-1} dir. Yüce ve Adelman (2014) çalışmasında yer alan 20 normal A tipi yıldızın mikrotürbülans hızları 0 - 4.5 km sn^{-1} aralığındadır.

Gigas (1986) ve Lemke (1989) erken A türü yıldızlar için 1 - 3 km sn^{-1} yöresinde mikrotürbülans hız değerleri elde ettiler. Coupry ve Burkhart (1992), A*m* yıldızlarının da yer aldığı geç A türü yıldızların mikrotürbülans hız aralığını ξt = 2 - 4 km sn^{-1} olarak bulmuşlardır. Ayrıca söz konusu çalışmada, mikrotürbülans hızının, anakol boyunca T_e'nin çok önemli bir fonksiyonu olabileceği vurgulanmaktadır.

Gebran vd. (2014) V= 6.5 kadir'den daha parlak 61 adet alan yıldızı, 113 adet çeşitli açık yıldız küme üyesi A/A*m* ve F/F*m* tipi anakol yıldızının atmosfer parametrelerini incelemişlerdir. Söz konusu çalışmada yer alan T_e – ξ grafiği şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1 Gebran vd. (2014) çalışmasına ait T_e - ξ grafiği

Şekil 2.1'de 'içi dolu üçgen' Takeda vd. (2008)'nin gözlemsel verileridir. Grafik aynı zamanda Edvardsson vd. (1993), Takeda vd. (2008), Bruntt vd. (2012) ve Takeda vd. (2012) çalışmalarından elde edilmiş kuramsal eğrileri de içermektedir. Bu grafikte yer

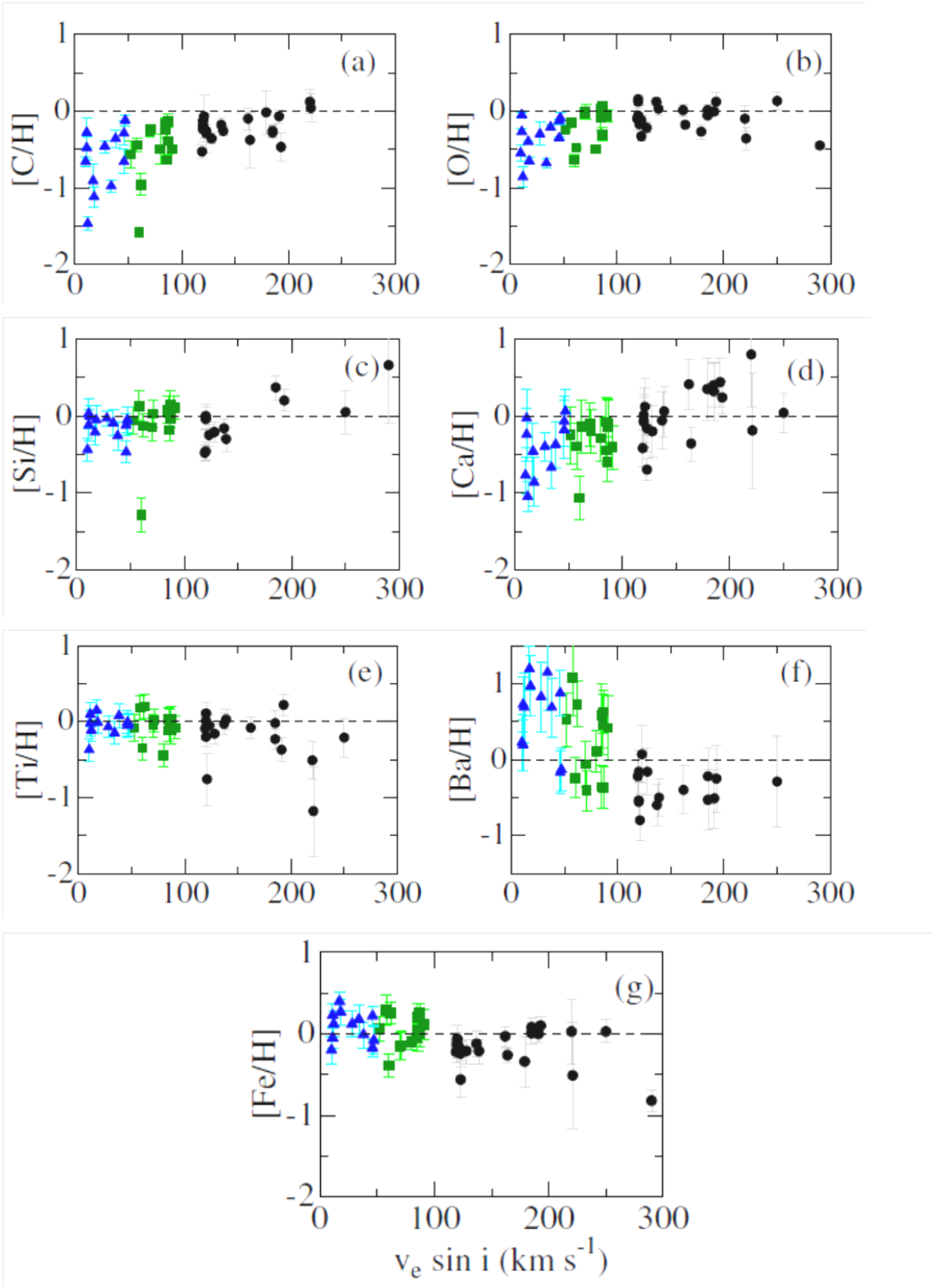
alan hata miktarı etkin sıcaklık değerlerinde ±250 K ve mikrotürbülans hızında ±0.5 km sn^{-1} dir. Mikrotürbülans hızında en yüksek değer A5V ve A9V tayf türü aralığındaki yıldızlarda tespit edilmiş olup; daha soğuk ve daha sıcak yıldızların mikrotürbülans hızında 1 km sn^{-1}'e varan bir azalış görülmüştür.

Dönme, A türü yıldızlarda önemli bir fiziksel süreçtir. Açısal dönme hızları A5 türlerinde en yüksek değerine ulaşır. Yavaş dönen A tayf türü yıldızlar, kimyasal tuhaf olma eğilimindedirler. Atalarından çok az bir kısmı gözlemlenmiştir. A türü yıldızlarda anakol yaşamlarının ilk üçte birlik diliminde dönme hızının arttığına ilişkin bilgiler tespit edilmiştir (Zorec ve Royer 2012).

Murphy (2014) tarafından incelenen A tayf türü yıldızların dönme hızları 0 - 400 km sn^{-1} aralığında dağılmaktadır. Dağılım, deneysel olarak sadece bir Maxwell hız denklemi ile ifade edilemez. Aslında iki Maxwell hız denklemi bile yetersizdir. Çünkü (i) hızlı dönen normal yıldızlar, (ii) yavaş dönen normal yıldızlar ve (iii), yavaş dönen kimyasal tuhaf (CP) yıldızlar olmak üzere farklı popülasyonları barındırmaktadır. Hızlı dönen CP yıldızları nadiren gözlenmektedir. Yüce ve Adelman (2014)'ın yaptığı çalışmada normal A tipi yıldızların dönme hızı (v sin i) 5.0 – 44.0 km sn^{-1} aralığındadır.

A türü yıldızlar içerisinde, dönme hızı ve tayfın görünümü arasında yakın bir ilişki olsa da normal A tipi yıldızlar, kimyasal tuhaf yıldızlardan çok daha hızlı dönmektedir. Bu ilişki tayfsal anormalliklerin kaynağı konusunda önemli bir ipucu vermektedir.

Takeda vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen tayfsal çalışmalarda 46 adet A tayf türü normal, A*m* ve A*p* tipi yıldız incelenmiştir. Söz konusu çalışmada yıldız atmosferlerindeki C, O, Si, Ca, Ti, Fe ve Ba element bollukları ile yıldızların dönme hızı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Takeda vd. (2008) çalışmasına ait [element] - *v* sin *i* grafikleri

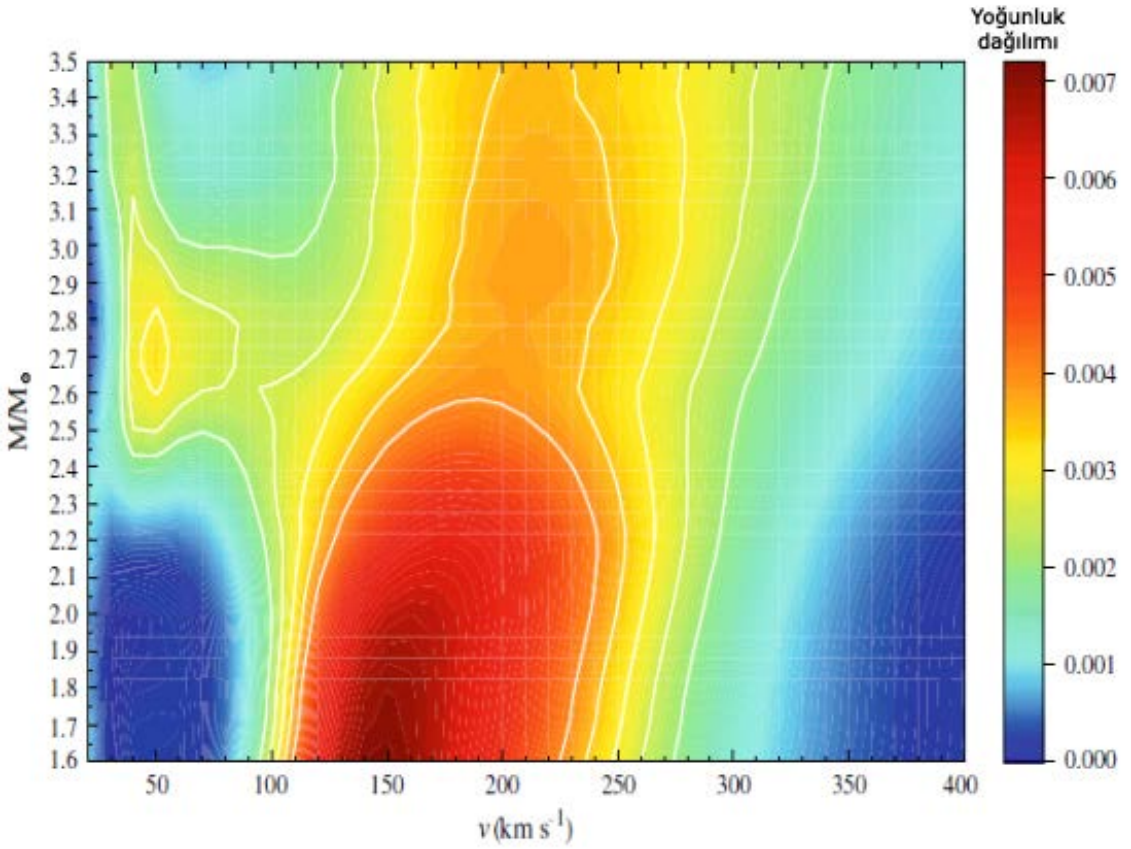
Benzer şekilde element bollukları ile dönme hızları (*v* sin *i)* arasında çapraz korelasyon hesaplaması yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

(i) Si ve Ti bollukları: Dönme hızı ile ilintili değildir.
(ii) C, O ve Ca bollukları: Dönme hızı ile negatif korelasyon göstermektedir.
(iii) Ba bolluğu: Dönme hızı ile negatif korelasyon göstermektedir.

Aynı çalışmada Güneş'e nazaran demir bolluğu ([Fe/H]) ilişkisi de incelenmiş, benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Şekil 2.4).

A0-F0 tayf türü aralığında, normal A tipi anakol yıldızlarının ekvatoryal dönme hızları, geniş bir aralıkta dağılırken, A*m* ve mCP yıldızlarına ait hızların ise < 120 km sn^{-1} değerinde olduğu Abt ve Morrell (1995) tarafından tespit edilmiştir. Metal çizgili yıldızlarda Balmer çizgilerinin çekirdek kısmının, normal A tipi yıldızlarınkine nazaran daha derin olduğuna dair bir bulguya rastlansa da, bu denli düşük yoğunluklu iç bölgelerin fotoğraf plâklarına dayalı ölçümleri şüphe uyandırmıştır. Bu etki gerçekse; söz konusu bulgu, kimyasal tuhaf yıldızlar için düşük yüzey sıcaklığının bir göstergesi kabul edilebilir (Baschek ve Oke 1964). Yüzey çekim ivmesi bakımından, normal A ve A*m* yıldız tipleri arasında anlamlı bir fark yoktur ve anakol yıldızlarındaki gibi olmaları beklenir. Göze çarpan tek fark 15 Vul yıldızının yüzey çekim ivmesinin benzer tip yıldızlara nazaran beklenenden bir miktar düşük olmasıdır (Relyea ve Kurucz 1978).

Zorec ve Royer (2012), kütlesi ~2.5 $M_{\odot}$'den büyük olan yavaş dönen 'normal' yıldız popülasyonunu incelediler (Şekil 2.3). Geç B türü yıldızların tek tip dağılımının; sadece yavaş dönen A*p* yıldız serisi ve hızlı dönen normal B yıldız serisi ile açıklanabileceğin aksine, yavaş dönen normal yıldızlarla da açıklanabileceğini göstermiş oldular (Abt vd. 2002).



Şekil 2.3 Normal yıldızlarda, kütlenin bir fonksiyonu olarak ($M/M_{\odot}$) gerçek dönme hızlarının (v) dağılımları (Zorec ve Royer 2012)

Şekil 2.3'de renk ölçeği tek boyutlu normalleştirilmiş dağılım yoğunluğunu temsil etmektedir. Mavi bölge daha düşük yoğunluklu yıldızların bulunduğu ve kırmızı/sarı bölge de daha yüksek yoğunluklu yıldızların bulunduğu yerlerdir. Beyaz çizgiler eşit yoğunluklu eşyükselti eğrilerini göstermektedir. Yani iki beyaz çizgi arasındaki bölgede bulunan yıldızlar aynı yoğunluktaki yıldızlardır (Zorec ve Royer 2012).

Abt (1965), A4-F2 tayf türü aralığında altdev ve cüce 55 normal yıldızın, çift olma durumlarını incelemiştir. Bunlardan 17 yıldızın 100 günden büyük yörünge dönemlerine sahip çift sistemlerin üyesi oldukları sonucuna varmıştır. Abt ve Bidelman (1969) çift yıldızlar içerisinde dönemi $P < 2.5$ gün olan birkaç normal A tipi yıldız bulmuşlardır. Dworetsky (1974)'nin, A0 yöresi 250 yıldız üzerinde yaptığı çalışmada ise, yavaş dönen yıldızların bulunduğu bölgede tayfsal çift yıldız sayısında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

2.1.2 Kimyasal Özellikleri

A türü yıldızların bolluk çalışmaları genellikle, kimyasal tuhaf yıldızlar açısından ele alınır. Bu durumun iki nedeni vardır. Birincisi, çizgi şiddeti anormallikleri nicel analiz gerektiren olağanüstü zorlukla hesaplanan niceliklerdir. İkincisi, detaylı bir çalışmasına izin verecek kadar keskin çizgili normal A tipi yıldızlar sayı bakımından azdır.

Adelman vd. (2003) manyetik özellik göstermeyen yıldız tiplerinden soğuk HgMn yıldızlarının sıcak A*m* yıldızlarına evrimleştiğini gösterdi. Adelman ve Unsuree (2007), normal A ve A*m* tipi yıldızların birbirini kapsayan bolluklara sahip olduklarını ve tespit edilen bazı bolluk tuhaflıklarının birbirleriyle uyumlu olduğuna dikkat çekti. A0 ile kodlanan tayf türü yöresinde normal ve A*m* tipi yıldızlar oldukça benzer element bolluk yapıları sergilemektedir. Normal A tipi yıldızların birçoğu, yüzeylerine ait kimyasal yapı içeriği bakımından Güneş'e nazaran ±0.40 dex aralığında farklılık gösterir. Bu bolluk farklılıklarını gösterme eğiliminde olanlar, genellikle ağır elementlerdir. Michaud (2004) bolluk anormalliklerinin, yıldızın iç katmanlarından ziyade, yüzey boyunca olduğunu göstermiştir. Yıldız atmosfer katmanlarındaki türbülans hızı yüzeydeki hız değerine yakındır ve kütle kaybı gözlenen bollukları değiştirebilir.

"Yüzey kimyasal bileşimi bir bütün olarak yıldızın oluşumunu yansıtıyor mu?" sorusuna verilecek yanıt, yıldızdan yıldıza gözlenen bolluk farklılıkları, oluştukları yıldızlararası maddenin bileşimindeki dalgalanmaları yansıtıyor olabilir (Cowley vd. 1983). Ya da metal fakiri yıldızlar, λ Boo tipi yıldızlar mıdır? Bu olasılıkla ilgili temel problem, λ Boo yıldızlarının metal fakirliği için muhtemel bir açıklama olmadığından, bir λ Boo yıldızının başlangıçta var olan bolluklarındaki değişimler görünürde normal kimyasal bileşimli B5 V tayf türünde başyıldızlı bir görsel çift yıldızın üyesi olduğu görüşüne dayanmaktadır (Sergeant 1965).

Vega ile Sirius yıldızlarının C, N ve O bollukları Lambert vd. (1982) tarafından elde edilmiştir. Vega yıldızında bu üç hafif elementin bollukları, kabul edilmiş olan Güneş bolluk değerlerine yakındır. Oysaki Sirius yıldızı, Güneş'e nazaran karbon bakımından dört kat ve oksijen bakımından iki kat fakir iken, yıldızın azotça iki kat zengin olduğu

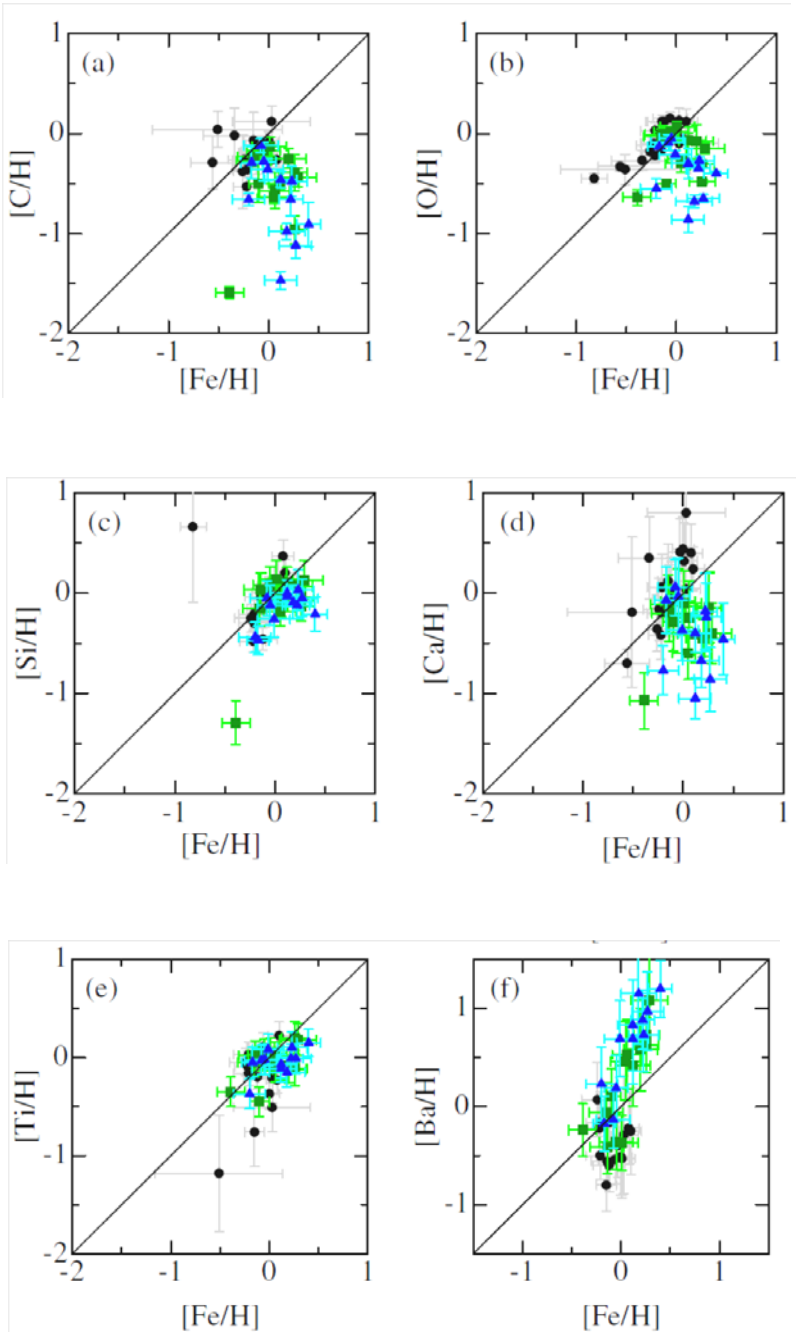
bulunmuştur. CNO döngüsünü akla getiren bu durum, toplam CNO bolluk değerlerini dengelemektedir. Güneş fotosferinde CNO toplam bolluğu 9.15 dex iken, Sirius yıldızında 8.76 dex dir. Eğer Sirius yıldızının [Fe/H] değeri -0.8 dex ise, normal CNO/Fe değeri ile uyumlu olmaktadır. Ama Sirius yıldızının bu miktarda metal fakiri olduğuna dair herhangi bir bulguya henüz rastlanmamıştır (Michaud vd. 1976; Lambert vd. 1982).

Şu anda mevcut sınırlı verilerle yapılan bu tartışma; normal A tipi yıldızların kimyasal bileşimine yönelik yanıtlardan çok, yeni ve daha fazla sorulara sebep olmaktadır. Bu tip yıldızların kapsamlı araştırmaları, erken A türü yıldızların nasıl tek tip bir kimyasal yapıya sahip olacağı ve tek yıldızlarda hangi mekanizmaların elementlerdeki bolluk farklılıklarına neden olduklarına yönelik sorulara literatürde yanıt aranmaktadır.

Takeda vd. (2008) tarafından incelenen 46 adet normal A, A*p* ve A*m* tipi yıldızların atmosferlerindeki C, O, Si, Ca, Ti, Fe ve Ba element bollukları ile [Fe/H] arasındaki ilişkiler çapraz korelasyon yöntemiyle araştırılmıştır (Şekil 2.4). Söz konusu çalışmada katsayılara ilişkin herhangi bir bulguya yer verilmezken, aşağıdaki sonuçlar yer almaktadır:

Şekil 2.2 ve 2.4 de yer alan yıldızlar dönme hızı değerlerine göre; üçgen ile temsil edilenler 50 km sn^{-1}'den düşük, kare ile gösterilenler 50 – 100 km sn^{-1} arasında ve daire ile gösterilenler 100 km sn^{-1}'den büyük yıldızlardır. Takeda vd. bu A türü 46 yıldıza (normal A, A*p* ve A*m* tipi) ait yedi elementin bolluklarını tespit ederek metal bolluğuna göre çapraz korelasyon hesaplamasını yapmışlar ve aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

(i) Si ve Ti elementleri [Fe/H] ile ilintili değildir.
(ii) C, O ve Ca elementleri [Fe/H] ile negatif korelasyon göstermektedir.
(iii) Ba elementi [Fe/H] ile pozitif korelasyon göstermektedir.



Şekil 2.4 Takeda vd. (2008) çalışmasına ait [element] - [Fe/H] grafikleri

Yüce ve Adelman (2014) tarafından DAO serisindeki B, A, erken F türü normal, HgMn ve A*m* tipi yıldızların element bollukları tek bir standarda dönüştürüldükten sonra, yıldızlar kimyasal yapılarına göre ayrıca gruplandırıldı. Söz konusu çalışmada 17 adet 'HgMn', 21 adet 'A*m*' ve 20 adet 'normal' yıldız incelenmiştir. Kullanılan

Güneş'e ilişkin element bolluk değerleri, Asplund vd. (2009) tarafından verilen değerlerdir. Elde ettikleri tayfsal çıkarımlardan hareketle, yıldızların atmosfer parametrelerine bağlı gözlemsel HR diyagramı türetilmiştir. He, C, O, Mg, Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Hg içeren otuz iki (32) elementin HR diyagramı üzerindeki dağılımları, yıldızdan yıldıza olan bolluk farklılıklarının gözlenmesinde belirleyici olmuştur.

2.2 A*m* Tipi Yıldızlar

Metal çizgili yıldızlar ilk kez Titus ve Morgan (1940) tarafından kimyasal tuhaf yıldızlar olarak fark edilmiştir. Sonraki çalışmalarda, incelenen bütün A*m* yıldızlarının yavaş dönen yıldızlar ($V_{ekvator}$ ~100 km sn^{-1}) olduğu tespit edilmiştir. Tayflarında A*p* yıldızları ile benzer anormallikler göstermeyen, metalik çizgili ve aynı zamanda manyetik özellik göstermeyen yıldızlara A*m* tipi yıldızlar denilmektedir. A - F tayf türü aralığında kimyasal tuhaf olmayan yıldızların hemen hemen %70 kadarı δ Scuti değişenleri olarak sınıflandırılmaktadır. Değişen yıldız olmayanların çoğu ise metal çizgili A*m* tipi yıldızlardır. Bu tip yıldızların zonklamadıkları gözlemsel olarak henüz kanıtlanmamasına rağmen, genellikle iki olasılık üzerinde durulur: Fotometrik değişim gösteren A*m* tipi yıldızlar, ya sayı bakımından nispeten azdır ya da sahip oldukları zonklamalar henüz tespit edilemeyecek derecede düşük genliklidir (Carrier vd. 2007).

A*m* tipi yıldızlarda C, N, O ve Ca bollukları genelde Güneş'e nazaran daha az iken demir grubu elementler daha fazladır. Bu bolluk anormalliklerinin nedenleri arasında gezegen soğurması, kütle kaybı, türbülans gibi farklı fiziksel süreçler gösterilebilir (Michaud 2005).

Adelman (2005)'a göre, normal yıldızlar ile metalik çizgili yıldızlar arasında keskin bir tayfsal ayrım henüz tespit edilmemiştir. Öyle ki, normal A tipi ve A*m* yıldızları birbirini kapsayan bolluk değerlerine sahiptir. Söz konusu bu araştırma, Adelman and Unsuree (2007) tarafından 17 yıldız ile devam ettirilmiştir. Gözlenen birçok bolluk tuhaflığının birbirleriyle uyumlu olduğu bulunmuştur. Bu bulgu, Am türü yıldız olgusunun, birçok 'görünürde normal A' yıldızlarında (superficially normal stars) da rol oynadığı

sonucunu doğurmaktadır. Bu tür çalışmaları genişletmek için, ilâve yıldızların gözlenmiş olması, H_β bölgesinin kısa dalgaboyunda çalışılması ve daha önce incelenen yıldızların daha geniş tayf bölgesinde yeniden ele alınması gerekmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Atmosferlerinin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri bakımından aralarındaki ilişkileri incelenen yıldızlar, normal A tipi ve A*m* tipi yıldızlar olup bu çalışmanın temel materyallerini oluşturmaktadır. Bu amaçla, özellikle B2-F2 tayf türü aralığında literatürdeki boşluğu önemli ölçüde kapatan Yüce ve Adelman (2014)'ın tayfsal çalışması üzerinde yoğunlaşılmıştır. Söz konusu çalışma, Dominion Astrofizik Gözlemevi'nin tayfsal gözlemlerinden elde edilen verilere dayanır. Bu tez çalışmasında 20 normal A tipi ve 21 A*m* tipi olmak üzere toplamda 41 yıldız ele alınarak, normal A tipi yıldızların atmosfer özelliklerine has yeni bulguların kazandırılması hedeflendi. Yıldızların etkin sıcaklık (T_e), yüzey çekim ivmesi (log g), mikrotürbülans hızı (ξ), dönme hızı (ν sin *i*) gibi fiziksel parametreleri (Çizelge 3.1-3.2) ile birlikte, atom numarası 2 (He) - 80 (Hg) arasındaki 42 elemente ait göreli element bolluklarına ait bilgiler çizelge 3.3-3.4'de verilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının başlığına konu olan normal A tipi yıldızların bu çalışmada inceleniyor olması, çok sayıda yıldızın birlikte değerlendirilmesini gerektirdiğinden, yıldız seçiminde literatürde seri olarak yayınlanan tayfsal analizlere yönelmemize sebep olmuştur. Bu nedenle aynı gözlemevinden, aynı gözlemci (Prof. Dr. Saul J. Adelman) tarafından elde edilen tayfsal gözlem verilerine dayalı yapılan çalışma serisi (Yüce ve Adelman 2014), değişik tekniklerin uygulanmasıyla ve farklı verilerin kullanılmasıyla oluşacak farklılıkları da ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla tüm tayfsal diziler yakın kalitede olduğundan, ölçümlerin duyarlılığı ve buradan elde edilen sonuçların güvenilirliği artmaktadır. Yüce ve Adelman (2014)'dan temin edilen atmosfer niceliklerine ait gözlemsel tayflar, Dominion Astrofizik Gözlemevi'nin (Victoria, Kanada) 1.2 metrelik teleskobuna bağlı Reticon ve CCD detektörler yardımıyla alınmıştır. Coude tayflarının dalgaboyu genişlikleri 63 Å ve 147 Å olup 2.4 Å mm^{-1}'lik ayırma gücüne sahiptir. Tayfların sinyal - gürültü oranı, S/G $\geq$ 200 dir. İncelenen tayf aralığı genellikle λ3820 – 4900 Å olup, bazı yıldızlar için daha uzun dalgaboylarını içermektedir. Tayf ölçümleri, Hill ve Fisher (1986)'in geliştirdiği Prof.

Dr. Austin F. Gulliver tarafından WINDOWS ortamlı PC bilgisayarlara uyarlanan PLOTFITS, REDUCE ve VLINE programları yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kimyasal bolluk analizlerinde, "yüksek çözünürlüklü / ince analiz (fine analysis)" tekniği uygulanmıştır (bkz. örn.; Yüce vd. 2011). Ardışık analizler sürecinde; gözlemsel tayflar üzerinde bulunan çizgi profillerinin tamamı tespit edilerek atom / iyon tanımlanmaları yapılır. Ancak dalga boyları birbirine oldukça yakın olan, birkaç elemente ait çizgiler tayf üzerinde üst üste binerek oluşan binişik (blend) çizgiler analizlerde kullanılmamaya özen gösterilmiştir. Bugüne kadar gelinen noktada yıldızların atmosfer parametreleri (yüzey sıcaklığı, yüzey çekim ivmesi, türbülans hızları) ve elementlerin göreli bollukları, söz konusunda çalışmalar neticesinde elde edilen önemli parametrelerdir. Bu durumda yıldızların "Güneş ve Güneş ile ilintili kimyasal-bileşimli" normal yıldızlardan olan sapmaları belirlenmektedir. DAO serisinde yer alan bazı yıldızlar yıllar içerisinde daha yüksek kaliteli ve/veya daha geniş tayf bölgesinde yeniden incelenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar DAO serisinde ilk ve güncel sonuçlar arasında, uzun dönemli bir tutarlılığın olduğunu göstermiştir. Tespit edilen bu durum zaman içerisinde geliştirilen analiz teknikleri, donanımsal bazı yenilemelerin yapılmış olması ve geliştirilen çizgi osilatör şiddetlerinin uygulanması ilk sonuçları desteklemiştir. Güncel atomik verilerin kullanımı sayesinde (detay için bkz. Erden-Çabuk 2012), aynı elementin iki iyonu arasındaki dengeye en iyi uyan element bolluk oranları düzeltilmektedir (Yüce 2015).

Normal A ve A*m* tipi yıldızların fiziksel parametrelerine ilişkin çizelge 3.1- 3.2'de verilen kaynakça bilgileri, kimyasal parametrelerin yer aldığı çizelge 3.3-3.8 için de aynıdır.

Çizelge 3.1 Normal A tipi yıldız atmosferlerinin fiziksel parametreleri

Normal	**T_e (K)**	**log g**	**ξ (km sn^{-1})**	***v* sin *i* (km sn^{-1})**	**Kaynak**
99 Her	6100	4.40	0.5	5.0	Adelman vd. (2000)
ι Psc	6177	4.19	1.2	6.0	Adelman vd. (1997)
γ Ser	6300	4.00	1.2	9.0	Çalışkan vd. (2002)
σ Boo	6744	3.88	1.6	7.5	Adelman vd. (1997)
θ Cyg	6810	4.34	1.5	7.0	Adelman vd. (1997)
η Lep	6925	3.85	2.5	13.5	Yüce vd. (2011)
28 And	7350	3.65	3.5	14.0	Adelman vd. (2000)
101 Her	8061	3.69	4.5	41.0	Çalışkan vd. (2002)
2 Lyn	9295	4.10	2.1	44.0	Çalışkan vd. (1997)
α Dra	9975	3.63	0.0	25.0	Adelman vd. (2011)
ν Cap	10250	3.90	0.0	23.0	Adelman (1991)
κ Cep	10341	3.64	0.0	23.0	Adelman vd. (2011)
14 Cyg	10750	3.55	0.0	31.0	Adelman (1999)
134 Tau	10825	3.88	0.0	27.0	Adelman (1991)
ς Dra	12500	3.50	1.1	28.0	Adelman (1998)
21 Aql	13000	3.60	0.3	12.0	Adelman vd. (2010)
π Cet	13150	3.85	0.0	20.0	Adelman (1991)
HR 7926	13306	3.55	0.0	26.0	Adelman (2001)
22 Cyg	14156	3.35	0.0	22.0	Adelman (1998)
τ Her	15000	4.10	0.0	37.0	Adelman vd. (2001)

Çizelge 3.2 A*m* tipi yıldız atmosferlerinin fiziksel parametreleri

A*m*	**T_e (K)**	**log g**	**ξ (km sn^{-1})**	***v* sin *i* (km sn^{-1})**	**Kaynak**
15 Vul	7700	3.50	4.0	9.2	Adelman vd. (1997)
32 Aqr	7700	3.65	4.5	4.8	Adelman vd. (1997)
6 Lyr	8155	3.90	5.6	31.0	Adelman vd. (1999)
ε Ser	8420	4.30	5.2	33.0	Adelman ve Albayrak (1998)
112 Her B	8500	4.20	1.2	8.0	Ryabchikova vd. (1996)
HR 6455	8700	3.25	2.1	8.7	Yüce vd. (2011)
HR 4072B	8900	4.20	1.0	7.0	Adelman (1994)
λ UMa	9000	3.75	2.8	50.0	Adelman (1999)
68 Tau	9025	3.95	2.5	9.0	Adelman (1994)
π Dra	9125	3.80	3.1	26.0	Adelman vd. (2011)
ι Del	9150	4.20	2.6	40.0	Adelman vd. (2010)
60 Leo	9250	4.25	3.4	17.0	Adelman vd. (1999)
θ Leo	9250	3.55	1.8	23.0	Adelman (1988)
59 Her	9325	3.65	2.8	27.0	Adelman (1999)
21 Lyn	9500	3.73	1.6	18.0	Adelman (1994)
Ø Aql	9534	4.05	3.1	28.0	Çalışkan ve Adelman (1997)
o Peg	9600	3.60	1.7	6.0	Adelman (1988)
β UMa	9600	3.80	2.0	45.0	Adelman vd. (2011)
ω UMa	10026	3.88	1.1	46.0	Çalışkan ve Adelman (1997)
29 Vul	10200	4.10	1.2	49.0	Adelman ve Albayrak (1998)
σ Aqr	10125	4.00	1.0	21.0	Adelman ve Albayrak (1998)

Çizelge 3.3 Normal A tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (He - Sc)

Normal	He	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Sc
99 Her		0.06			-1.88	-0.23	-1.10	-0.32	-0.55	-0.41	-0.07
ι Psc		0.04			-1.62	-0.10	-0.54	0.42	0.22	-0.06	0.12
γ Ser		-0.03			-1.70	0.22	-0.46	-0.34		-0.16	-0.01
σ Boo		-0.48				0.01	-0.76	-0.20		-0.35	-0.42
θ Cyg		0.22				-0.06	0.20	0.22	0.17	0.05	0.13
η Lep		0.05		0.17		0.08	-0.94			-0.14	-0.19
28 And		-0.02				-0.16	-0.80	-0.22	-0.29	-0.23	-0.14
101 Her				-0.34		-0.12	-0.58	-0.13		-0.02	0.17
2 Lyn		0.07				-0.10	0.04	-0.34		-0.14	-0.07
α Dra	0.01	0.00		-0.16		-0.24	-0.31	-0.09		-0.34	-0.47
ν Cap	-0.12	0.18		-0.02		-0.26	-0.48	-0.20	0.03	0.11	-0.49
κ Cep	-0.07	-0.09		0.11		-0.14	-0.25	-0.33	-0.20	-0.01	-0.39
14 Cyg	0.07	0.07		0.27		0.02	-0.10	0.16	0.05	-0.40	-0.65
134 Tau	0.07	0.12				-0.13	-0.30	-0.04	0.35	0.03	-0.40
ζ Dra	0.15	0.21	0.28	-0.03		-0.05	0.17	0.29	0.36	-0.10	
21 Aql	0.04	-0.23	0.35	0.16		-0.15	-0.22	0.12	0.08	-0.15	
π Cet	0.00	-0.20	0.29	0.01		-0.19	-0.02	-0.27	0.06	-0.06	
HR 7926	0.07	0.09	-0.07	0.02		-0.19	0.02	0.10	-0.01	0.21	
22 Cyg	0.11	0.04	-0.05	0.27		-0.02	-0.13	0.12	0.12	0.35	
τ Her	0.11	0.04	0.08	-0.05		-0.20	-0.16	0.03	0.12	-0.08	

Çizelge 3.4 Normal A tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (Ti - Zr)

Normal	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Sr	Y	Zr
99 Her	-0.25	-0.06	-0.20	-0.26	-0.35	-0.30	-0.22	-0.40	-0.15	-0.23	0.00
ι Psc	-0.04	0.15	0.10	0.36	0.03	0.06	-0.14	-0.05	-0.05	0.29	0.44
γ Ser	-0.12	0.18	0.15	-0.16	-0.04	-0.26	0.03	-0.16	0.01	-0.01	0.36
σ Boo	-0.29	-0.27	-0.20	0.23	-0.35	-0.39	-0.30	-0.43	-1.42	-0.22	-0.34
θ Cyg	0.15	0.33	0.19	0.34	0.14	0.21	0.24	-0.12	0.27	0.14	0.37
η Lep	-0.14	0.03	-0.06	-0.07	-0.17	0.55	-0.20	-0.36	-0.29	-0.12	0.08
28 And	-0.06	-0.03	-0.07	0.02	-0.18	-0.56	-0.11	-0.40	0.18	-0.06	-0.09
101 Her	-0.01	0.47	0.01	0.09	-0.07	-0.21	0.20	-0.18	-0.07	-0.43	0.24
2 Lyn	0.19	0.17	0.07		-0.15		-0.20		-0.21		0.42
α Dra	-0.13	-0.10	-0.06	-0.05	-0.24		-0.20		-0.44		
ν Cap	0.00	0.43	0.19	-0.12	-0.03		0.11		0.36		0.06
κ Cep	0.04	0.02	0.18	0.23	-0.07		-0.10		0.11	0.32	0.59
14 Cyg	-0.12	0.11	0.19	0.33	-0.04		-0.04		-0.09	1.60:	
134 Tau	-0.01	-0.04	-0.05		-0.07		-0.07		-0.10		
ζ Dra	-0.13		-0.25		-0.13		-0.25				
21 Aql	-0.02		-0.17		-0.09		-0.05				
π Cet	-0.12		-0.18		-0.20		-0.20				
HR 7926	-0.10		-0.22	0.50	-0.08		-0.25				
22 Cyg	-0.07		-0.45		-0.29						
τ Her	0.29		-0.19		-0.17		-0.94				

Çizelge 3.5 Normal A tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (Ba - Dy)

Normal	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
99 Her	-0.40	0.48	0.05	-0.23	-0.03	0.46	-0.39	0.71	0.07	-1.33
ι Psc	0.93	0.43	0.49	0.24	0.38	1.13	0.98	0.97		
γ Ser	-0.17	0.33	0.25	0.17	-0.01	0.65	-0.01	0.61		
σ Boo	-0.17	-0.09	0.13	-0.31	-0.21	0.39	-0.49	0.66		
θ Cyg	0.18	0.24	0.36		0.17	0.30	0.36			-0.11
η Lep	-0.05	0.07	0.37		0.23		-0.14	1.68		
28 And	0.05	0.03	0.22		-0.04	0.51	0.15	0.02		-0.18
101 Her	-0.09	0.26			0.99	1.20	1.17	0.95		
2 Lyn	0.95									
α Dra	0.09									
ν Cap	0.53									
κ Cep	1.07									
14 Cyg										
134 Tau										
ζ Dra										
21 Aql										
π Cet										
HR 7926										
22 Cyg										
τ Her										

Çizelge 3.6 A*m* tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (He - Ti)

A*m*	He	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Sc	Ti
15 Vul		0.13			-0.27	-0.56	-0.25	0.25	-0.34	-0.54	-0.16
32 Aqr				-1.48	-0.21	0.03	-0.06	0.20	-0.45	-1.14	-0.06
6 Lyr		0.26			0.12	0.13	-0.15		-0.33	-0.86	0.30
ε Ser					-0.14	0.19	-0.07	0.17	-0.71		0.46
112 Her B		-0.28	0.69		-0.71	-1.27	-0.89		-0.17	-0.41	0.30
HR 6455		-0.14	-0.87		-0.28	0.25	-0.01	0.38	-0.14	-0.34	0.06
HR 4072B		-0.37			-0.48	-1.04	-0.79		-0.79	-1.22	-0.01
λ UMa		0.28	0.02		0.12	0.28	0.18		-0.08	-0.18	0.26
68 Tau	0.02	-0.23			-0.04	0.43	0.09	0.75	-0.33	-0.97	0.50
π Dra	-0.15	-0.08			-0.20	0.31	0.20	0.85	0.10	-0.44	0.22
ι Del		0.42			-0.11	0.30	-0.44		-0.45		0.29
60 Leo		0.01			-0.23	0.32	0.00		-0.48	-2.03	0.27
θ Leo	-0.15				-0.20	-0.48	0.03	0.56	-0.02	-0.42	0.10
59 Her		0.24	0.06		0.22	0.44	0.19		0.48	0.15	0.46
21 Lyn	-0.03	-0.14			-0.43	-0.51	-0.04		-0.17	-0.54	-0.10
Ø Aql	-0.45		-0.12		-0.08	0.31	0.18		0.07		0.41
ο Peg	-0.19	-0.83			-0.12	-0.03	-0.07	0.88	0.14	-0.45	0.19
β UMa	-0.45	-0.12			-0.22	0.18	-0.07		0.01	-0.33	0.20
ω UMa	-0.33	-0.83			-0.37	0.16	-0.06		-0.01	-0.10	0.24
29 Vul	-0.15	-0.49			-0.43	-0.04	-0.21		-0.33	-0.51	-0.11
σ Aqr	0.03				-0.30	0.30	-0.04	0.62	-0.34	-0.53	0.04

Çizelge 3.7 A*m* tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (V - Ba)

A*m*	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Sr	Y	Zr	Ba
15 Vul	0.01	-0.03	0.05	-0.25	0.07	0.23	0.30	0.55	0.34	0.61	0.54
32 Aqr	0.45	0.29	0.11	0.08	0.54	0.64	0.59	0.87	0.83	1.14	0.84
6 Lyr	0.77	0.39	0.55	0.40		0.85	0.83	0.90	1.47	1.34	0.94
ε Ser	0.38	0.37	0.23	0.23	0.98	0.60	0.52	0.64	1.03	0.91	0.99
112 Her B	0.75	0.40	0.59	0.08	0.68	0.70		0.46	1.12	0.73	1.74
HR 6455	0.27	0.18	0.19	0.11	0.38	0.58	0.67	0.81	0.79	0.96	0.53
HR 4072B	0.27	0.14	0.33	-0.03	-0.08	0.32		0.63	1.15	0.43	2.37
λ UMa	0.60	0.60	0.27	0.24		0.86	0.85	1.52	1.23	1.24	1.59
68 Tau	0.64	0.66	0.49	0.35	0.66	0.84	0.85	1.25	0.85	1.10	1.29
π Dra	0.59	0.41	0.43	0.34	0.59	0.85	0.93	1.39	1.02	1.17	1.45
ι Del	0.78	0.42	0.57	0.36		0.68	0.83	-0.11	0.81	0.91	1.41
60 Leo	0.64	0.51	0.46	0.45	0.33	0.86	0.97	1.29	1.00	1.23	1.53
θ Leo	0.62	0.04	0.06	0.02	0.06	0.43		0.82	0.31	0.70	>0.84
59 Her	0.77	0.71	0.39	0.42	0.56	0.77	0.75	1.21	0.82	0.96	1.28
21 Lyn	0.28	-0.10	-0.10	-0.17	0.34	0.18		0.83	0.14	0.48	0.53
Ø Aql	0.87	0.56	0.20	0.41	0.56	-0.14		0.83	0.59	0.96	1.54
o Peg	0.77	0.19	0.25	0.28	0.22	0.63		1.12	0.66	0.98	>1.33
β UMa	0.69	0.31	0.27	0.21		0.76	0.73	0.06	0.80	1.03	1.42
ω UMa	0.44	0.19	0.35	0.23		0.52		1.18	1.25	0.88	1.45
29 Vul	0.00	0.11	0.01	0.01		0.37	1.16	0.62		0.42	1.23
σ Aqr	0.47	0.19	0.22	0.18	0.70	0.58	0.77	1.01	0.78	0.76	1.22

Çizelge 3.8 A*m* tipi yıldızların Güneş değerlerinden olan bolluk farkları (La - Hf)

A*m*	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Tm	Hf
15 Vul	0.74	0.90	1.02	0.47	0.81	0.71	0.95	0.08			
32 Aqr	1.32	1.43	1.46	1.00	0.98	1.05	0.98	0.45	0.57		1.65
6 Lyr	1.68	1.61		1.15		1.47					
ε Ser	1.26	1.31		0.99		0.96					
112 Her B	1.21	1.80	2.20	1.83	2.06	0.73	1.59				
HR 6455	0.94	0.97		0.84		0.83	1.09	0.81			
HR 4072B	0.77	1.05		0.96						1.10	
λ UMa	1.57	2.16									
68 Tau	1.14	1.46	2.04	1.02	1.79	0.78	1.62	1.01			
π Dra											
ι Del		1.00	1.64			1.86	1.84				
60 Leo	1.49	1.69		1.99		1.25	1.90				
θ Leo	0.54										
59 Her	1.40	1.41		1.40		2.10	2.02				
21 Lyn	0.50										
Ø Aql		1.57									
o Peg	0.96			1.29		1.27		0.59	0.91		0.85
β UMa											
ω UMa											
29 Vul											
σ Aqr											

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında incelenen yıldızların fiziksel parametreleri (T_e, log g, ξ, v sin i) ve Güneş'e nazaran kimyasal bileşimleri (C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba) arasındaki ilişkilerin araştırılmasında uygulanan yöntem, istatistiksel matematiğe dayalı "çapraz korelasyon" tekniğidir. Teknik, normal A ve metal çizgili yıldız tipleri için kendi içerisinde ayrı ayrı uygulanmıştır.

Dönme hızı, mikrotürbülans hızı ve metal bolluğuna bağlı olarak C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba element bolluk dağılımları grafik yöntemi ile incelendi. Bu bağlamda türetilen grafikler; (T_e - log g), (T_e - ξ), (T_e - ν sin i) fiziksel parametreleri arasında ve (ν sin i - [X/H]), (ξ - [X/H]), ([Fe/H] - [X/H]) fiziksel ve kimyasal parametreleri arasındadır. Burada X gösterimi incelenen C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba elementlerinin göreli bolluklarını ifade eder. Grafiklerde, 'içi dolu daireler' normal A tipi yıldızları, 'içi dolu üçgenler' A*m* tipi yıldızları ve 'içi dolu kareler' HgMn tipi yıldızları temsil etmektedir.

3.2.1 Çapraz korelasyon tekniği

Bir dizi niceliğin aralarındaki ilişkiyi incelemede yaygın olarak kullanılmakta olan yöntemlerden biri çapraz korelasyon analiz tekniğidir. Çapraz korelasyon tekniği en genel hali ile, aynı periyot içerisinde birim zaman aralıklarında u ve y gibi iki değişkene sahip N sayıda girdi parametresinin dikkate alınması durumunda, veri setinin $(u_1,y_1),...,(u_N,y_N)$ dizisi şeklinde ifade edilmesidir. Bu gözlemsel veriler, (U_t,Y_t) gibi ayrık iki değişkenli stokastik / rastgele bir sürecin, sonlu bir gerçekleştirmesi olarak ele alınabilir.

Çapraz korelasyon tekniğine matematik açısından bakıldığında; f(t) ve g(t) gibi verilen iki fonksiyonun çapraz-korelasyonu $\phi_{fg}(\tau)$, (3.1) no'lu bağıntı ile verilmektedir.

$$\phi_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t+\tau)dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t-\tau)g(t)dt \qquad (3.1)$$

Bu iki integral ifadesinin eşitliği aynı zamanda $\phi_{fg}(\tau) = \phi_{gf}(-\tau)$ olduğuna işaret eder. Söz konusu eşitlikte, fonksiyonun hesaplanmasında hangi fonksiyonun diğerine göre değiştirileceği (kaydırıldığı) önemlidir. Her iki fonksiyon birim aralıklar ile sayısallaştırıldığında, (3.1) no'lu integral eşitliğine benzeyen;

$$[\phi_{fg}]_J = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_i g_{i+J} \tag{3.2}$$

bağıntısı elde edilir. Burada ilk alt indis (f) sabit tutulan fonksiyonu, ikinci alt indis (g) ise kaydırılan fonksiyonu temsil etmektedir. Çapraz korelasyon fonksiyonunun davranışı, ilişkilendirilen iki fonksiyon arasındaki benzerliğin derecesine bağlıdır. İki fonksiyon birbirine benzer ise değeri artmakta, aksi halde azalmaktadır. Tamamen rastgele veri bulunması halinde ise, değeri sıfır olur (Rikitake vd. 1987).

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\,[n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \tag{3.3}$$

İki boyutlu korelasyon hesaplamasında x ve y serilerinin değerleri (3.3) no'lu denklemde yerleştirilerek korelasyon katsayısı "r" değeri hesaplanır. Buna göre; eğer,

- r = 1 ise x ve y serilerinin arasında kuvvetli pozitif bir ilişki vardır.
- r = -1 ise x ve y serileri arasında kuvvetli negatif bir ilişki vardır.
- r = 0 ise x ve y serileri arasında herhangi bir bağıntı bulunmamaktadır. Bunun anlamı x ve y serilerini oluşturan veriler hiçbir şekilde birbirini etkilemezler şeklindedir.

Ayrıca |r| = 0.7'den büyük değerlerde x ve y serilerini oluşturan verilerin arasında kuvvetli pozitif (strong positive correlation) veya kuvvetli negatif korelasyon (strong negative correlation) vardır. Bu değerin üzerindeki değerler iki serinin birbirine bağlı olduğunu göstermektedir.

Korelasyon hesaplamasının temel iki amacı vardır. Birincisi, değişkenler arası ilişkinin açıklanmasına yardımcı olmak; ikincisi benzer sonuçları önceden tahmin etmektir. Korelasyon analizi iki değişken arasındaki (çoklu regresyon; multiple regression) ilişkinin gücünü ölçmek için kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında incelenen verilerden etkin sıcaklık (T_e), yüzey çekim ivmesi (log g), mikrotürbülans hızı (ξ) ve dönme hızı ($v \sin i$) gibi yıldız atmosferlerine ilişkin fiziksel parametreleri ile; C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y, Ba element bollukları gibi kimyasal nicelikler arasında, çapraz-korelasyon tekniği ile ilişkiler incelenmiştir. Söz konusu hesaplamalar 'Microsoft Office 2007' platformunda 'Excel' programında gerçekleştirildi. Hesaplamalarda izlenen yol, aşağıda anlatılmıştır:

- Veriler, Excel tablosunda x ve y değerleri birbirine karşılık gelecek şekilde düzenlendi (Çizelge 3.5-3.6).
- Korelasyon hesaplama yöntemi, "KORELASYON(*dizi1*, *dizi2*)" şeklinde olup (9) no'lu denklemden türetilmiştir. Burada "*dizi1*" ve "*dizi2*" olarak tanımlanan veriler, korelasyon hesaplaması yapılan iki veri setinin seçilen hücre değerlerini içermektedir. Yani *dizi1* için bir veri seti seçilirken, *dizi2* için de karşılaştırma yapılması istenen diğer veri seti seçilerek bunların arasındaki ilişki hesaplaması program tarafından otomatik olarak gerçekleştirildi.
- Korelasyon hesaplaması yapılan her ikili dizi için korelasyon katsayısı değerinin girileceği çizelgeler hazırlandı (Çizelge 4.1-4.2).

Korelasyon hesaplamaları yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir (https://support.office.com/tr-tr/article/KORELASYON-i%C5%9Flevi-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92):

- Dizi bağımsız değişkeninde; metin, mantıksal değer ya da boş hücre varsa, bu değerler göz ardı edilir. Ancak sıfır değerine sahip hücreler dikkate alınır (sıfır değeri korelasyon hesabında etkisiz eleman olmadığından hesaba dâhil edilmektedir).

- *dizi1* ve *dizi2* farklı sayıda veri noktasına sahipse, 'KORELASYON' işlevi "#YOK" hata değerini verir.
- *dizi1* veya *dizi2* boşsa ya da değerlerinin standart sapma miktarı sıfıra eşitse, KORELASYON işlevi "#BÖL/0!" hata değerini verir.

Korelasyon hesaplamalarında kullanılan parametreler ve onlara ait değerler, normal A tipi yıldızlar için çizelge 3.5 ve A*m* tipi yıldızlar için çizelge 3.6'da verilmektedir.

Bu tez çalışmasında incelenen 20 normal A ve 21 A*m* tipi yıldızın atmosfer parametrelerine ilişkin yapılan korelasyon hesaplamalarına ait sonuçlar "Bölüm 5: Tartışma ve Sonuçlar" kısmında sunulmaktadır.

Çizelge 3.9 Normal A tipi yıldızlar için çapraz korelasyon veri bilgisi

Normal	T_e (K)	log g	ξ (km sn^{-1})	$v \sin i$ (km sn^{-1})	[He/H]	[C/H]	[O/H]	[Mg/H]	[Si/H]	[Ca/H]	[Sc/H]	[Ti/H]	[Cr/H]	[Fe/H]	[Ni/H]	[Sr/H]	[Y/H]	[Ba/H]
99 Her	6100	4.40	0.5	5.0		0.06		-0.23	-0.32	-0.41	-0.07	-0.25	-0.20	-0.35	-0.22	-0.15	-0.23	-0.40
ι Psc	6177	4.19	1.2	6.0		0.04		-0.10	0.42	-0.06	0.12	-0.04	0.10	0.03	-0.14	-0.05	0.29	0.93
γ Ser	6300	4.00	1.2	9.0		-0.03		0.22	-0.34	-0.16	-0.01	-0.12	0.15	-0.04	0.03	0.01	-0.01	-0.17
σ Boo	6744	3.88	1.6	7.5		-0.48		0.01	-0.20	-0.35	-0.42	-0.29	-0.20	-0.35	-0.30	-1.42	-0.22	-0.17
θ Cyg	6810	4.34	1.5	7.0		0.22		-0.06	0.22	0.05	0.13	0.15	0.19	0.14	0.24	0.27	0.14	0.18
η Lep	6925	3.85	2.5	13.5		0.05	0.17	0.08		-0.14	-0.19	-0.14	-0.06	-0.17	-0.20	-0.29	-0.12	-0.05
28 And	7350	3.65	3.5	14.0		-0.02		-0.16	-0.22	-0.23	-0.14	-0.06	-0.07	-0.18	-0.11	0.18	-0.06	0.05
101 Her	8061	3.69	4.5	41.0			-0.34	-0.12	-0.13	-0.02	0.17	-0.01	0.01	-0.07	0.20	-0.07	-0.43	-0.09
2 Lyn	9295	4.10	2.1	44.0		0.07		-0.10	-0.34	-0.14	-0.07	0.19	0.07	-0.15	-0.20	-0.21		0.95
α Dra	9975	3.63	0.0	25.0	0.01	0.00	-0.16	-0.24	-0.09	-0.34	-0.47	-0.13	-0.06	-0.24	-0.20	-0.44		0.09
ν Cap	10250	3.90	0.0	23.0	-0.12	0.18	-0.02	-0.26	-0.20	0.11	-0.49	0.00	0.19	-0.03	0.11	0.36		0.53
κ Cep	10341	3.64	0.0	23.0	-0.07	-0.09	0.11	-0.14	-0.33	-0.01	-0.39	0.04	0.18	-0.07	-0.10	0.11	0.32	1.07
14 Cyg	10750	3.55	0.0	31.0	0.07	0.07	0.27	0.02	0.16	-0.40	-0.65	-0.12	0.19	-0.04	-0.04	-0.09	1.60	
134 Tau	10825	3.88	0.0	27.0	0.07	0.12		-0.13	-0.04	0.03	-0.40	-0.01	-0.05	-0.07	-0.07	-0.10		
ζ Dra	12500	3.50	1.1	28.0	0.15	0.21	-0.03	-0.05	0.29	-0.10		-0.13	-0.25	-0.13	-0.25			
21 Aql	13000	3.60	0.3	12.0	0.04	-0.23	0.16	-0.15	0.12	-0.15		-0.02	-0.17	-0.09	-0.05			
π Cet	13150	3.85	0.0	20.0	0.00	-0.20	0.01	-0.19	-0.27	-0.06		-0.12	-0.18	-0.20	-0.20			
HR 7926	13306	3.55	0.0	26.0	0.07	0.09	0.02	-0.19	0.10	0.21		-0.10	-0.22	-0.08	-0.25			
22 Cyg	14156	3.35	0.0	22.0	0.11	0.04	0.27	-0.02	0.12	0.35		-0.07	-0.45	-0.29				
τ Her	15000	4.10	0.0	37.0	0.11	0.04	-0.05	-0.20	0.03	-0.08		0.29	-0.19	-0.17	-0.94			

Çizelge 3.10 A*m* tipi yıldızlar için çapraz korelasyon veri bilgisi

A*m*	**T_e (K)**	**log g**	**ξ (km sn^{-1})**	***v* sin *i*** **(km sn^{-1})**	**[He/H]**	**[C/H]**	**[O/H]**	**[Mg/H]**	**[Si/H]**	**[Ca/H]**	**[Sc/H]**	**[Ti/H]**	**[Cr/H]**	**[Fe/H]**	**[Ni/H]**	**[Sr/H]**	**[Y/H]**	**[Ba/H]**
15 Vul	7700	3.50	4.0	9.2		0.13		-0.27	-0.25	-0.34	-0.54	-0.16	-0.03	-0.25	0.23	0.55	0.34	0.54
32 Aqr	7700	3.65	4.5	4.8				-0.21	-0.06	-0.45	-1.14	-0.06	0.29	0.08	0.64	0.87	0.83	0.84
6 Lyr	8155	3.90	5.6	31.0		0.26		0.12	-0.15	-0.33	-0.86	0.30	0.39	0.40	0.85	0.90	1.47	0.94
ε Ser	8420	4.30	5.2	33.0				-0.14	-0.07	-0.71		0.46	0.37	0.23	0.60	0.64	1.03	0.99
112 Her B	8500	4.20	1.2	8.0		-0.28	0.69	-0.71	-0.89	-0.17	-0.41	0.30	0.40	0.08	0.70	0.46	1.12	1.74
HR 6455	8700	3.25	2.1	8.7		-0.14	-0.87	-0.28	-0.01	-0.14	-0.34	0.06	0.18	0.11	0.58	0.81	0.79	0.53
HR 4072B	8900	4.20	1.0	7.0		-0.37		-0.48	-0.79	-0.79	-1.22	-0.01	0.14	-0.03	0.32	0.63	1.15	2.37
λ UMa	9000	3.75	2.8	50.0		0.28	0.02	0.12	0.18	-0.08	-0.18	0.26	0.60	0.24	0.86	1.52	1.23	1.59
68 Tau	9025	3.95	2.5	9.0	0.02	-0.23		-0.04	0.09	-0.33	-0.97	0.50	0.66	0.35	0.84	1.25	0.85	1.29
π Dra	9125	3.80	3.1	26.0	-0.15	-0.08		-0.20	0.20	0.10	-0.44	0.22	0.41	0.34	0.85	1.39	1.02	1.45
ι Del	9150	4.20	2.6	40.0		0.42		-0.11	-0.44	-0.45		0.29	0.42	0.36	0.68	-0.11	0.81	1.41
60 Leo	9250	4.25	3.4	17.0		0.01		-0.23	0.00	-0.48	-2.03	0.27	0.51	0.45	0.86	1.29	1.00	1.53
θ Leo	9250	3.55	1.8	23.0	-0.15			-0.20	0.03	-0.02	-0.42	0.10	0.04	0.02	0.43	0.82	0.31	0.84
59 Her	9325	3.65	2.8	27.0		0.24	0.06	0.22	0.19	0.48	0.15	0.46	0.71	0.42	0.77	1.21	0.82	1.28
21 Lyn	9500	3.73	1.6	18.0	-0.03	-0.14		-0.43	-0.04	-0.17	-0.54	-0.10	-0.10	-0.17	0.18	0.83	0.14	0.53
Ø Aql	9534	4.05	3.1	28.0	-0.45		-0.12	-0.08	0.18	0.07		0.41	0.56	0.41	-0.14	0.83	0.59	1.54
o Peg	9600	3.60	1.7	6.0	-0.19	-0.83		-0.12	-0.07	0.14	-0.45	0.19	0.19	0.28	0.63	1.12	0.66	1.33
β UMa	9600	3.80	2.0	45.0	-0.45	-0.12		-0.22	-0.07	0.01	-0.33	0.20	0.31	0.21	0.76	0.06	0.80	1.42
ω UMa	10026	3.88	1.1	46.0	-0.33	-0.83		-0.37	-0.06	-0.01	-0.10	0.24	0.19	0.23	0.52	1.18	1.25	1.45
29 Vul	10200	4.10	1.2	49.0	-0.15	-0.49		-0.43	-0.21	-0.33	-0.51	-0.11	0.11	0.01	0.37	0.62		1.23
σ Aqr	10125	4.00	1.0	21.0	0.03			-0.30	-0.04	-0.34	-0.53	0.04	0.19	0.18	0.58	1.01	0.78	1.22

3.2.2 Grafik yöntemi

a) Normal A tipi ve A*m* tipi yıldızlarının etkin sıcaklık değerlerine bağlı olarak incelenen fiziksel parametre değişimleri, yüzey çekim ivmesi için şekil 4.1 - 4.2, mikrotürbülans hızı için şekil 4.3 - 4.4 ve dönme hızı için şekil 4.5 - 4.6 da verilmektedir.

Mevcut verilerin değişimini görmek adına grafiklere kuramsal bazı fit uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Belirleme katsayısı R^2 değeri küçük gözükmesine rağmen; (log g, ξ , *v* sin *i)* ile log T_e arasında istatistik test öngörülerine ihtiyaç duyulmuştur.

R^2 değeri X'lerin Y'ler üzerine regresyonu yapıldığında X açıklayıcı değişkeninin Y'leri

$$\mathbf{Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \varepsilon_i} \; ; \; (i=1,2,\ldots,n \text{ olmak üzere}) \qquad (3.4)$$

açıklama yüzdesi olarak tanımlanabilir. Böyle bir regresyon modeli için temel varsayımlar;

a) ε_i'lerin 'bağımsız aynı dağılımlı (iid)' olması $\varepsilon_i \sim$ iid $N(0, \sigma^2)$ beklenir.

b) X'lerin rasgele olmaması gerekir. Yani X ler bilinen açıklayıcı değişkenlerdir.

Bu tez çalışmamızda X değişkeni etkin sıcaklıktır. Bu da bir rasgele değişkendir. Görünüşte regresyon eşitliği gibi görülen (3.4) no'lu eşitlik, temel varsayımları karşılamamaktadır. Modelleme yapılmak istendiğinde yine regresyon tekniklerinden faydalanılır. Ancak istatistiki sonuç çıkarımları için R^2 değeri yerine lineer ilişkinin 't-istatistiğinin değeri' ile kontrol edilmesi daha anlamlıdır. Örneğin, incelenen normal A tipi yıldızlarda log g'nin log T_e üzerine regresyonu yapıldığında,

$$\widehat{\log g} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \log T_e \qquad (3.5)$$

şeklinde bir ilişki elde edilmiştir. Burada H_0: $\beta_1 = 0$ yokluk hipotezi $\alpha = 0.05$ anlam düzeyinde red edilemez ise log g ile log T_e arasında bir ilişkinin olmadığı söylenebilir.

Bulgularımızda R^2 değerinin oldukça küçük olduğu gözlenmiştir. Oysa açıklayıcı değişken rolündeki log T_e değişkeni de bir rasgele değişken olduğundan istatistiki sonuç çıkarım için R^2'nin değeri yerine t-istatistiklerinin kullanılması daha anlamlıdır. Bu iki değişken arasında,

$$\log \hat{g}_i = \hat{\beta}_0 - 0.54762 \log T_e \tag{3.6}$$

şeklinde bir ilişki gözlendiğinde,

$$t_{hesap} = \hat{\beta}_1 / S(\hat{\beta}_1) \tag{3.7}$$

olmak üzere; eğer,

$$|t_{hesap}| > t_{n-2}\left(\frac{\alpha}{2} = 0.025\right) \tag{3.8}$$

ise H_0 (α = 0.05 anlam düzeyinde) red edilmektedir. Yani, log T_e değişkeni ile log g_i değişkeni arasında bir ilişki vardır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen normal A tipi yıldız sayısı n = 20 olduğundan, n-2 = 18 dir. Buradan t_{hesap} = - 3.034 olup, $|t_{hesap}|$ = 3.034 > 2.101 = $t_{18}(0.025)$ olduğundan H_0 red edilir. Yani, log T_e ile log g değişkenleri arasında lineer bir ilişki vardır.

Bu tez çalışmasında her iki yıldız tipi için etkin sıcaklık üzerine yapılan regresyon irdeleme sonuçları Bölüm 4'te yer almaktadır.

b) He, C, N, O, (Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca) hafif elementler, (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn) demir grubu elementler, (Ga, Sr, Y, Zr, Xe, Ba) ağır elementler ve (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Hf, Pt, Au ve Hg) nadir toprak elementleri bakımından, Güneş'e nazaran bolluk miktarları ([X/H]), atom numarasına (Z) bağlı olarak, normal A ve A*m* yıldız tipleri için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4.7-4.8). Grafikler 'Microsoft Office 2007' platformunda 'Excel' programı aracılığıyla çizilmiştir.

c) Yüce ve Adelman (2014) çalışmasında yer alan manyetik özellik göstermeyen yıldız tipleri arasında; etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivme değerleri birbirine yakın yıldızlar belirlendi. Burada amaç, aynı yıldız tipleri içerisinde yıldızdan yıldıza kimyasal bileşimlerin benzerliklerini ve farklılıklarını tespit etmektir. Atmosfer parametreleri bakımından birbirine çok yakın değerlere sahip yıldızların HgMn ve A*m* tipi yıldızlarda olduğu görüldü. Atmosfer parametreleri bakımından birbirine yakın olan yıldızlar

(i) HR 4072 A & 46 Dra B; HgMn tipi
(ii) HR 8349 & HR7361; HgMn tipi
(iii) ε Ser & 112 Her B; A*m* tipi

çiftleridir. Atom numarasının fonksiyonu olarak Güneş'e nazaran element bollukları [X/H]; HR 4072 A & 46 Dra B için şekil 4.9, HR 8349 & HR7361 için şekil 4.10 ve ε Ser & 112 Her B için şekil 4.11 de verilmektedir.

d) On üç elemente (C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba) ait göreli element bolluklarının, yıldız atmosferlerindeki mikrotürbülans hızı, dönme hızı ve [Fe/H] değerlerine göre değişimini gösteren grafikler oluşturulmuştur (normal A tipi için EK 4 ve A*m* tipi için EK 5).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında incelenen normal A tipi ve metal çizgili yıldızların etkin sıcaklık (T_e), yüzey çekim ivmesi (log g), mikrotürbülans hızı (ξ) ve dönme hızı (ν sin i) arasındaki ilişkiler ayrı ayrı grafikler halinde, Bölüm 4.1 - 4.3'de (EK 1-3), Güneş'e nazaran element bollukları Bölüm 4.4'de incelenmiştir.

4.1 Etkin Sıcaklık ve Yüzey Çekim İvmesi

Normal A ve A*m* tipi yıldızların etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi arasındaki ilişki incelenmek üzere, sırasıyla, şekil 4.1 - 4.2 grafikleri oluşturulmuştur. Her iki yıldız tipinin birbirini kapsayan (T_e - log g) değerlerine sahip olmaları nedeniyle aynı grafikte gösterildiler (EK 1). Grafiklerde normal A tipi yıldızlar 'içi dolu daire, mavi renk', A*m* tipi yıldızlar 'içi dolu üçgen, kırmızı renk' ile temsil edilmiştir.

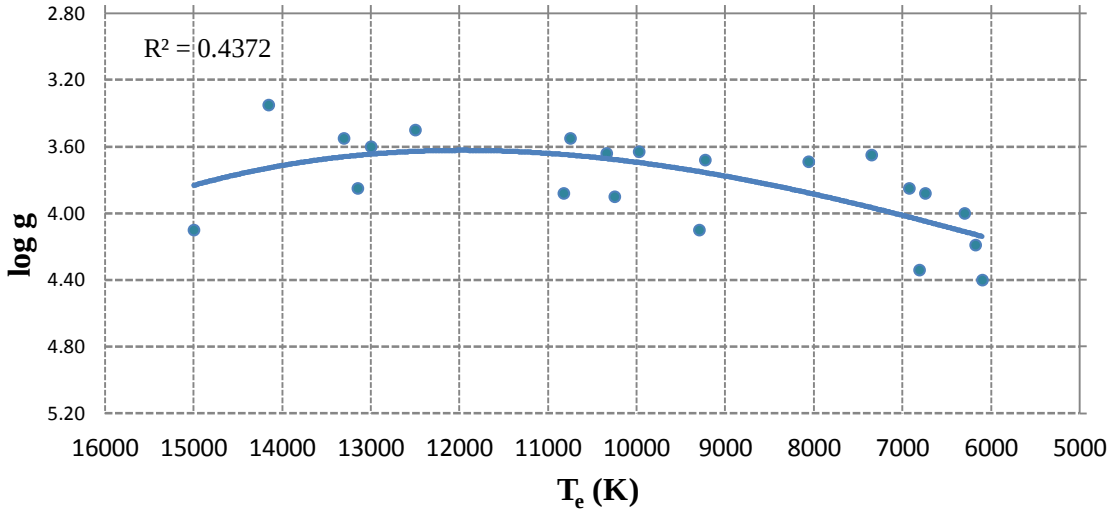
(T_e - log g) grafikleri, HR diyagramı düzeninde oluşturulmuştur. Yüksek çözünürlüklü tayfsal analizlerde farklı yöntemlerden elde edilen en olası atmosfer parametrelerinin hata miktarı; yüzey çekim ivmesi için belirsizlik ±0,2 ve etkin sıcaklık için ±150 K dir (Lemke 1989). DAO serisinde incelenmek üzere seçilen yıldızların T_e ve log g değer aralıkları aşağıdaki gibidir:

- Normal A tipi : ΔT_e = 6100 - 15000 K ve Δ log g = 3.32 - 4.40 dex
- A*m* tipi : ΔT_e = 7700 - 10125 K ve Δ log g = 3.26 - 4.32 dex

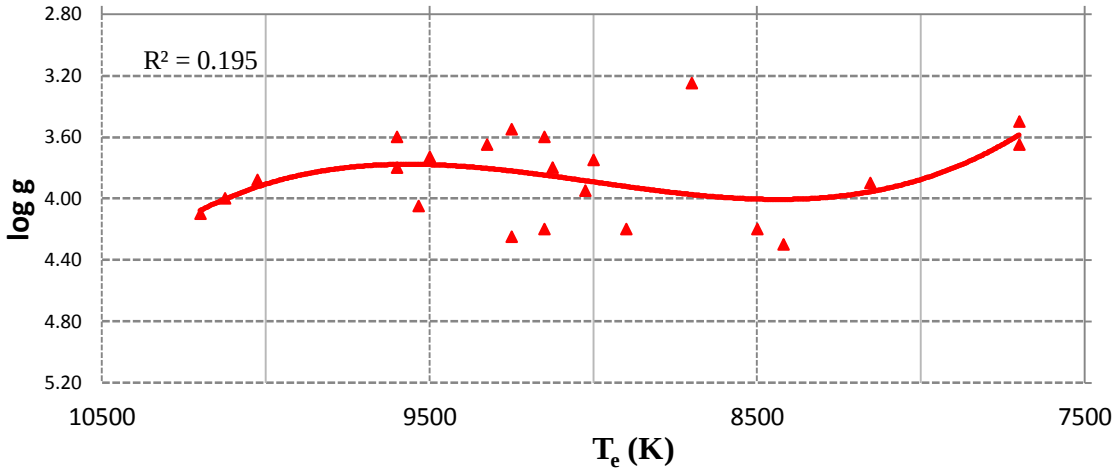
Grafiklerde, temsili polinom eğrilerine ilişkin R^2 (regresyon katsayısı) değeri yer almaktadır.

R^2 değeri küçük gözükmesine rağmen, normal A tipi 20 adet yıldız için log g'nin log T_e üzerine regresyonu yapıldığında; (3.9) no'lu ilişki elde edilmiştir. Buradan t_{hesap} = - 3.034 olup, $|t_{hesap}| = 3.034 > 2.101 = t_{18}(0.025)$ olduğundan yokluk hipotezi H_0 red edilir. Yani, log T_e ile log g değişkenleri arasında lineer bir ilişki vardır.

R^2 değeri küçük gözükmesine rağmen, A*m* tipi 21 yıldız için log g'nin log T_e üzerine regresyonu yapıldığında, t_{hesap} = 0.823 olup, $|t_{hesap}|$ = 0.823 < 2.093 = $t_{19}(0.025)$ olduğundan yokluk hipotezi H_0 red edilemez. Yani, log T_e ile log g değişkenleri arasında lineer bir ilişki yoktur.



Şekil 4.1 Normal A tipi yıldızlar için T_e - log g grafiği



Şekil 4.2 A*m* tipi yıldızlar için T_e - log g grafiği

4.2 Etkin Sıcaklık ve Mikrotürbülans Hızı

Normal A tipi ve A*m* tipi yıldızların etkin sıcaklık ve mikrotürbülans hızı arasındaki ilişki incelenmek üzere, sırasıyla, şekil 4.3 ve 4.4 grafikleri oluşturulmuştur. Her iki

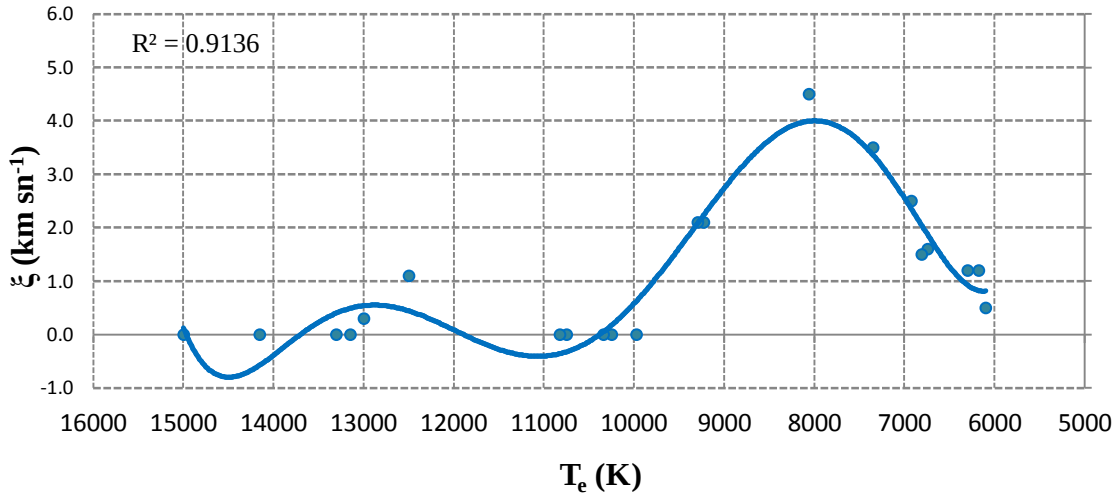
yıldız tipi birbirini kapsayan (T_e - ξ) değerlerine sahip olmaları sebebiyle birleştirilmiş grafik EK 2 de görüldüğü gibidir. Grafiklerde normal A tipi yıldızlar 'içi dolu daire', A*m* tipi yıldızlar 'içi dolu üçgen' ile temsil edilmiştir.

DAO serisinde incelenen yıldızlar için mikrotürbülans hız değerlerindeki belirsizlikler ±0.1 km sn^{-1} civarındadır. Bu tez çalışmasındaki örneklem yıldızların ξ değer aralıkları aşağıdaki gibidir:

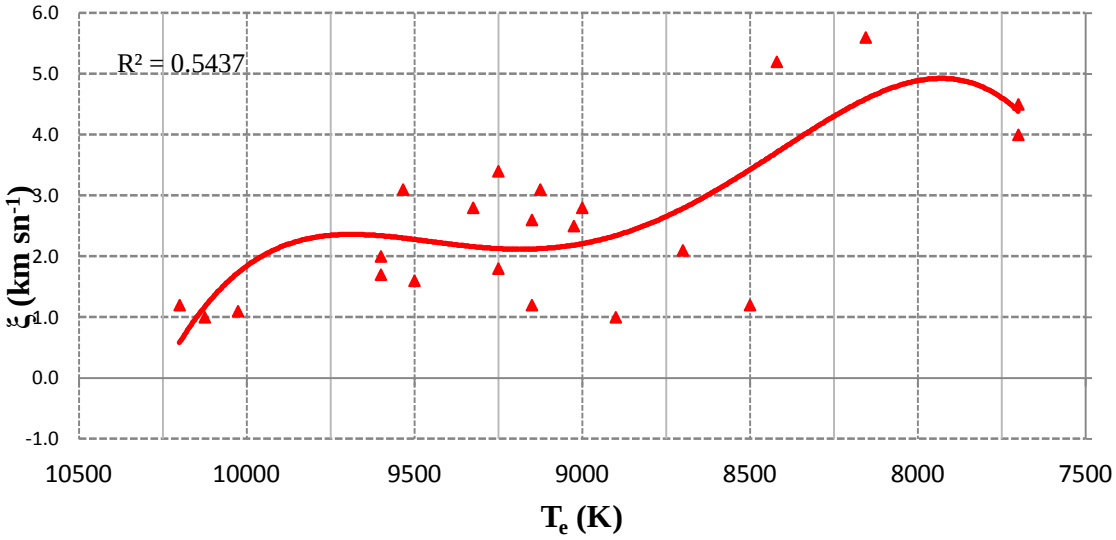
- Normal A tipi : $\Delta\xi$ = 0 - 4.5 km sn^{-1}
- A*m* tipi : $\Delta\xi$ = 1.0 - 5.6 km sn^{-1}

Normal A tipi yıldızlar için mikrotürbülans hızının etkin sıcaklık üzerine regresyonu yapıldığında, t_{hesap} = - 2.824 olup, $|t_{hesap}|$ = 2.824 > 2.101 = $t_{18}(0.025)$ olduğundan yokluk hipotezi H_0 red edilir. Yani, log T_e ile ξ değişkenleri arasında lineer bir ilişki vardır.

A*m* tipi yıldızlar için mikrotürbülans hızının etkin sıcaklık üzerine regresyonu yapıldığında, t_{hesap} = -4.242 olup, $|t_{hesap}|$ = 4.242 > 2.093 = $t_{19}(0.025)$ olduğundan yokluk hipotezi H_0 red edilir. Yani, log T_e ile ξ değişkenleri arasında lineer bir ilişki vardır.



Şekil 4.3 Normal A tipi yıldızlar için T_e - ξ grafiği



Şekil 4.4 A*m* tipi yıldızlar için T_e - ξ grafiği

4.3 Etkin Sıcaklık ve Dönme Hızı

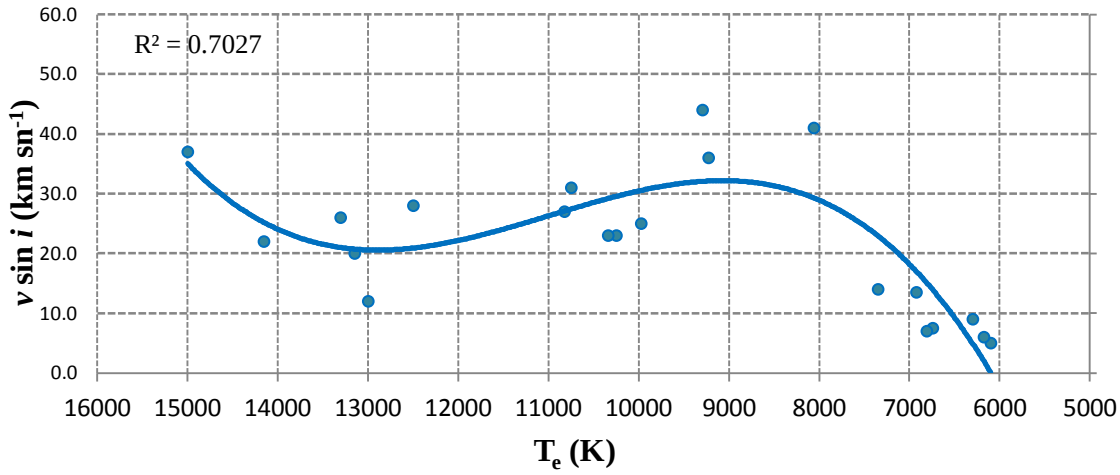
Etkin sıcaklık ile dönme hızına ilişkin değerler normal A tipi ve A*m* tipi yıldızlar için, sırasıyla, şekil 4.5 ve 4.6'da verilmektedir. Her iki yıldız tipi birbirini kapsayan (T_e – v sin i) değerlerine sahip olmaları sebebiyle birleştirilmiş grafik EK 3'de görülmektedir. Grafiklerde normal A tipi yıldızlar 'içi dolu daire', A*m* tipi yıldızlar 'içi dolu üçgen' ile temsil edilmiştir.

Dönme hızı değerleri için hata miktarı ±5 km sn^{-1} dir. Bu tez çalışmasında örneklem yıldızların v sin i değer aralıkları aşağıdaki gibidir:

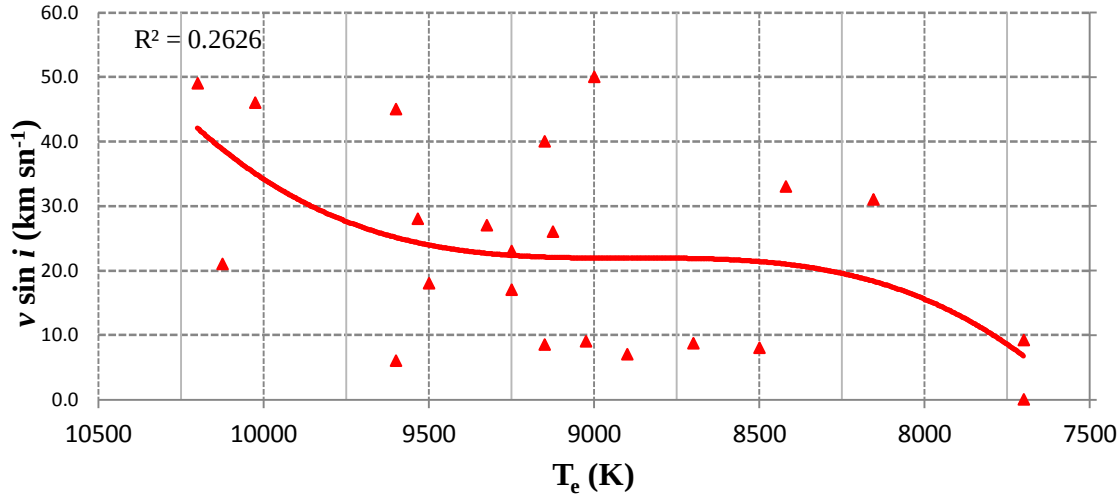
- Normal A tipi : $\Delta\, v \sin i$ = 5.0 - 44.0 km sn^{-1}
- A*m* tipi : $\Delta\, v \sin i$ = 4.8 - 50.0 km sn^{-1}

Normal A tipi yıldızlar için dönme hızının etkin sıcaklık üzerine regresyonu yapıldığında, t_{hesap} = 2.943 olup, $|t_{hesap}|$ = 2.943 > 2.101 = $t_{18}(0.025)$ olduğundan yokluk hipotezi H_0 red edilir. Yani, log T_e ile v sin i değişkenleri arasında lineer bir ilişki vardır.

A*m* tipi yıldızlar için dönme hızının etkin sıcaklık üzerine regresyonu yapıldığında, t_{hesap} = 2.231 olup, $|t_{hesap}|$ = 2.231 > 2.093 = $t_{19}(0.025)$ olduğundan yokluk hipotezi H_0 red edilir. Yani, log T_e ile *v* sin *i* değişkenleri arasında lineer bir ilişki vardır.



Şekil 4.5 Normal A tipi yıldızlar için T_e - *v* sin *i* grafiği

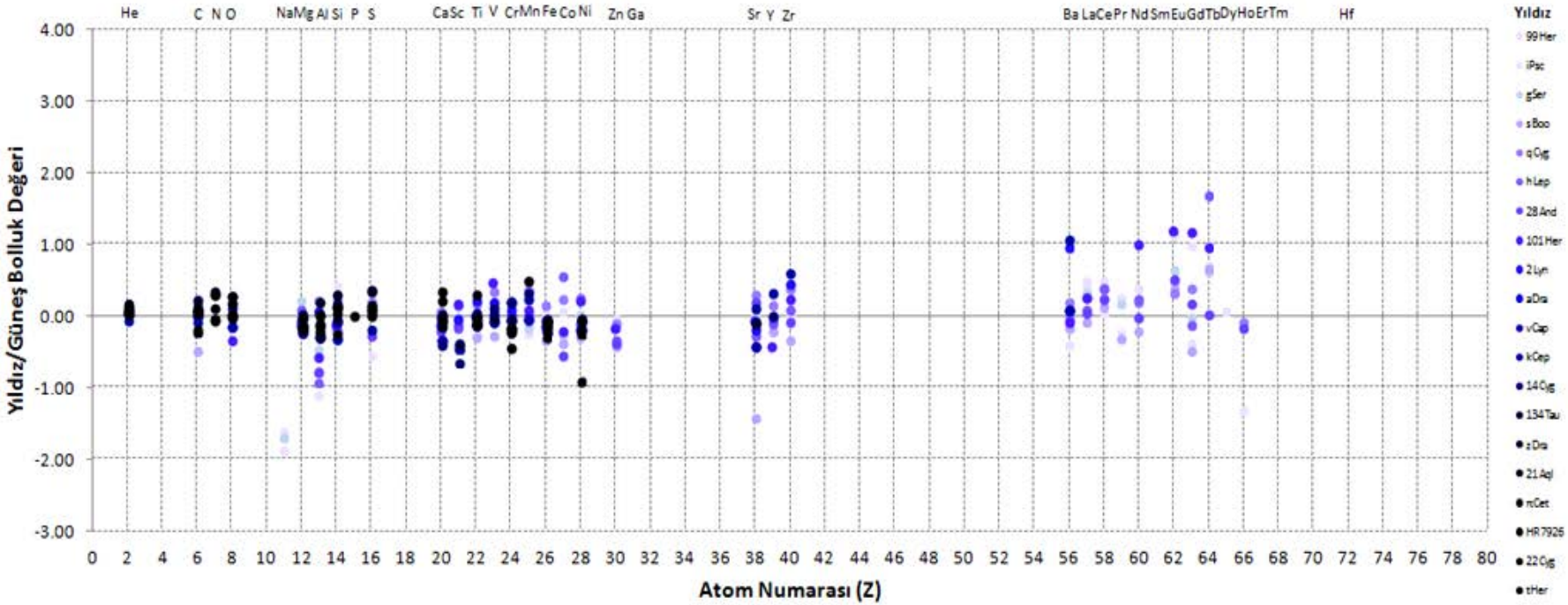


Şekil 4.6 A*m* tipi yıldızlar için T_e - *v* sin *i* grafiği

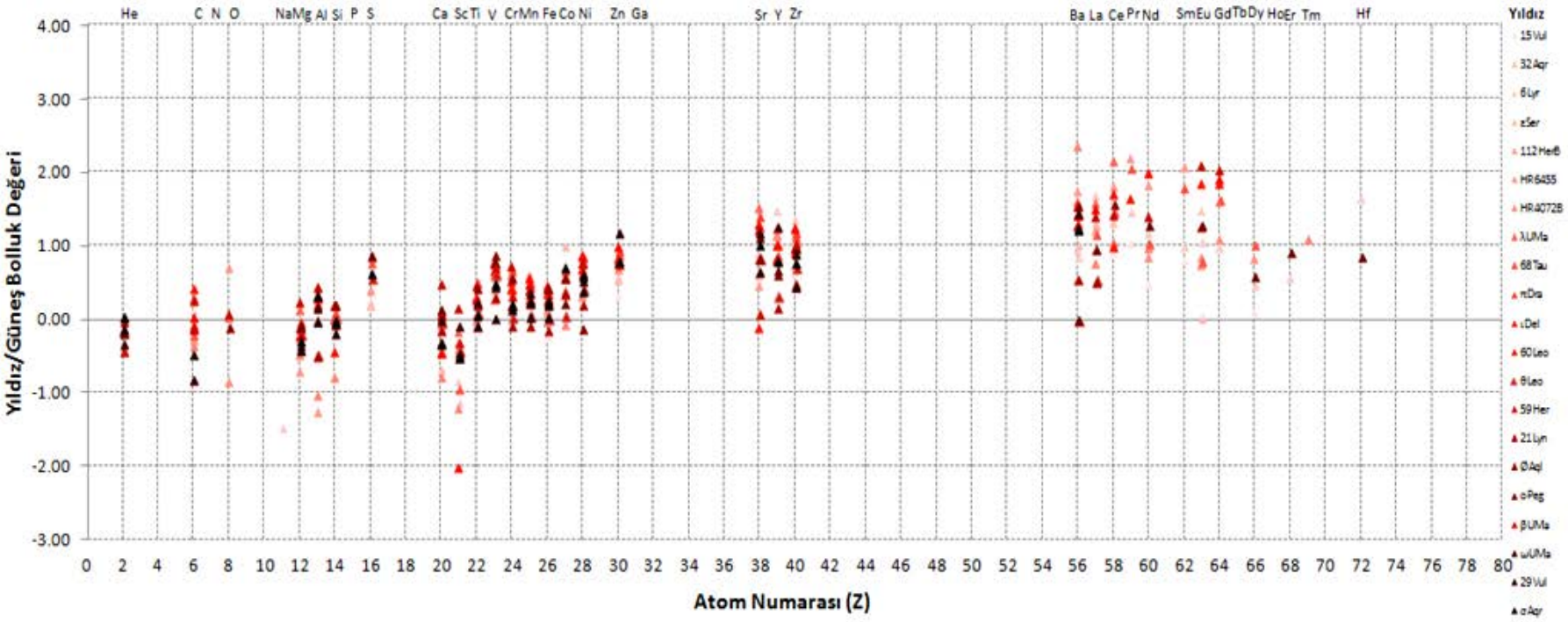
Normal A ve A*m* tipi yıldızların birleştirilmiş (T_e - log g), (T_e – ξ) ve (T_e - *v* sin *i*) grafikleri, sırasıyla, EK 1, EK 2 ve EK 3'de verilmektedir.

4.4 Yıldızların Element Bolluk Dağılımı

İncelenen 20 normal A tipi ve 21 A*m* tipi yıldız atmosferlerindeki He, C, N, O, hafif element (Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca), demir grubu element (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn), ağır elementler (Ga, Sr, Y, Zr, Xe, Ba) ve nadir toprak elementler (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Hf, Pt, Au ve Hg) elementlerinin Güneş'e nazaran bolluk miktarları atom numarasının bir fonksiyonu olarak şekil 4.8 ve şekil 4.9'da gösterilmiştir. Normal A tipi yıldızlar -1.88 ile 1.68 dex aralığında dağılırken, A*m* tipi yıldızların bolluk dağılımları -2.03 ile 2.37 dex aralığındadır. Her bir yıldız tipi kendi içinde, serinin en soğuk yıldızını en açık tonda ve serinin en sıcak yıldızını en koyu tonda gösterecek şekilde renk tonlandırması uygulanmıştır. Normal A tipi yıldızlar kırmızı renk, A*m* tipi yıldızlar mavi renk ile temsil edilmektedir.



Şekil 4.7 Normal A tipi yıldızların element bolluk dağılımı



Şekil 4.8 A*m* tipi yıldızların element bolluk dağılımı

4.5 Yıldızların Kimyasal Element Bolluklarının Dönme Hızı, Mikrotürbülans Hızı ve Demir Bollukları ile Karşılaştırmaları

Normal A ve A*m* yıldız tipleri için; C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba elementlerinin dönme hızı, mikrotürbülans hızı ve [Fe/H] bollukları arasındaki değişim grafikleri, sırasıyla, üç panel halinde verilmektedir (normal A tipi yıldızlar EK 4 ve A*m* tipi yıldızlar EK 5). Grafiklerde 'içi dolu daire' normal A tipi ve 'içi dolu üçgen' A*m* yıldızlarını temsil etmektedir.

4.6 Çapraz-Korelasyon Hesaplamaları ile İlgili Bulgular

İncelenen normal A tipi A*m* tipi yıldızların toplam bolluk değerleri ile ilgili çapraz-korelasyon hesaplamaları çizelge 4.1-4.2'da sunulmaktadır. Korelasyon hesabı yapılan nicelikler; T_e, log g, ξ, v sin i ve 13 elementin bolluk anormalliklerini (C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y, Ba) içermektedir.

Güneş'e nazaran on üç elementin atmosfer bolluğu ile [Fe/H] bolluğu arasındaki değişim grafiği ve ilgili korelasyon katsayıları EK 4-5'in alt panellerinde yer almaktadır. Parametreler arası 'negatif korelasyon', 'pozitif korelasyon' ve herhangi bir ilişkinin olmamasına ilişkin irdelemeler ortaya konulmuştur. Her iki yıldız tipi için mavi renk pozitif korelasyonu ($r > 0.320$), kırmızı renk negatif korelasyonu ($r < -0.320$) ve siyah renk ise ilişkinin olmadığını temsil etmektedir. Değişkenler arasında güçlü pozitif veya güçlü negatif korelasyonun varlığı, birbirleri arasında 'doğru' ya da 'ters' orantı olması anlamına gelir.

Normal A tipi 20 ve A*m* tipi 21 yıldızın çapraz korelasyon hesaplamaları çizelge 4.1-4.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.1 Normal A tipi yıldızların çapraz-korelasyon katsayıları (r)

NORMAL	T_e (K)	log g	ξ	*v* sin *i*	[C/H]	[O/H]	[Mg/H]	[Si/H]	[Ca/H]	[Sc/H]	[Ti/H]	[Cr/H]	[Fe/H]	[Ni/H]	[Sr/H]	[Y/H]
log g	**-0.543**															
ξ	**-0.569**	0.090														
v* sin *i	**0.521**	**-0.331**	0.055													
[C/H]	0.053	0.131	-0.047	0.308												
[O/H]	0.241	**-0.325**	**-0.502**	**-0.584**	-0.164											
[Mg/H]	**-0.343**	-0.053	0.256	-0.232	-0.111	**0.549**										
[Si/H]	0.248	-0.164	-0.152	-0.073	**0.342**	**0.321**	0.070									
[Ca/H]	**0.448**	-0.239	-0.154	0.192	**0.349**	0.070	-0.090	0.264								
[Sc/H]	**-0.711**	**0.586**	**0.634**	-0.197	0.229	**-0.651**	0.151	0.139	0.290							
[Ti/H]	0.305	0.243	0.008	**0.496**	**0.379**	-0.195	-0.228	0.108	**0.381**	0.305						
[Cr/H]	**-0.491**	**0.346**	0.145	0.005	0.248	-0.103	0.151	-0.139	-0.171	0.006	0.294					
[Fe/H]	-0.103	0.157	0.052	0.034	**0.481**	-0.090	0.129	**0.407**	**0.328**	0.279	**0.485**	**0.710**				
[Ni/H]	**-0.468**	-0.061	0.304	-0.213	0.184	-0.061	0.196	-0.029	0.175	**0.329**	-0.177	**0.589**	**0.520**			
[Sr/H]	0.187	0.092	-0.042	0.116	**0.834**	0.086	-0.226	0.121	**0.561**	0.249	**0.602**	**0.654**	**0.683**	**0.650**		
[Y/H]	0.252	0.139	**-0.621**	**-0.364**	**0.342**	**0.744**	0.000	**0.411**	**0.480**	-0.077	**0.521**	**0.692**	**0.574**	0.002	**0.407**	
[Ba/H]	**0.534**	-0.055	-0.278	**0.356**	0.215	**0.466**	-0.245	0.215	**0.547**	-0.089	**0.679**	**0.627**	**0.459**	-0.007	0.319	**0.844**

Çizelge 4.2 A*m* tipi yıldızların çapraz-korelasyon katsayıları (r)

A*m*	**T_e (K)**	**log g**	**ξ**	***v* sin *i***	**[C/H]**	**[O/H]**	**[Mg/H]**	**[Si/H]**	**[Ca/H]**	**[Sc/H]**	**[Ti/H]**	**[Cr/H]**	**[Fe/H]**	**[Ni/H]**	**[Sr/H]**	**[Y/H]**
log g	0.180															
ξ	**-0.697**	0.002														
v* sin *i	**0.384**	0.200	0.094													
[C/H]	**-0.527**	-0.010	**0.678**	0.165												
[O/H]	-0.132	**0.861**	**-0.363**	0.067	-0.091											
[Mg/H]	-0.103	-0.230	**0.558**	0.282	**0.524**	-0.308										
[Si/H]	0.152	**-0.341**	0.179	0.154	0.102	**0.989**	**0.499**									
[Ca/H]	**0.361**	**-0.527**	-0.219	0.130	-0.072	0.051	**0.337**	**0.670**								
[Sc/H]	0.267	**-0.487**	-0.309	**0.369**	-0.058	-0.003	0.147	**0.360**	**0.759**							
[Ti/H]	0.057	**0.351**	0.272	0.143	0.208	**0.588**	**0.523**	**0.424**	0.247	0.098						
[Cr/H]	-0.037	0.302	0.316	0.187	**0.413**	**0.468**	**0.601**	**0.446**	0.226	-0.050	**0.845**					
[Fe/H]	0.211	0.296	0.282	0.250	0.206	-0.012	**0.617**	**0.410**	0.274	-0.102	**0.825**	**0.832**				
[Ni/H]	-0.134	0.035	0.215	0.129	0.320	0.202	**0.348**	0.224	0.056	-0.092	**0.411**	**0.512**	**0.513**			
[Sr/H]	0.127	-0.220	0.069	-0.098	-0.139	-0.189	**0.360**	**0.603**	**0.323**	-0.048	0.207	0.317	0.316	0.269		
[Y/H]	-0.114	**0.433**	0.204	**0.326**	-0.002	**0.497**	0.136	-0.109	-0.209	-0.127	**0.444**	**0.502**	**0.508**	**0.588**	0.212	
[Ba/H]	0.316	**0.597**	**-0.396**	0.083	-0.201	**0.895**	-0.135	-0.281	-0.058	-0.164	**0.323**	**0.382**	**0.325**	0.117	0.036	**0.508**

Değişkenler arasında ikişerli korelasyonların mutlak değeri 0.320'den büyükse, bu korelasyon tahminleri $\alpha = 0.05$ (I. Tip hatasına göre değerlendirilmiş) anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Bevington ve Robinson 1992). Buradaki birinci tür hata olasılığına *testin anlam düzeyi* denir ve istatistikte α ile gösterilir. Hata olasılığının istatistik izahı: "Bir hipotez (ya da iddia) ya doğrudur ya da değildir. Bir deneyin sonuçlarından elde edilen gözlem değerlerine göre H_0 yokluk hipotezi red edilir ya da red edilemez. Ayrıca, gerçekte H_0 doğru olmasına rağmen, gözlem değerlerine göre H_0 red edilebilir. Bu durumda bir hata yapılmış olur. Bu hataya birinci tür hata denir. Tersine gerçekte H_0 doğru olmamasına rağmen, verilere göre H_0 yokluk hipotezi red edilemez. Burada da bir hata yapılmış olur. Bu hataya da ikinci tür hata denir (Akdi 2014)."

Yüce ve Adelman (2014) toplam 38 HgMn ve A*m* tipi yıldızın etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans hızı, $v \sin i$ ve (Mg, Si, Ca, Ti, Cr, Mn Fe ve Sr) bolluk anormalliğine ilişkin niceliklerin bir korelasyon analizini gerçekleştirdiler. Yıldızlara ait korelasyon değeri 0.320'den büyükse yıldızlar arasında bir korelasyon ilişkisinin var olma olasılığının 1/20'den daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Bir başka ifade ile; 38 yıldız için r'nin mutlak değeri 0.320'den daha büyük olma koşulunu %5'lik hata payı ile sağlıyorsa bu korelasyon önemli olarak kabul edilir (Yüce 2015). Böylece, korelasyon katsayısı 0.320'den büyük olan diziler arasında pozitif korelasyonun, -0.320'den küçük olan diziler arasında ise negatif korelasyonun var olduğu sonucuna varılır.

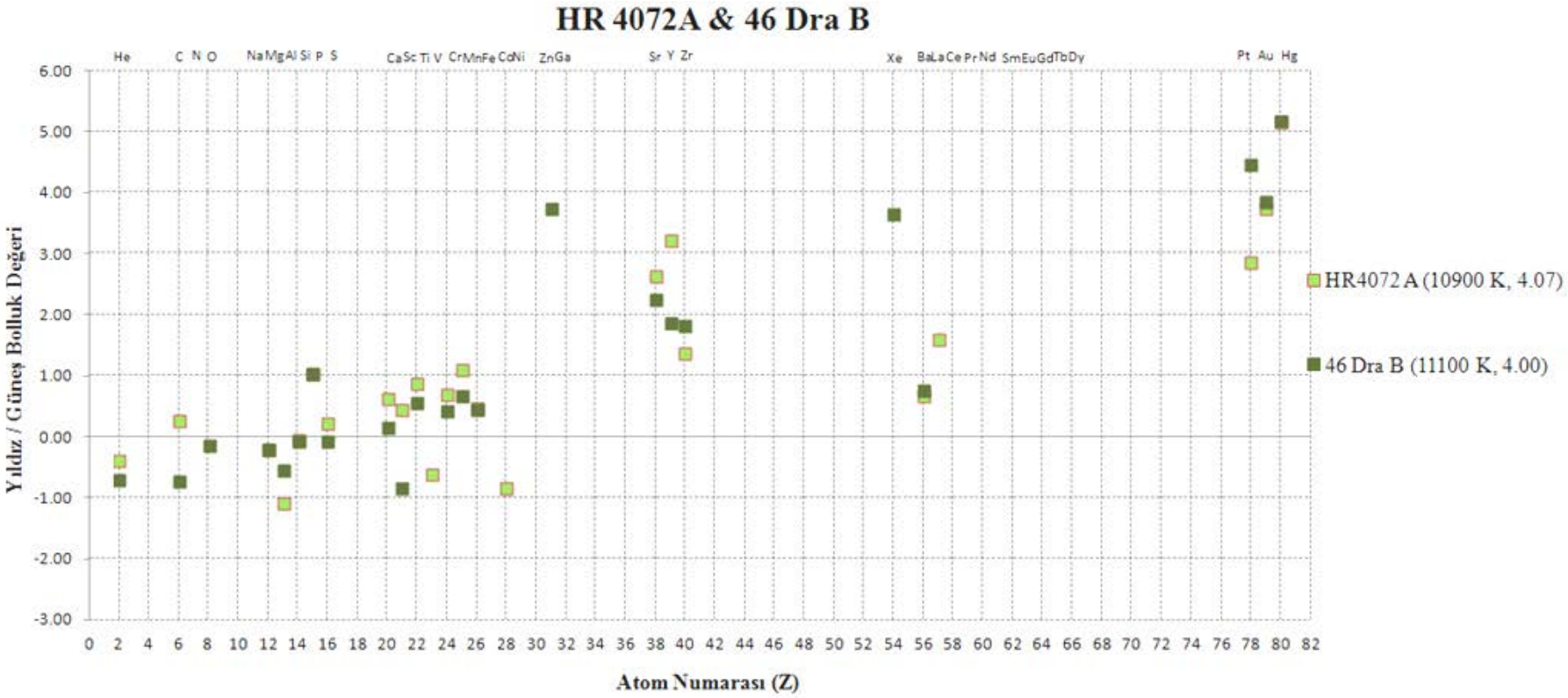
4.7 Atmosfer Parametreleri Birbirine Yakın Olan Yıldızların Element Bolluk Karşılaştırılması

Manyetik özellik göstermeyen yıldız tipleri (HgMn ve Am) ve normal A tipi yıldız gruplarında yıldızdan yıldıza bolluk farklarının varlığı araştırıldı. Bu amaçla, Yüce ve Adelman (2014) çalışmasında yer alan yıldız tipleri içerisinde atmosfer parametre (T_e, log g) değerleri birbirine yakın olan yıldızların "HR 4072 A, 46 Dra B", "HR 8349, HR 7361" ve "ε Ser ve 112 Her B" çiftleri oldukları belirlendi. Söz konusu yıldızların atmosfer parametrelerine ilişkin bilgiler çizelge 4.3'te listelenmiştir. Bu yıldız çiftlerinin

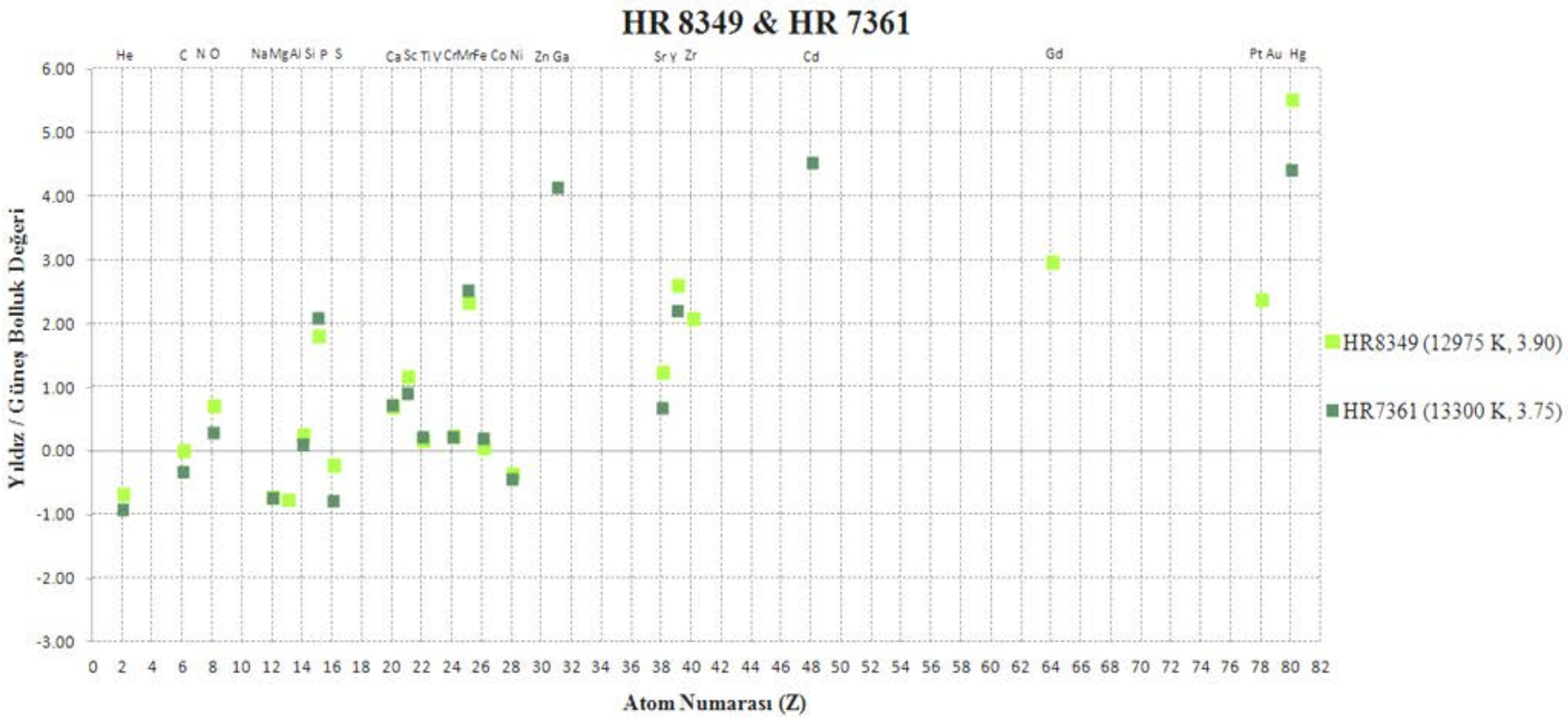
Güneş'e nazaran element bollukları, atom numarasının fonksiyonu olarak şekil 4.9-4.11'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.3 Atmosfer parametreleri birbirine yakın olan yıldızların fiziksel parametreleri

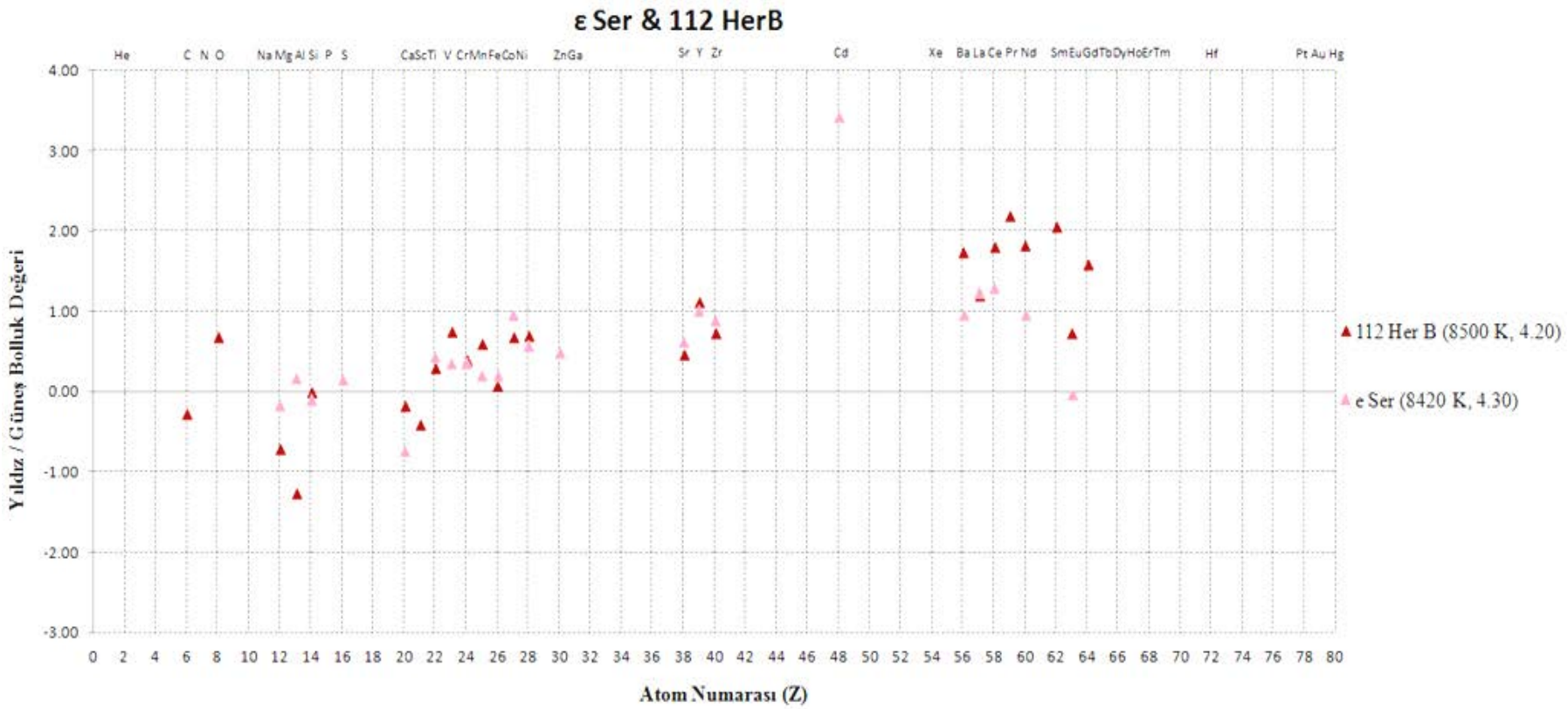
Yıldız	**T_e (K)**	**log g**	**ξ (km sn^{-1})**	**Kimyasal Tip**
ε Ser	8420	4.30	5.2	A*m*
112 Her B	8500	4.20	1.2	A*m*
HR 4072A	10900	4.07	0.6	HgMn
46 Dra B	11100	4.00	0.0	HgMn
HR 8349	12975	3.90	0.7	HgMn
HR 7361	13300	3.75	0.0	HgMn



Şekil 4.9 HR 4072 A ve 46 Dra B yıldızlarına ait element bolluklarının karşılaştırılması



Şekil 4.10 HR 8349 ve HR 7361 yıldızlarına ait element bolluklarının karşılaştırılması



Şekil 4.11 ε Ser ve 112 Her B yıldızlarına ait element bolluklarının karşılaştırılması

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Normal A tipi yıldızların optik bölgede yayınlanmış ayrıntılı tayfsal analiz serisi sonuçlarının araştırılması neticesinde, söz konusu yıldız atmosferlerinin fiziksel özelliklerine ve kimyasal yapılarına ait niceliklerine ilişkin sonuçlar aşağıdaki gibidir:

a) T_e - log g: İncelenen normal A tipi yıldızlarda düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara doğru gidildikçe, serideki söz konusu yıldız tipinin ağırlıklı olarak evrimleşmiş dev yıldızlar oldukları anlaşılmaktadır. Diğer taraftan serinin en sıcak yıldızı τ Her bir anakol yıldızıdır. 14000 K'den düşük sıcaklıklara sahip yıldızların yüzey çekim ivmelerinde doğrusal bir artış görülmüştür (Şekil 4.1-4.2 ve EK 1).

b) T_e - ξ: 15000 - 10000 K sıcaklık aralığındaki normal A tipi yıldızların mikrotürbülans hızı 0 km sn^{-1} civarındadır. 10000 - 8000 K fotosfer sıcaklığına sahip yıldızlarda azalan sıcaklıkla mikrotürbülans hızında bir artış kaydedilmiş olup, 8150 K sıcaklığında 4.5 km sn^{-1} değerine (101 Her) ulaşmıştır (Şekil 4.3). Serinin soğuk yıldızlarına gidildikçe yeniden 0 km sn^{-1} e doğru azalma görülmekte iken, serinin en soğuk normal A yıldızı 99 Her için ξ = 0.5 km sn^{-1} dir. T_e = 6000 K – 10200 K sıcaklık aralığındaki yıldızlar üzerine çalışan Gebran vd. (2014)'nin mikrotürbülans hızında kaydettiği bu azalış miktarı 1 km sn^{-1} civarındadır. Benzer şekilde etkin sıcaklık ve mikrotürbülans hızı arasındaki bu değişim eğilimi, normal A tipi yıldızların (v sin i - T_e) grafiğinde de kendini göstermektedir (Şekil 4.5).

A*m* tipi yıldızlarda azalan sıcaklık yönünde mikrotürbülans hızında doğrusal bir artış eğilimi gözlenmiştir (Şekil 4.4). Serinin en yüksek mikrotürbülans hızına sahip yıldızı 6 Lyr (8155 K) için bu değer, 5.6 km sn^{-1} dir. En sıcak üç A*m* tipi yıldızın ξ değeri 1 km sn^{-1} iken, orta sıcaklık (8500 - 9600K) bölgesindeki 14 yıldız için ortalama mikrotürbülans hız değeri 2.26 km sn^{-1} ve serinin soğuk bölgesindeki dört yıldızın ortalaması 4.83 km sn^{-1} dir. Normal A ve A*m* yıldız tiplerinin her ikisinde mikrotürbülans hızları ~ 8100 K bölgesinde serinin en yüksek değerine ulaşmaktadır.

c) T_e - *v* sin *i*: Bu çalışmada kullanılan ve yüksek çözünürlüklü ayrıntılı tayfsal analizlerden elde edilmiş olan dönme hızı değeri '*v* sin *i*' formundadır. İncelenen normal A tipi yıldızlar için, 14000 - 10000 K sıcaklık aralığında dönme hızlarında belirgin herhangi bir değişime rastlanmazken, ortalama dönme hızı değeri 23.7 km sn^{-1} dir. 10000 - 8000 K sıcaklık aralığında dönme hızında bir artış kaydedilmiş olup, en yüksek değer olarak 44 km sn^{-1} kaydedilmiştir (Şekil 4.5). Serinin soğuk bölgesine gidildikçe, *v* sin *i* değeri 5 km sn^{-1} e kadar azaldığı gözlenmiştir (örneğin; 99 Her için *v* sin *i* = 5 km sn^{-1}). Normal A tipi yıldızların atmosferlerinin sıcaklığına bağlı olarak dönme hızlarındaki benzer değişim eğilimi, bu yıldız tiplerinin (T_e – ξ) grafiğinde de gözlenmiştir. Öyle ki; yüksek dönme hızlı normal A tipi yıldızlar, düşük mikrotürbülans hızlarına sahipken (0 km sn^{-1}); serinin soğuk tarafında yer alan düşük dönme hızlı yıldızlarının mikrotürbülans hızı, çok sıcak bölgeye ait olanlara nazaran daha yüksektir.

İncelenen A*m* tipi yıldızların etkin sıcaklığı dönme hızı ile ilintili değildir (Şekil 4.6). Öte yandan 14000 - 9000 K sıcaklık aralığındaki normal A tipi yıldızların *v* sin *i* değerlerinde doğrusal bir artış, ardından 6000 K'e kadar bir azalış gözlenmiştir. Serinin en soğuk normal A yıldızlarının dönme hızları yaklaşık 5 km sn^{-1} dir. 8000 K atmosfer sıcaklığına sahip normal yıldızları, serinin en yüksek dönme hızına sahip yıldızlarıdır (~40 km sn^{-1}).

ç) Yıldızların Element Bolluk Dağılımları: Normal A ve A*m* tipi yıldız için toplamda 42 elementin Güneş'e nazaran element bollukları grafikte toplanmıştır (Şekil 4.7-4.8).

(i) 10750 K'den yüksek atmosfer sıcaklığına sahip normal A tipi yıldızlarda Y'den daha hafif elementlerde (Z < 39) bolluk anormalliği kaydedilmemiştir. 10750 K'den daha soğuk yıldızların optik bölgeye ait tayflarında Y'den daha ağır elementler de gözlenmekte olup, söz konusu element bollukları Güneş'teki bolluk değerleri ile aynı veya daha fazladır.

(ii) Ele alınan yıldız serisinin en sıcak A*m* tipi yıldızlarının Ti'dan daha hafif elementlerinin bolluk değeri (Z < 22), kabul edilmiş olan Güneş bolluk değerlerindedir veya daha azdır (S hariç). Söz konusu yıldız tipi Ti ve Fe (dahil) aralığındaki elementler

bakımından, Güneş'in bolluk değerlerine sahip veya daha zengindir. Ağır elementler bakımından, Güneş'e nazaran 1.0 dex civarında zenginlik gösterirler. Ba ve daha ağır elementler (Z > 56), Güneş'in değerlerinden 0.5 dex - 2.00 dex daha fazladır. Helyum bolluğu bakımından ise, A*m* tipi yıldızlar Güneş'e yakın ve/veya fakir iken; normal A tipi yıldızların element bolluklarında herhangi bir anormallik kaydedilmemiştir.

d) Çapraz-korelasyon hesaplamaları:

Normal A tipi yıldızların çapraz-korelasyon hesaplamaları ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

(i) İncelenen yıldızların etkin sıcaklığı ile log g, mikrotürbülans hızı ve Mg, Sc, Cr, Ni element bollukları arasında negatif yönde bir korelasyon görülmekte iken; $v \sin i$, Ca, Ba bollukları arasında pozitif yönde bir korelasyon vardır.

(ii) log g ile $v \sin i$ ve O bolluğu arasında negatif yönde bir korelasyon görülmekte iken; Sc, Cr bollukları arasında pozitif yönde bir korelasyon vardır.

(iii) Mikrotürbülans hızları ile O, Y bollukları arasında negatif yönde bir korelasyon görülmekte iken; Sc bolluğu ile arasında pozitif yönde bir korelasyon vardır.

(iv) Normal A tipi yıldızlarda kimyasal elementler arasındaki en güçlü pozitif korelasyon (Y ve Ba; r = 0.844), en güçlü negatif korelasyon (T_e ve Sc; r = -0.711) nicelikleri arasında kaydedilmiştir. Aralarında r = 0.000 değerinde belirgin bir ilişkinin varlığı tespit edilemeyen nicelikler (Y, Mg; r = 0.000), (Ni, Ba; r = -0.007) ve (Ni, Y; r = 0.002) serisidir.

(vii) Güneş'e nazaran Fe bolluklarına göre yapılan korelasyon sınıflaması:

- T_e, log g, ξ, $v \sin i$, O, Mg ve Sc: Fe ile ilintili değildir.
- Ca, Si, Ca, Ti, Ni, Sr, Y ve Ba: Fe ile pozitif korelasyon gösterir.

- Cr: Fe ile güçlü-pozitif korelasyon vermektedir.

A*m* tipi yıldızların çapraz-korelasyon hesaplamaları ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

(i) İncelenen yıldızların etkin sıcaklığı ile mikrotürbülans hızı ve C bolluğu arasında negatif yönde bir korelasyon görülmekte iken; v sin i, Ca bolluğu arasında pozitif yönde bir korelasyon vardır.

(ii) log g ile Si, Ca ve Sc bolluğu arasında negatif yönde bir korelasyon görülmekte iken; O, Ti, Y, Ba bollukları arasında pozitif yönde bir korelasyon vardır.

(iii) Mikrotürbülans hızı ile O, Ba bollukları arasında negatif yönde bir korelasyon görülmekte iken; C, Mg bollukları ile pozitif yönde bir korelasyon vardır.

(iv) A*m* tipi yıldızlarda en güçlü pozitif korelasyon (O ve Si; r = 0.989), en güçlü negatif korelasyon (T_e ve ξ; r = -0.697) nicelikleri arasında kaydedilmiştir. Aralarında belirgin bir ilişkinin varlığı tespit edilemeyen nicelikler (C, Y; r = -0.002), (Sc, O; r = -0.003) ve (ξ, log g; r = 0.002) serileridir.

(vii) Güneş'e nazaran Fe bolluklarına göre yapılan korelasyon sınıflaması:

- T_e, log g, ξ, v sin i, C, O, Ca, Sc ve Sr: Fe ile ilintili değildir.
- Mg, Si, Ni, Y ve Ba: Fe ile pozitif korelasyonlar vardır.
- Ti ve Cr: Fe ile güçlü-pozitif korelasyon vardır.

e) Manyetik özellik göstermeyen yıldız tipleri içerisinde atmosfer parametreleri birbirine çok yakın olan yıldızların element bolluk karşılaştırılması

(i) (HR 4072A, 46 Dra B): Her iki HgMn tipi yıldızın yüzey element bollukları birbirine yakındır (Şekil 4.9).

(ii) (HR 8349, HR 7361): Birbirleri ile uyumlu bolluk değerlerine sahiptirler. 0.20 dex'lik ortalama bir bolluk farkı mevcuttur (Şekil 4.10).

(iii) (ε Ser, 112 Her B): Her iki A*m* tipi yıldızın yüzey element bollukları birbirine yakındır. 112 Her B, ağır elementler (Z > 40) bakımından nispeten bir miktar zenginlik gösterir (Şekil 4.11).

Burada verildiği üzere potansiyel bir dizi ilginç sonuç vardır. Onları daha kesin hale getirebilmek için, fiziksel özellik ve kimyasal bolluk değerlerine ilişkin hata miktarlarının azaltılması gerekir. Neyse ki, bir dizi tutarlı analizler setine dayalı elde edilen söz konusu sonuçların, tutarsız sonuçlar setine dayalı olanlardan daha doğru olması muhtemeldir. Bu konuda sağlanacak iyileştirmeler;

1- Dizayn ve kurulumu Prof. Dr. Saul J. Adelman ve arkadaşları tarafından tamamlanan yeni bir spektrofotometre düzeneğinin kullanımına dayalı elde edilecek etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivme değerlerinin geliştirilmesiyle,

2- Prof. Dr. Saul J. Adelman, Prof. Dr. Austin F. Gulliver ve Doç. Dr. Kutluay Yüce tarafından başlatılan bir proje kapsamında atomik verilerden gf-değerlerine ait sistematik hataların ortadan kaldırılmasıyla mümkün olacaktır.

R > 50000 çözünürlüğüne sahip tayfların sinyal - gürültü oranındaki (S/G) artış da bu tez çalışması ile ulaşılan sonuçların iyileştirilmesine katkı sağlar nitelikte olacaktır, fakat bu yaklaşım S/G = 100 ile 150 değerlerinde elde edilen sonuçlardan çok daha fazla gözlem zamanı gerektirmektedir.

Birçok fizikçi ve evrenbilimcinin ortak görüşü; Büyük Patlama ardından biçimlenen Evren hakkında bilimin temelinin gözleme dayandığı ve bilimin amacının fiziksel fenomenler arasında var olan nicel ilişkilerin araştırılması olduğudur. Evren'in temel yapı taşları olan galaksilerin barındırdığı yıldızların tayfsal yolla incelenmesi, yıldızların ve kümelerin evrimlerinin belirlenmesine önemli bilgi sağlar.

Yıldızların tayf türü, onların bir anlamda kimlik kartları olup, atmosfer parametrelerine işaret eder. Ancak yıldız astrofizikçileri tayf türlerini detaylı tayfsal analiz ve hesaplamalarında sadece bir başlangıç kılavuzu olarak görürler. Onlar, ilgilendikleri yıldızların genellikle kendi gözlemsel verilerini ve/veya uydu verilerini indirgeyerek analiz ederler. Söz konusu yıldızların atmosfer parametrelerini (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, türbülans hızları) belirledikten sonra, bu bilgiler üzerine atmosfer modelleri oluşturarak yıldız atmosferlerinde hangi elementlerin ne oranda olduklarını hesaplarlar. Bu türden astrofizik çalışmalarının en ileri aşamasında ise, yıldızların evrim durumları üzerinde genel kanâat oluşması sağlanır. Bu çalışmaların neticeleri, bilim dünyasına Galaksilerin kimyasal bileşimlerine ait temel kaynak teşkil eder. Bu yüksek lisans tez çalışması ile ele alınan Güneş kimyasal bileşimli yıldızların Hertzsprung-Russell diyagramındaki kimyasal durumlarına ilişkin inceleme ve araştırmaların, daha fazla sayıda yıldızın yüksek çözünürlüklü tayfsal çalışmaları ile devam ettirilmesi elzemdir.

KAYNAKLAR

Abt, H. A. 1965. The Frequency of Binaries Among Normal A-Type Stars. The Astrophysical Journal, 11; 429-460.

Abt, H.A. and Bidelman, W.P. 1969. Spectral Classification of A-Type Spectroscopic Binaries. Astrophysical Journal, 158; 1091-1098.

Abt, H. A. and Moyd, K. I. 1973. Rotation and Shell Spectra Among A-Type Dwarfs. The Astrophysical Journal, 182; 809-816.

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

Abt, H. A., Levato, H. and Grosso, M. 2002. Rotational Velocities of B Stars. The Astrophysical Journal, 573; 359–365.

Adelman S. J. 1986. Optical Region Elemental Abundance Analyses of B and A Stars. V. The Normal Stars theta Leonis, Tau Herculis, 14 Cygni and 5 Aquarii. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 64; 173-187.

Adelman, S. J. 1987. On Unidentified Lines and the Predicted Wavelengths of Singly Ionized Iron Lines. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 99; 515-517.

Adelman S.J. 1988. Elemental abundance analyses with coadded DAO spectrograms. IV - Revision of previous analyses. V - The mercury-manganese stars Phi Herculis, 28 Herculis and HR 7664. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (ISBN 0035-8711), 235(1); 749-785.

Adelman S.J. 1991. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms – VII. The Late Normal B Stars Pi Ceti, 134 Tauri, 21 Aquilae, and Nu Capricorni and the Use of Reticon Spectra, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 252; 116-131.

Adelman, S. J. 1994. Elemental Abundance Analysis with DAO Spectrograms. XIII. The Superficially Normal Early A-Type Stars 68 Tauri, 21 Lyncis and Alpha Draconis. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 271(2); 355-371.

Adelman, S.J., Çalışkan, H., Koçer, D. and Bolcal, Ç. 1997. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms - XVI. The Normal F Main-Sequence Stars σ Bootis, θ Cygni And ι Piscum, and the A*m* Stars 15 Vulpeculae and 32 Aquarii. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 288; 470-500.

Adelman, S. J. 1998. VizieR Online Data Catalog: Hipparcos photometry of CP stars (Adelman 1998). Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 132; 93-97.

Adelman, S. J. 1999. VizieR Online Data Catalog: uvby Photometry of 4 CP Stars (Adelman 1999). Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 134; 53-57.

Adelman, S.J., Çalışkan, H., Çay, T., Koçer, D. and Tektunalı, H.G. 1999. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms - XXI. The Hot Metallic-Lined Stars 60 Leonis and 6 Lyrae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 305(3); 591-601.

Adelman, S. J., Çalışkan, H., Koçer, D., Hamami, I. and Tektunalı, H. G. 2000. VizieR Online Data Catalog: 28 And & 99 Her Elemental Abundances (Adelman+, 2000). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 316; 514-518.

Adelman, S. J., Çalışkan, H., Koçer, D., Kablan, H., Yüce, K. and Engin, S. 2001. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms. XXV. The Superficially Normal B and A Stars Alpha Draconis, Tau Herculis, Gamma Lyrae and HR 7926. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 371; 1078-1083.

Adelman, S. J. 2001. VizieR Online Data Catalog: HR 5341, HD 142070, HR 6967 & HR 8434 uvby Photometry (Adelman, 2001). Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 368, 225-229.

Adelman S.J. 2003. Vizier Online Data Catalog: uvby Photometry of 2 Am and 2 mCP Stars (Adelman+, 2003). Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 401(1); 357-360.

Adelman, S.J. 2005. The Physical Properties of Normal A Stars. Cambridge University Press, 224; 530-539.

Adelman, S.J. and Unsuree, N. 2007. On Chemical Abundances of A*m* and Normal A-Type Stars. Baltic Astronomy, 16; 183-190.

Adelman, S.J. and Yüce, K. 2010. Elemental Abundance Analyses with Coudé Echelle Spectrograms from the TÜBİTAK National Observatory of Turkey: I. The HgMn Stars 11 Per, HR 2801, and ν Cnc. Astronomische Nachrichten, 331(8); 785-793.

Adelman, S.J., Farr, A., Gulliver, A., Hill, G., Peters, G. and Yüce, K. 2011. A Detailed Spectral Analysis of the Sharp-lined B3 IV Star Iota Herculis. Bulletin of the American Astronomical Society, 43; 121-133.

Adelman, S.J., Colegrove, B.S. and Woodrow, S.L. 2011. VizieR Online Data Catalog: BVRI Light Curves of Some Cool Giant Stars (Adelman+, 2007). Journal Astronomic Data, 13; 3-6.

Akdi, Y. 2014. Matematiksel İstatistiğe Giriş, ISBN 978-605-5543-31-0, (4. Baskı) Gazi Kitabevi, Ankara.

Anonim. 2016. Web sitesi: https://support.office.com/tr-tr/article/KORELASYON-i%C5%9Flevi-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92, Erişim Tarihi: 17.07.2016

Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A.J. and Scott, P. 2009. The Chemical Composition of the Sun. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 47(1); 481-522.

Baschek, B. and Oke, J.B. 1964. Effective Temperatures and Gravities of A*p*, A*m* and Normal A-Type Stars. The Astrophysics Journal, Washington, 141; 1404-1410.

Bevington, P.R. and Robinson, D.K. 1992. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, McGraw-Hill, New York.

Bruntt, H., Basu, S., Smalley, B., Chaplin, W. J., Verner, G. A., Bedding, T. R., Catala, C., Gazzano, J.C., Molenda Żakowicz, J.,Thygesen, A. O., Uytterhoeven, K., Hekker, S., Huber, D., Karoff, C., Mathur, S., Mosser, B., Appourchaux, T., CampanteT. L., Elsworth, Y., García, R. A., Handberg, R., Metcalfe, T. S., Quirion, P.O., Régulo, C., Roxburgh, I. W., Stello, D., Christensen-Dalsgaard, J., Kawaler, S. D., Kjeldsen, H., Morris, R. L., Quintana, E.V. and Sanderfer, D. T. 2012. Accurate Fundamental Parameters And Detailed Abundance Patterns From Spectroscopy Of 93 Solar-Type Kepler Targets. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 423(1); 122-131.

Carrier, F., Eggenberger, P., Leyder, J.C., Debernardi, Y. and Royer, F. 2007. A Search for Solar-Like Oscillations in the A*m* Star HD 209625. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 470; 1009-1012.

Chalonge, D. and Divan, L. 1952. Annales d'Astrophysique, Paris, Fransa.

Cowley, C.R. 1980. A High-Resolution Study of Superficially Normal Late B Spectra. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 92; 159-164.

Coupry, M.F. and Burkhart, C. 1992. The A and A*m*-F*m* Stars. II-Equivalent Widths for the Li Region, Microturbulence and Comments on Curious-Looking Line Profiles. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 95(1); 41-49.

Cowley, C.R. and Corliss, C.H. 1983. Moderately Accurate Oscillator Strengths from NBS Intensities-II. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 203; 651-657.

Çalışkan, H. Adelman, S.J. 1997. Elemental Abundance Analyses With DAO Spectrograms - XVII. The Superficially Normal Early A Stars 2 Lyncis, Omicron Ursa Majoris and Phi Aquilae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 288(2); 501-511.

Çalışkan, H. Adelman, S. J. Koçer, D. Kablan, H. Yüce, K. Engin, S. 2002. VizieR Online Data Catalog: Elemental Abundance of 4 Normal B and A Stars (Adelman+, 2001). Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 371; 1078-1083.

De Jager, C. 1980. The Brightest Stars: Geophysics and Astrophysics Monographs. D. Reidel Publishing Company, Hollanda.

Doğan, S. 2008. Kimyasal Tuhaf Yıldızların Metal Bolluklarının Gözlemsel Özellikler Üzerine Etkisi Ve Yayılma Mekanizmasının Verimliliği Üzerine. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, İzmir.

Dworetsky, M.M. 1974. Rotational Velocities of A0 Stars. Astrophysical Journal Supplement, 28; 101-114.

Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D. L., Nissen, P. E. and Tomkin, J. 1993. The Chemical Evolution of the Galactic Disk-Part Two-Observational Data. Astronomy and Astrophysics Supplement Series,102(3); 603-605.

Erden-Çabuk, S. 2012. Element Bolluk Analizinde Atomik Verinin Önemi. Yüksek Lisans Semineri, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.

ESA, 1997. The Hipparcos and Tycho Catalogs, SP-1200.

Gebran, M., Monier, R., Royer, F., Lobel, A. and Blomme, R. 2014. Microturbulence in A/F A*m*/F*m* Stars. Notre Dame University, Lübnan.

Gigas, D. 1986. The Iron Abundance of Vega. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 165;170-182.

Gray, R.O. and Garrison, R.F. 1989. The Early F-type Stars - Refined Classification, Confrontation with Stromgren Photometry, and The Effects of Rotation. Astrophysical Journal Supplement Series. 69; 301-321.

Hauck, B. and Mermilliod, M. 1980. uvbyβ Photoelectric Photometric Catalogue. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 40(1); 1-32.

Hubrig, S., North, P. and Mathys, G. 2000. Magnetic AP Stars in the Hertzsprung –Russell Diagram. The Astrophysical Journal, 539(1); 352-363.

Johnson, H.L. and Morgan, W.W. 1953. Fundamental Stellar Photometry for Standards of Spectral Type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas. The Astrophysical Journal, 117; 313-352.

Keenan, J.H., Keyes, F.G., Hill, P.G. and Moore, J.G. 1969. Thermodynamic Data for Water at Saturated Vapor Pressures and Temperatures, Wiley, New York.

Kurucz, R. L. 1993. ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s Grid. Kurucz CD-ROM No. 13, Cambridge.

Kurucz, R. L. 1995. In Astrophysical Applications of Powerful New Databases, eds. S.J. Adelman and W.L. Wiese (San Francisco, Astron. Soc. Pacific), ASP Conference Series, 78; 205.

Lambert, D.L., Roby, S.W. and Bell, R.A. 1982. Carbon, Nitrogen and Oxygen Abundances in Sirius and Vega. The Astrophysical Journal, 254; 663-669.

Lemke, M. 1989. The Atmospheres of Early-Type Stars, Springer, Berlin.

Michaud, G. 1970. Diffusion Processes in Peculiar A Stars. The Astrophysical Journal, 160; 1-18.

Michaud, G., Charland, Y., Vauclair, S. and Vauclair, G. 1976. Diffusion In Main-Sequence Stars - Radiation Forces, Time Scales, Anomalies. Astrophysical Journal, 210(1); 447-465.

Michaud, G. 2004. The A-Star Puzzle (IAU Symp. No. 224), Cambridge University Press, Cambridge.

Michaud, G. 2005. Atomic diffusion in stellar surfaces and interiors, The A-Star Puzzle, Cambridge University Press.

Mihalas, D. and Hubeny, I. 2009. Stellar Atmospheres - An Introduction to Nonequilbrium Quantitative Spectroscopic Analysis. Prınceton University Press, Princeton, New Jersey.

Morgan, W.W., Keenan, P.C. and Kellman, E. 1943. An Atlas Of Stellar Spectra, With An Outline of Spectral Classification - Astrophysics Monographs. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

Murphy, S.J. 2014. Investigating the A-Type Stars Using Kepler Data, An Observational Review of Rotation in A Stars. Springer International Publishing, İsviçre.

Preston, G.W. 1974. The Chemically Peculiar Stars of the Upper Main Sequence. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 12; 257-277.

Relyea, L.J. and Kurucz, R.L. 1978. A Theoretical Analysis of uvby Photometry. The Astrophysical Journal Supplement Series, 37; 45-69.

Rikitake, T., Sato, R. and Hagiwara Y. 1987. Applied Mathematics for Earth Scientists. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Japan.

Ryabchikova, T. A., Zakharova, L. A. and Adelman, S. J. 1996. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms - XIV. The Double-Lined Spectroscopic Binary 112 Herculis. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 283(4); 1115-1132.

Sergeant, W.L.W. 1965. A Possible Relationship Between The Peculiar A Stars and The Lambda Boötis Stars. Astrophysical Journal, 142; 787-790.

Strömgren, B. 1966. Spectral Classification Through Photoelectric Narrow-Band Photometry. The Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey.

Takeda, Y., Han, I., Kang, D., Lee, B., ve Kim, K. 2008. Rotation and Surface Abundance Pecularities in A-Type Stars. Journal of the Korean Astronomy Society,1; 1-17.

Takeda, Y., Honda, S., Ohnishi, T., Ohkubo, M., Hirata, R. and Sadakane, K. 2012. Lithium, Carbon, and Oxygen Abundances of Hyades F-G Type Stars. Publication of Astronomy Society, Japan, 1–77.

Titus, J. and Morgan, W.W. 1940. On the Classifications of the A Stars. I. The Spectral Types of the Brighter Members of the Hyades Cluster. Astrophysical Journal, 92; 256-260.

Talon, S., Richard, O. and Michaud, G. 2006. A*m* F*m* Stars as a Test of Rotational Mixing Model. The Astrophysical Journal, 645; 634–651

Vauclair, G., Vauclair, S. and Michaud G. 1978. Abundance Anomalies In Main-Sequence Stars: Competition Between Diffusion Processes And Turbulent Motions, The Astrophysical Journal, 223:920-936.

Wolff, S.C. and Preston G.W. 1978. The Magnetic, Spectrum, and Photometric Variations of the A*p* Star 52 Herculis. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 90; 406-411.

Wolff, S.C. 1983. The A-Stars: Problems and Perspectives. NASA SP-463, Washington, DC.

Yüce, K. and Adelman, S.J. 2010. On the Properties of B and A Type Supergiants. EAS Publications Series, 43; 231-235.

Yüce, K., Adelman, S. J., Gulliver, A. F. and Hill, G. 2011. Elemental abundance analyses with DAO spectrograms: XXXII. HR 6455 (A3 III), δ Aqr (A3 V), η Lep (F2 V), and 1 Boo (A1 V). Astronomische Nachrichten, 332(7); 681-689.

Yüce, K. and Adelman, S.J. 2014. Elemental Abundance Analyses with DAO Spectrograms. XXXIV. A Three-Dimensional Graphical Examination of the Elemental Abundances of the Mercury-Manganese and Metallic-Line Stars. Astronomical Society of the Pacific, 126; 345–358.

Yüce, K. 2015. Optik Bölge Tayf Analizlerinden Manyetik Özellik Göstermeyen geç B - erken F Türü Yıldızların Kimyasal Element Bollukları, Çağrılı Konuşma, 19. Ulusal Astronomi Kongresi, 2-6 Şubat 2016 (basım aşamasında)

Zorec, J. ve Royer, F. 2012. Rotational Velocities of A-Type Stars IV: Evolution of rotational velocities. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 537; 1-22.

EKLER

EK 1 Normal A tipi ve A*m* yıldızlarının birleştirilmiş T_e - log g grafiği

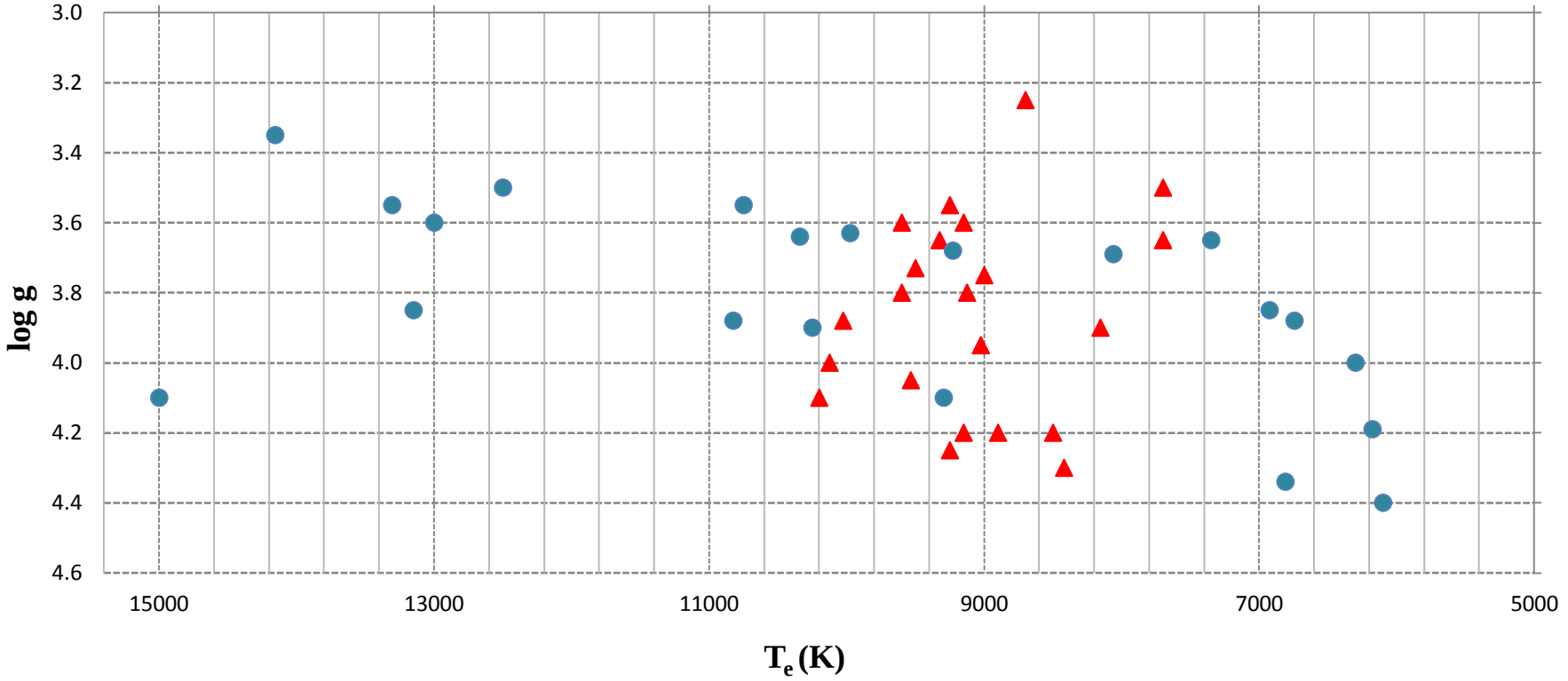
EK 2 Normal A tipi ve A*m* yıldızlarının birleştirilmiş T_e - ξ grafiği

EK 3 Normal A tipi ve A*m* yıldızlarının birleştirilmiş T_e - $v \sin i$ grafiği

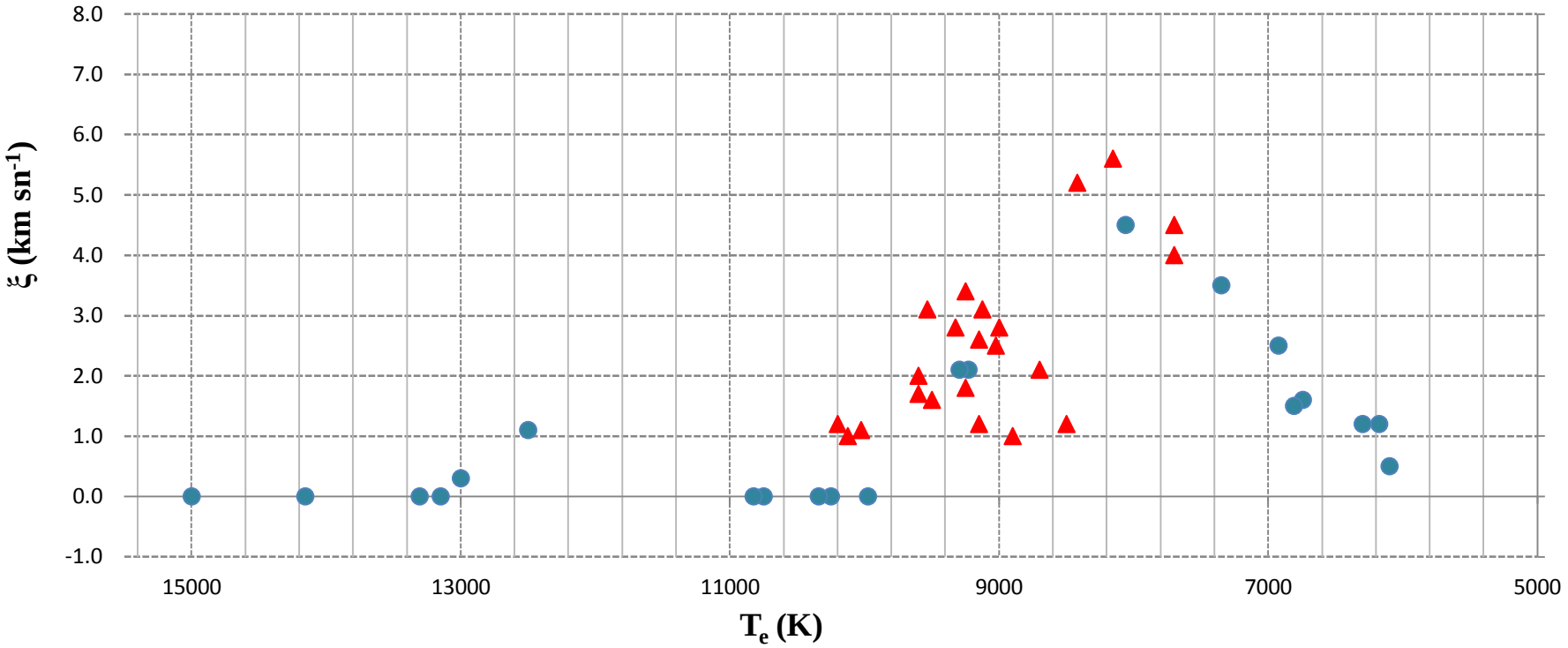
EK 4 Normal A tipi yıldızların [C/H], [O/H], [Mg/H], [Si/H], [Ca/H], [Sc/H], [Ti/H], [Cr/H], [Fe/H], [Ni/H], [Sr/H], [Y/H], [Ba/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılmaları

EK 5 A*m* tipi yıldızların [C/H], [O/H], [Mg/H], [Si/H], [Ca/H], [Sc/H], [Ti/H], [Cr/H], [Fe/H], [Ni/H], [Sr/H], [Y/H], [Ba/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılmaları

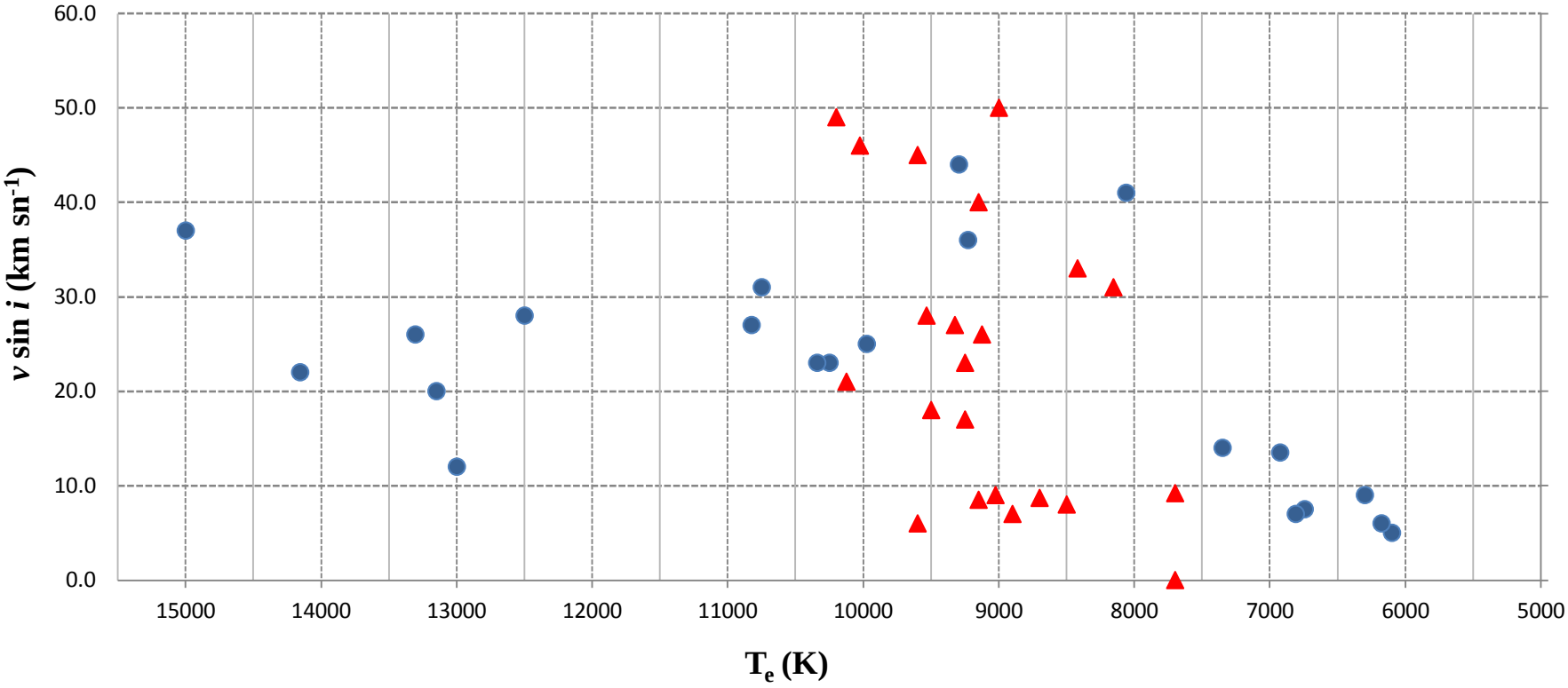
EK 1 Normal A ve A*m* tipi yıldızların birleştirilmiş T_e - log g grafiği



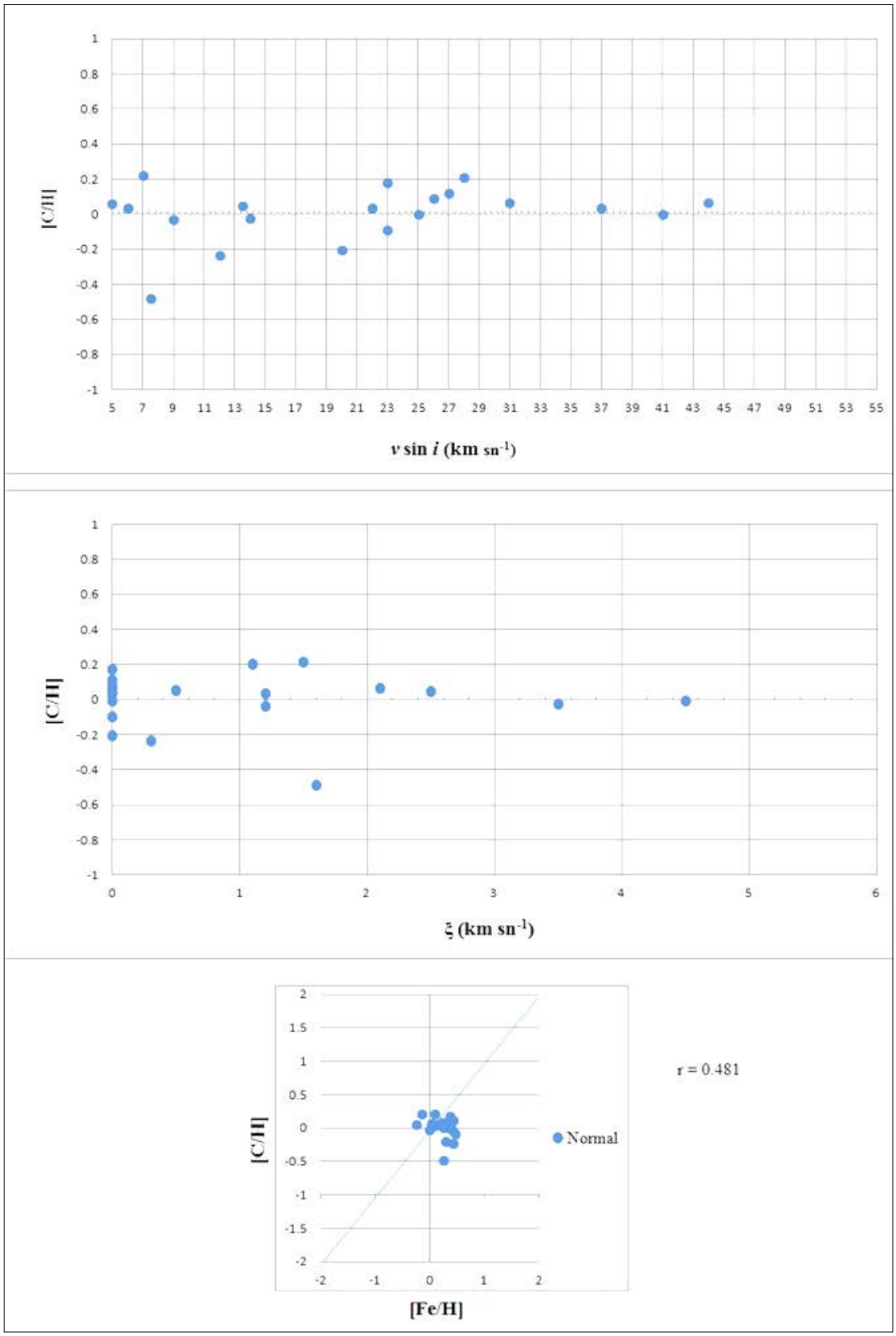
EK 2 Normal A ve A*m* tipi yıldızların birleştirilmiş T_e - ξ grafiği



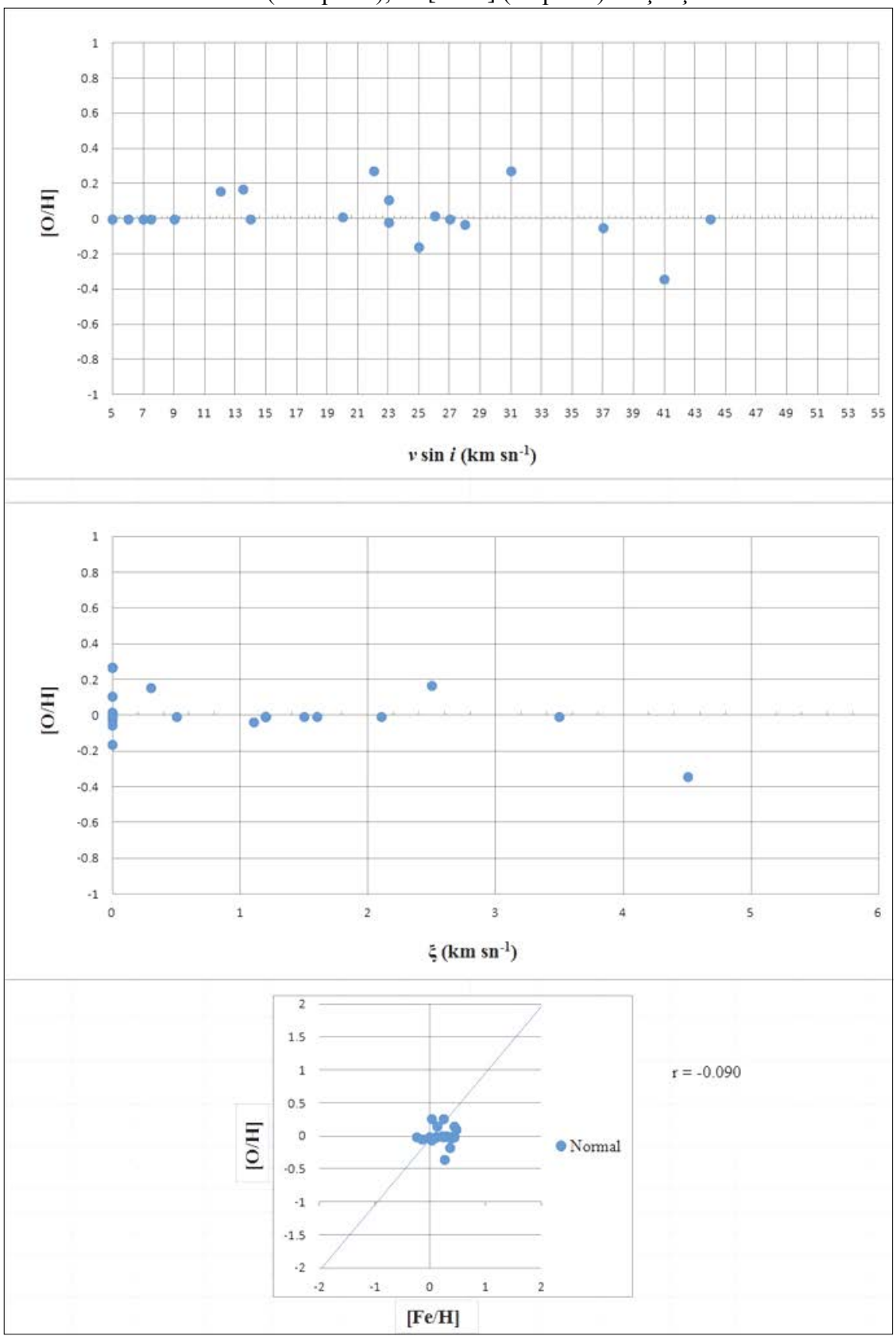
EK 3 Normal A ve A*m* tipi yıldızların birleştirilmiş T_e - *v* sin *i* grafiği



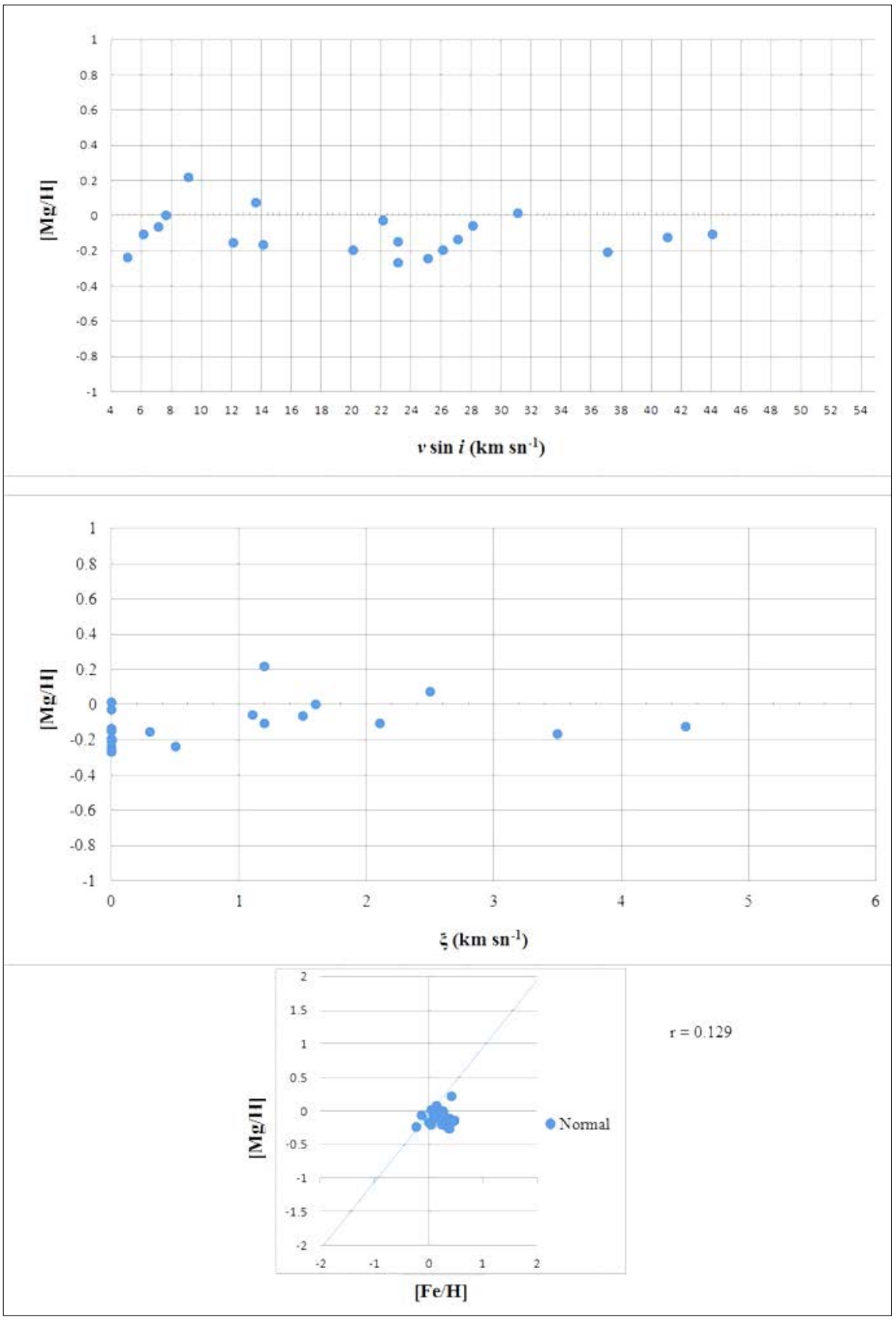
EK 4 Normal A tipi yıldızların [C/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



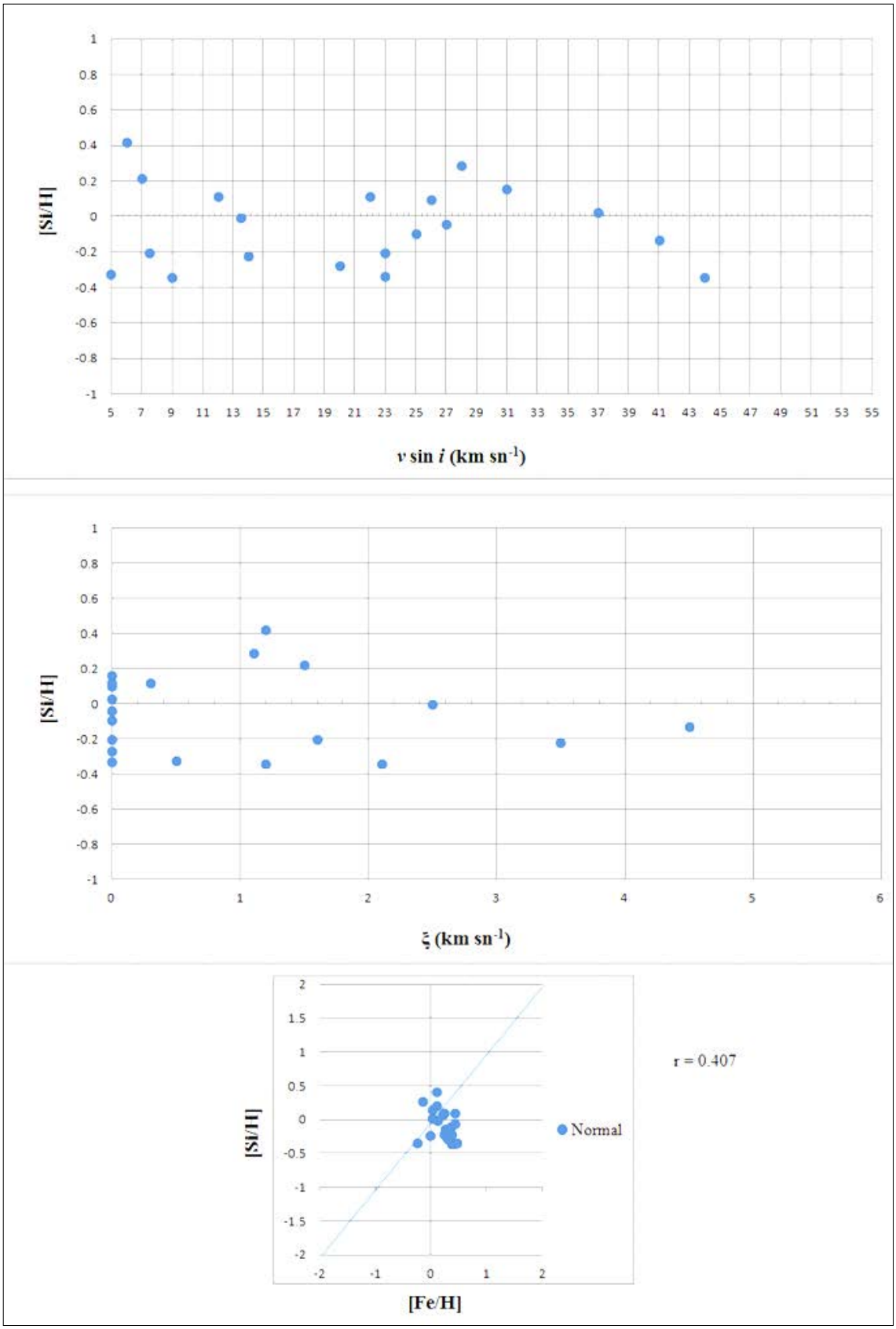
EK 4 Normal A tipi yıldızların [O/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



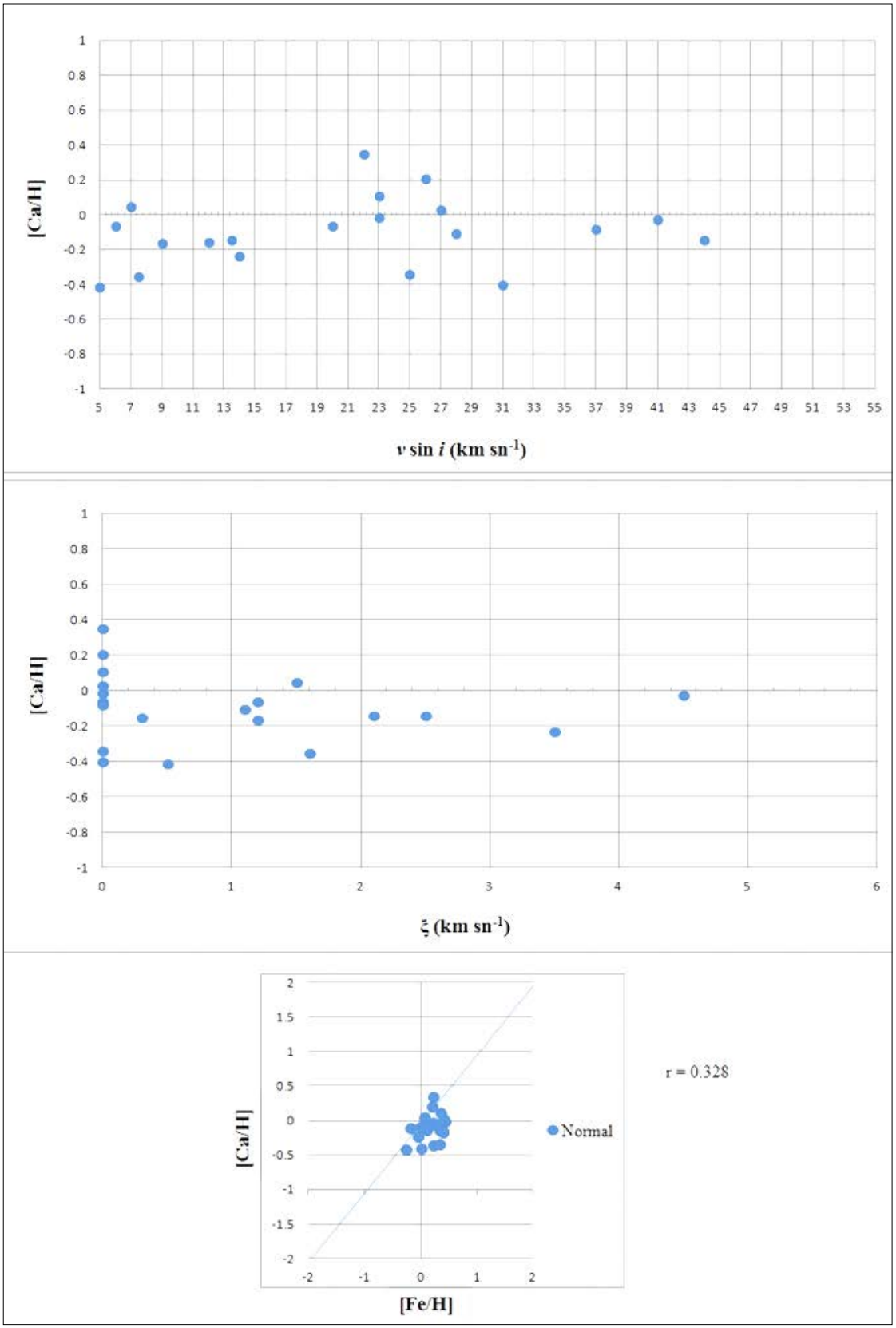
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Mg/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



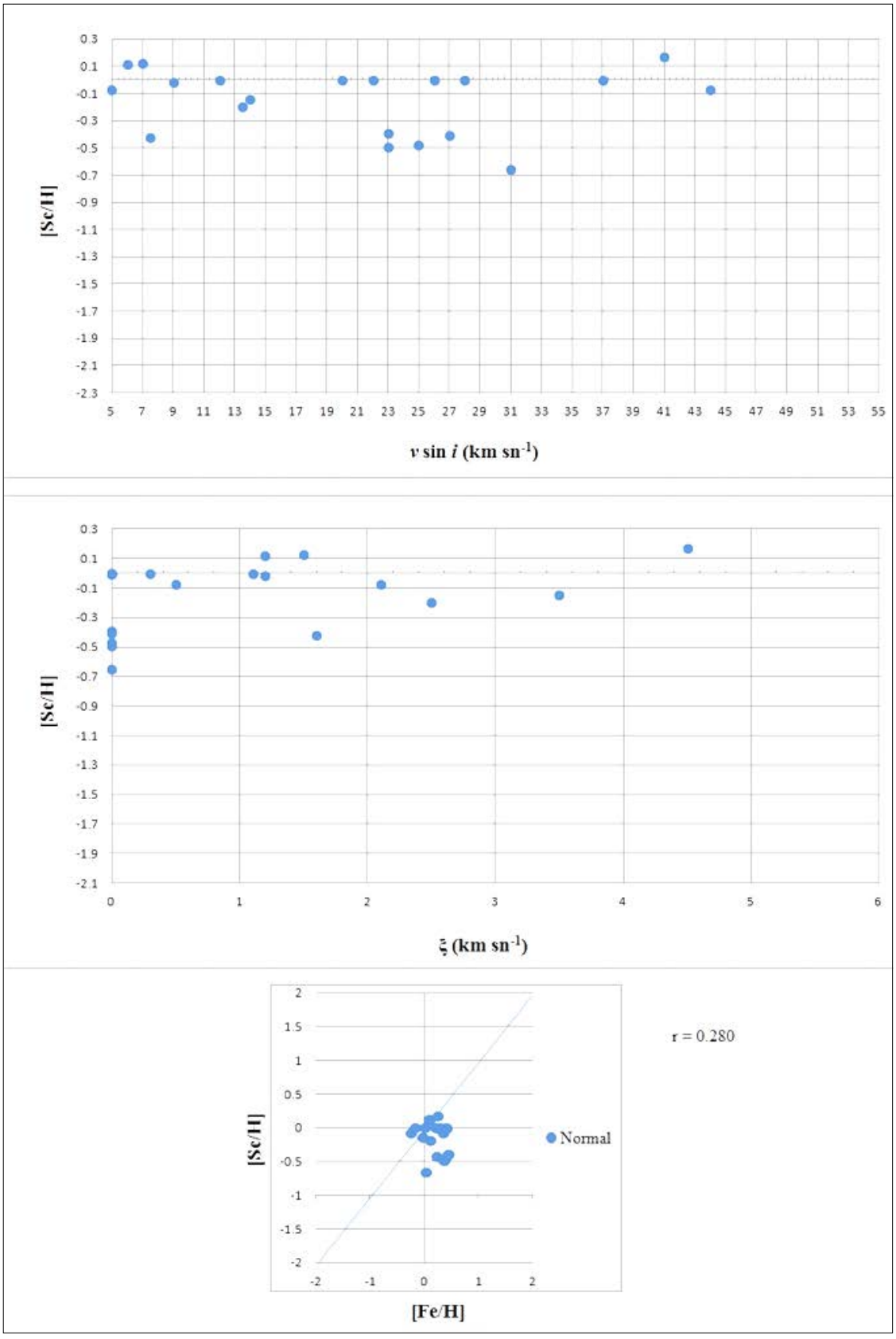
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Si/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



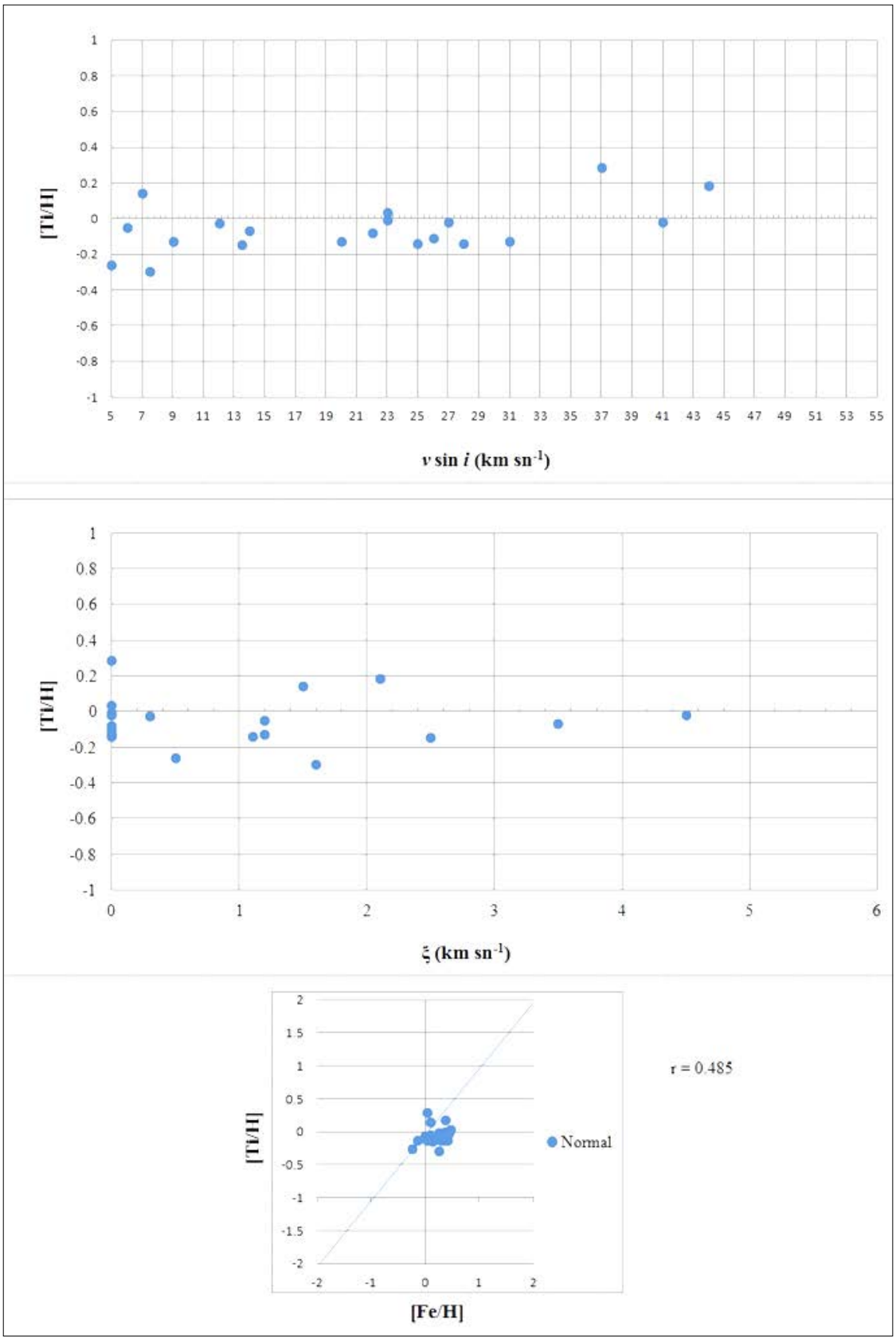
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Ca/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



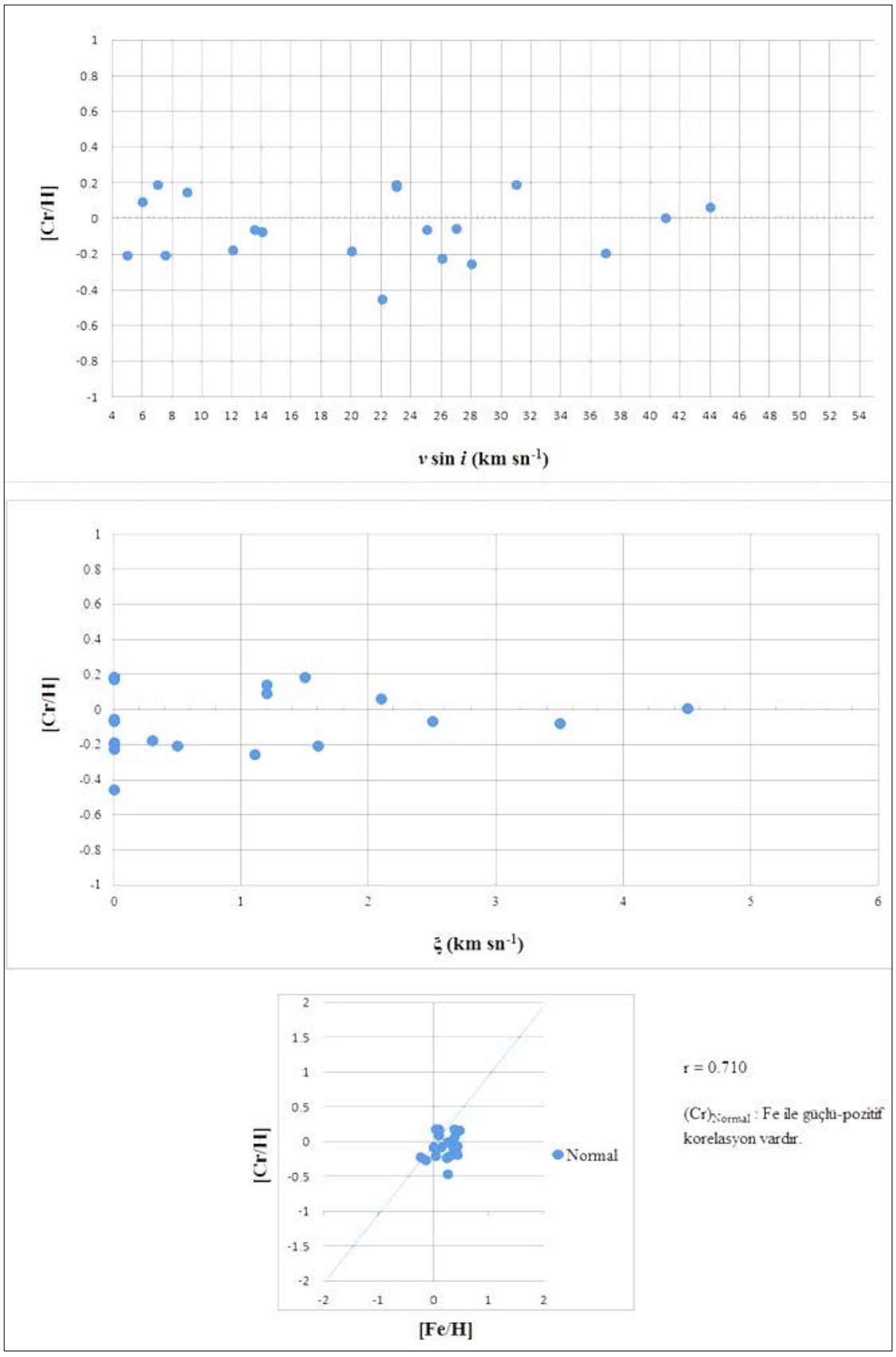
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Sc/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



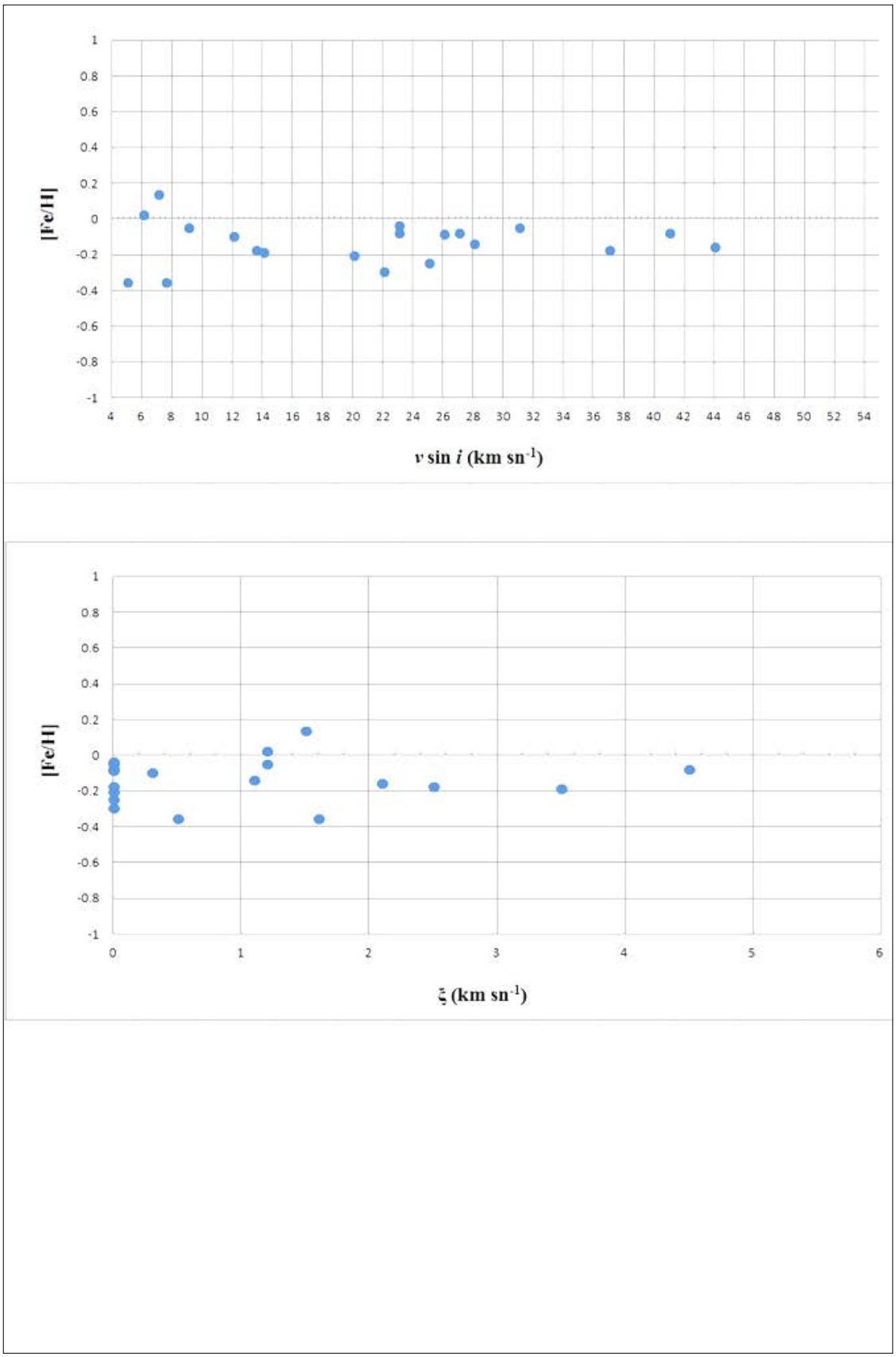
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Ti/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



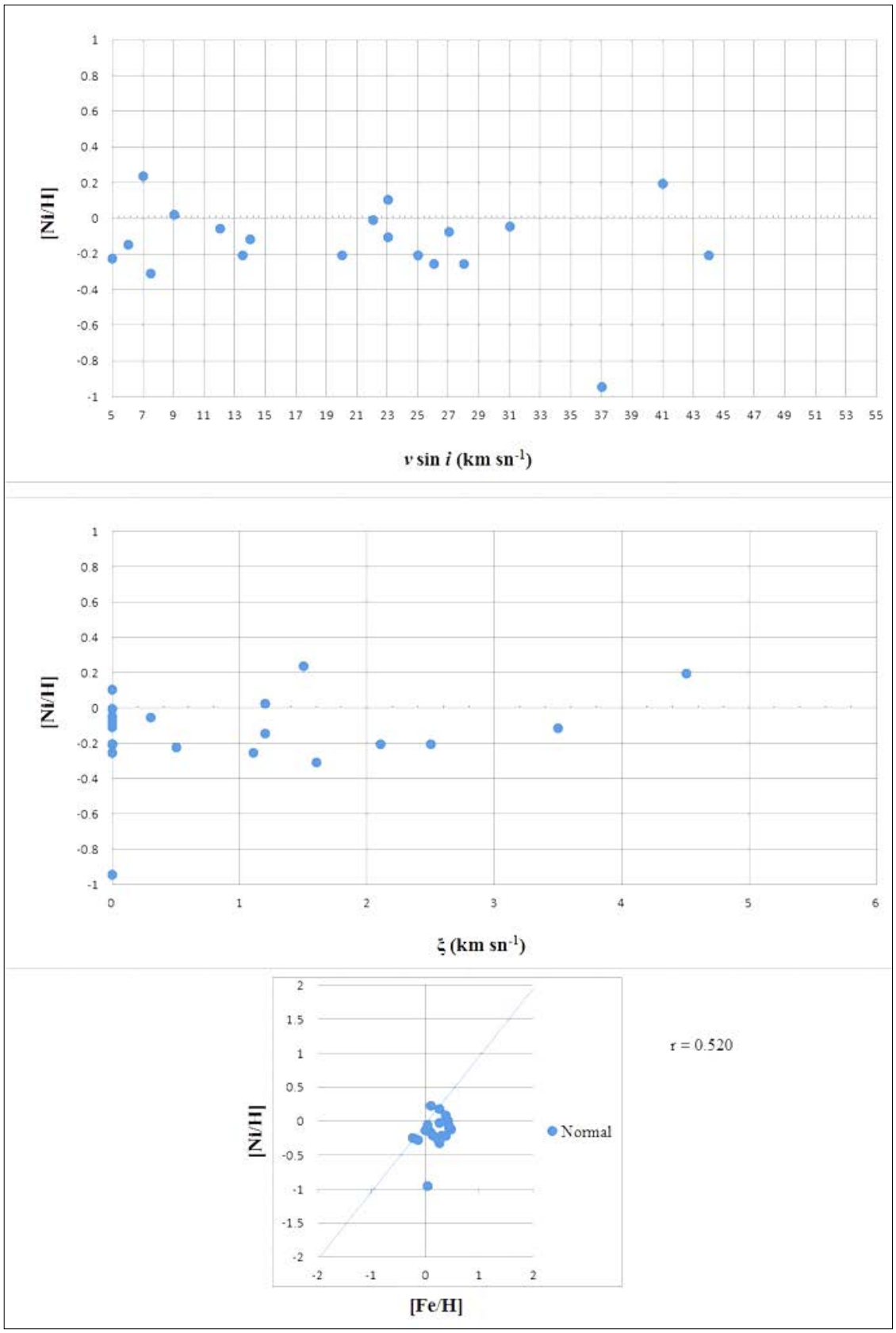
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Cr/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



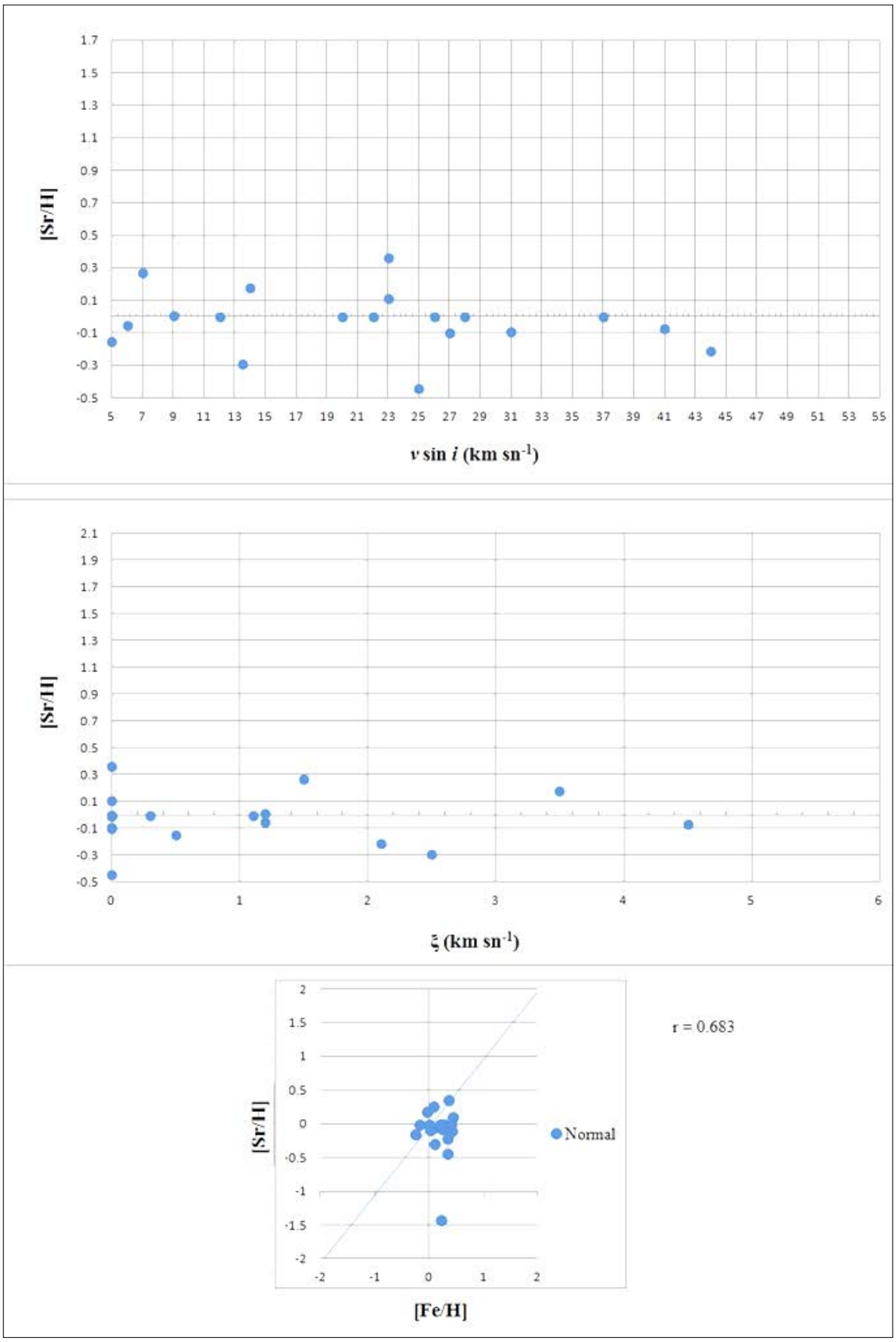
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Fe/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel) ve mikrotürbülans hızı (orta panel)



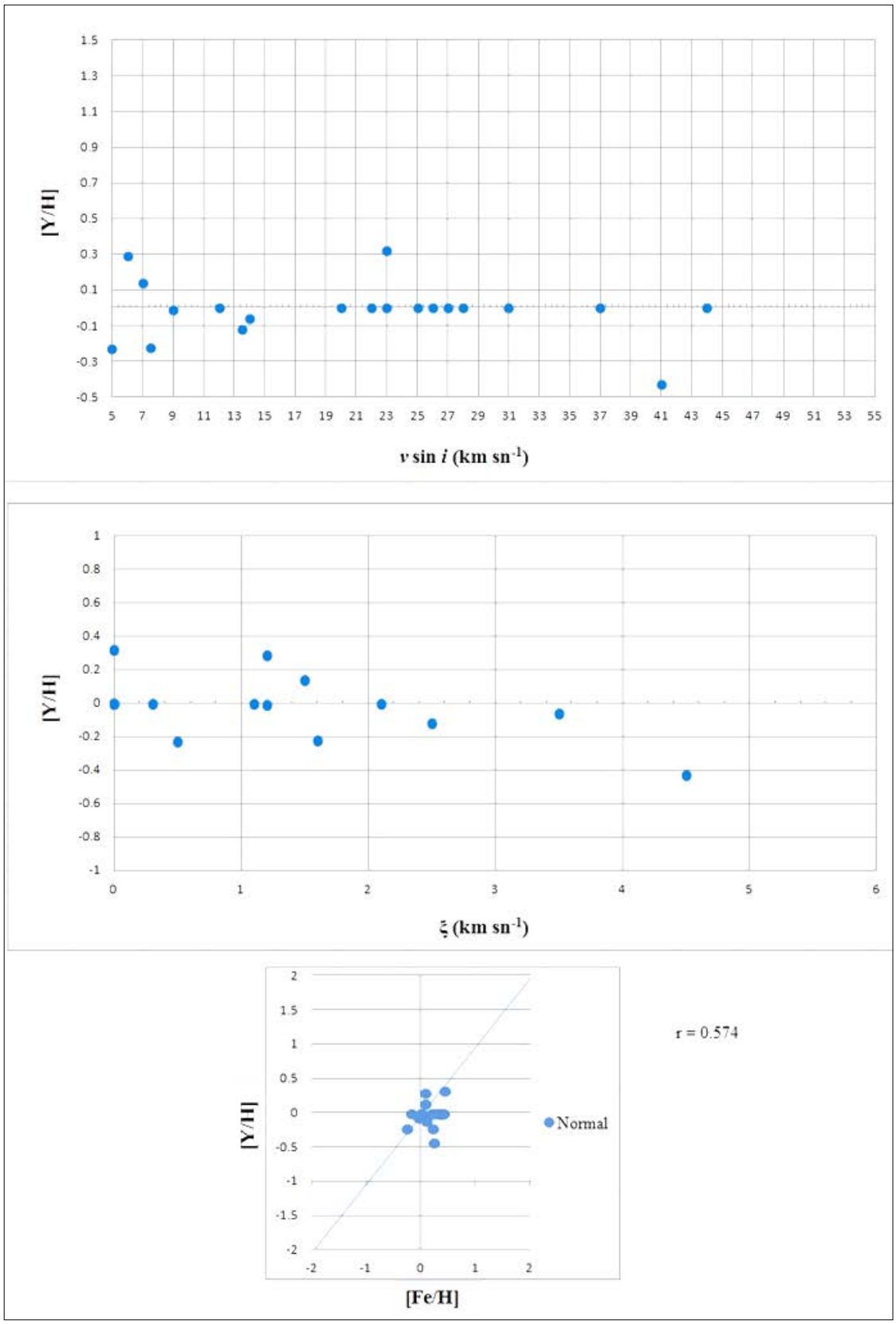
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Ni/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



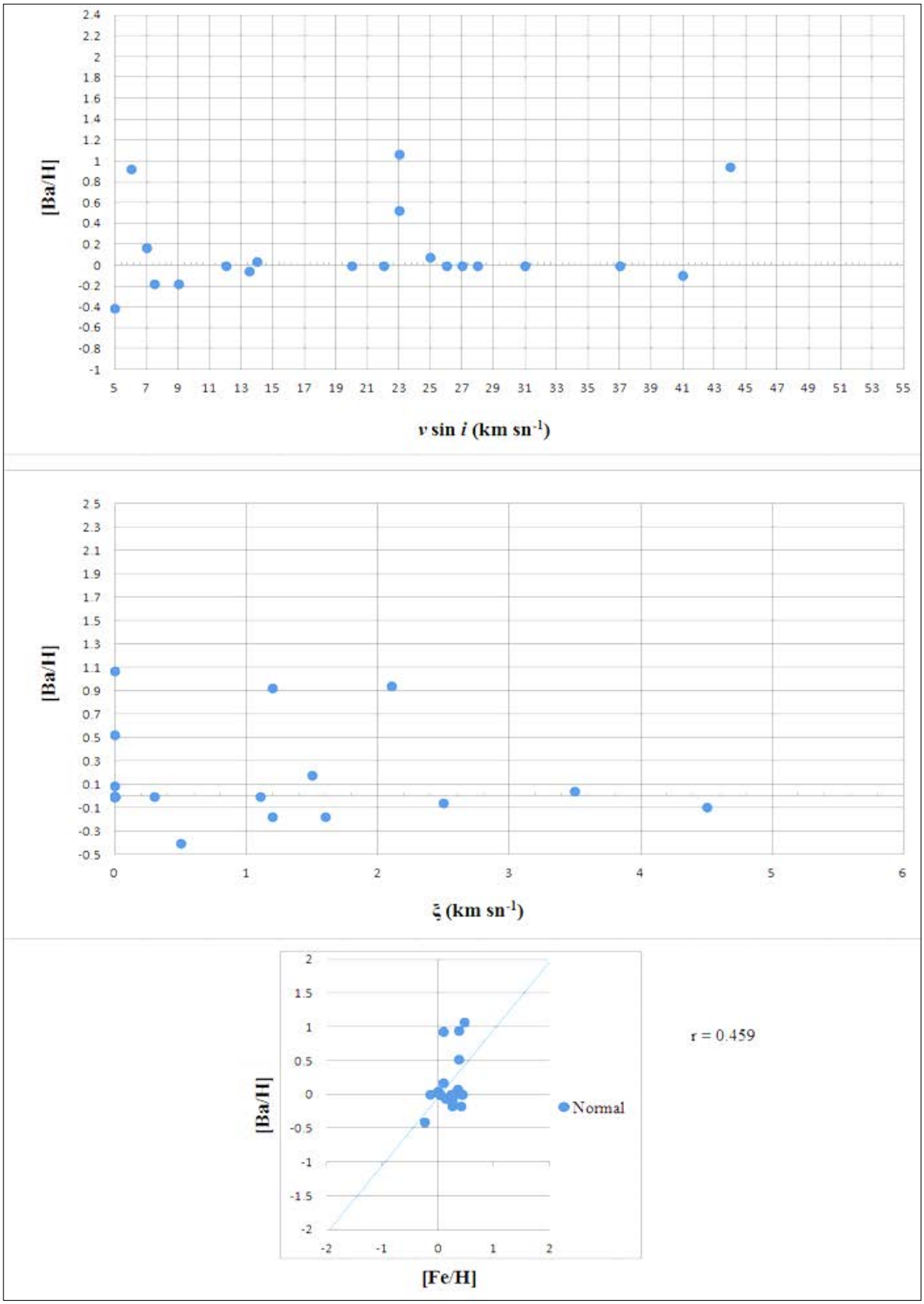
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Sr/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



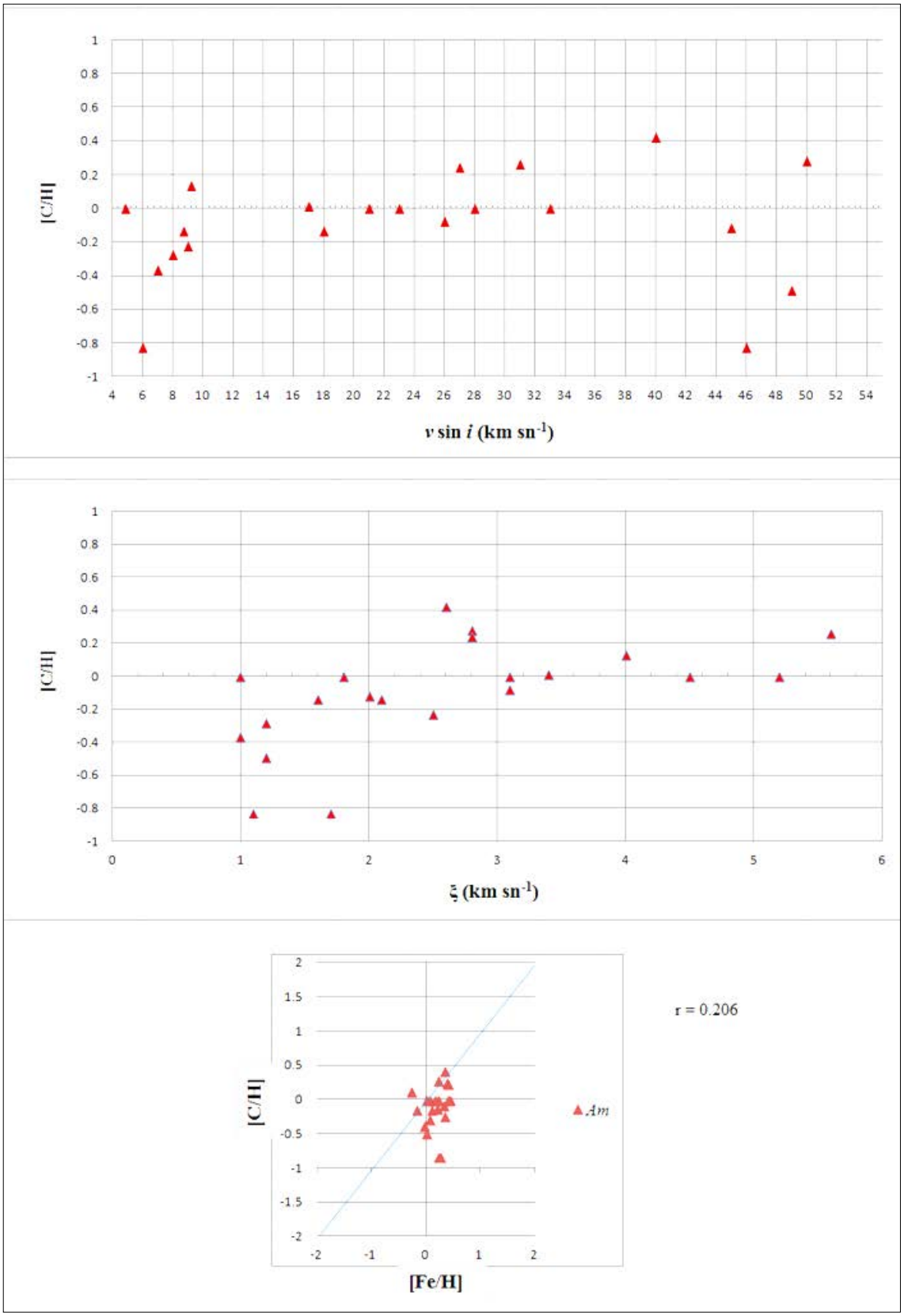
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Y/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



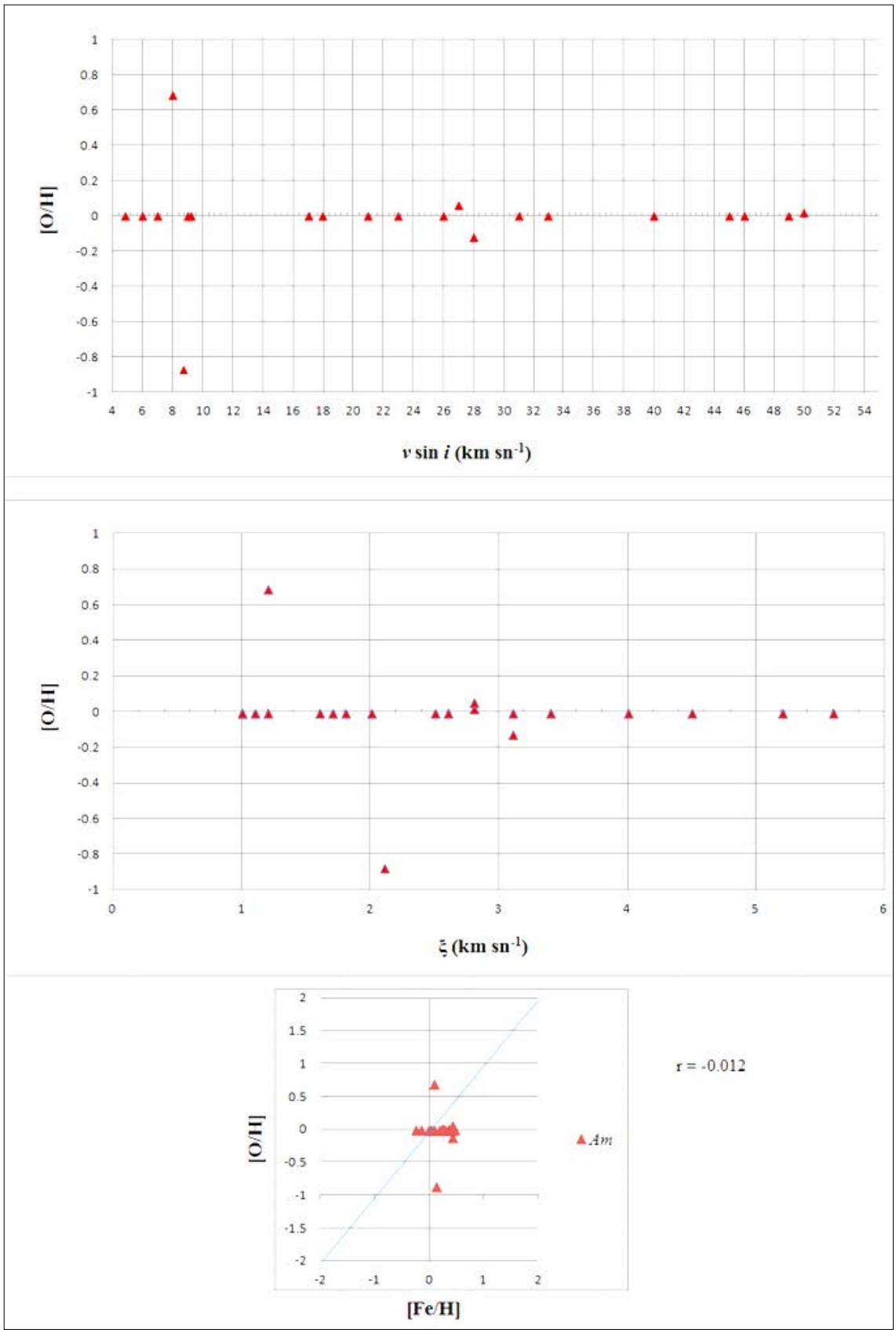
EK 4 Normal A tipi yıldızların [Ba/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



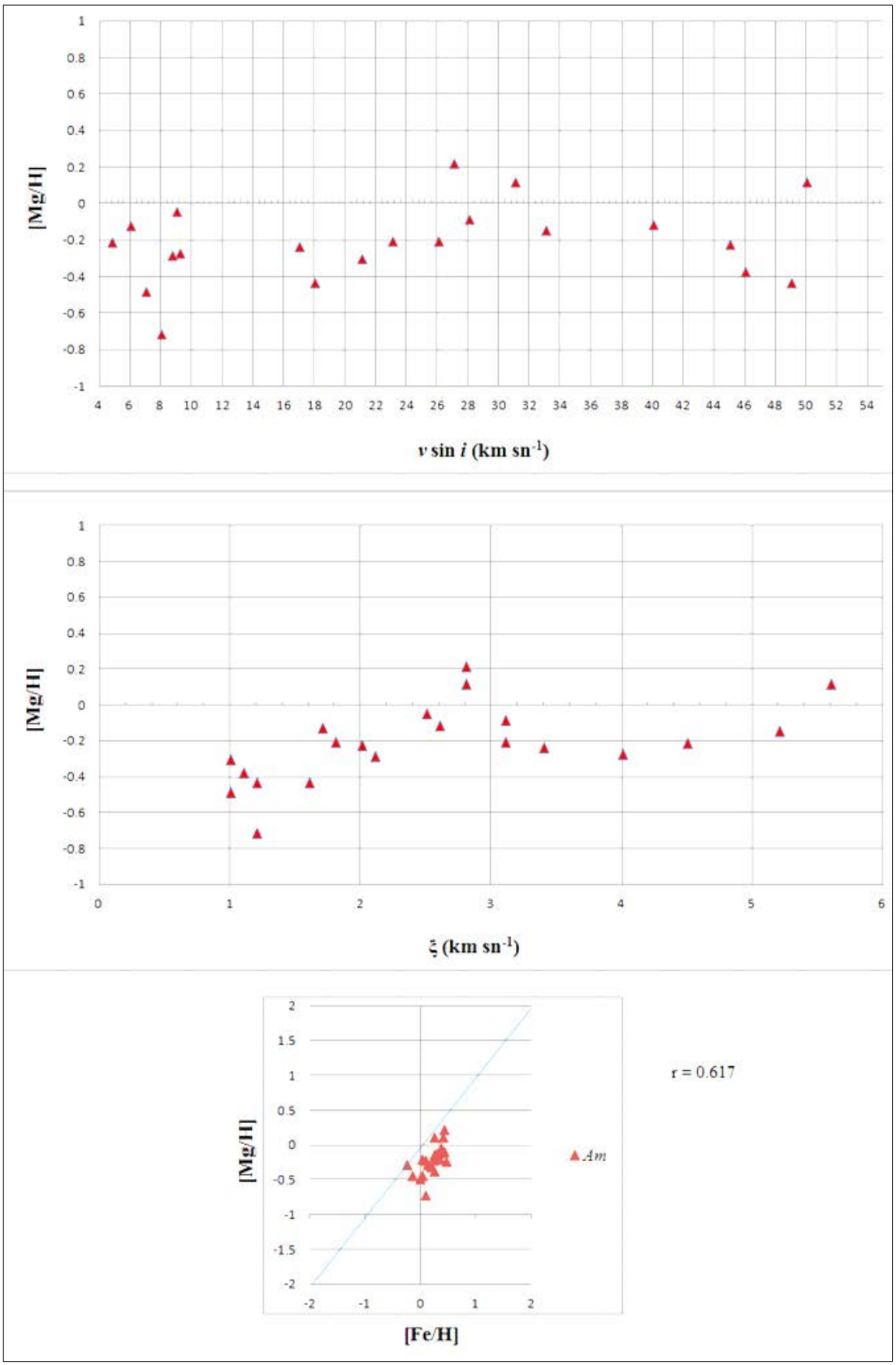
EK 5 A*m* tipi yıldızların [C/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



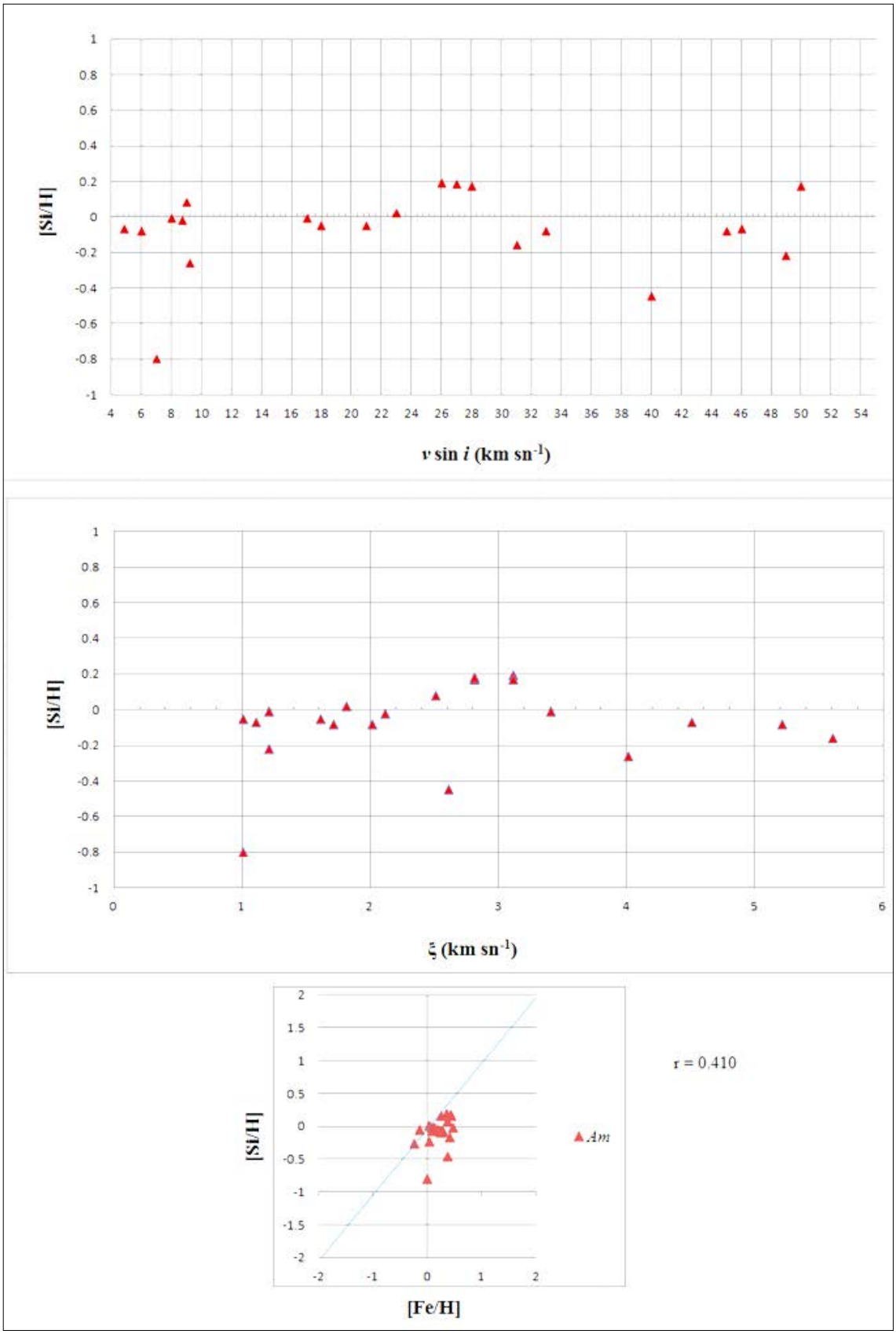
EK 5 A*m* tipi yıldızların [O/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



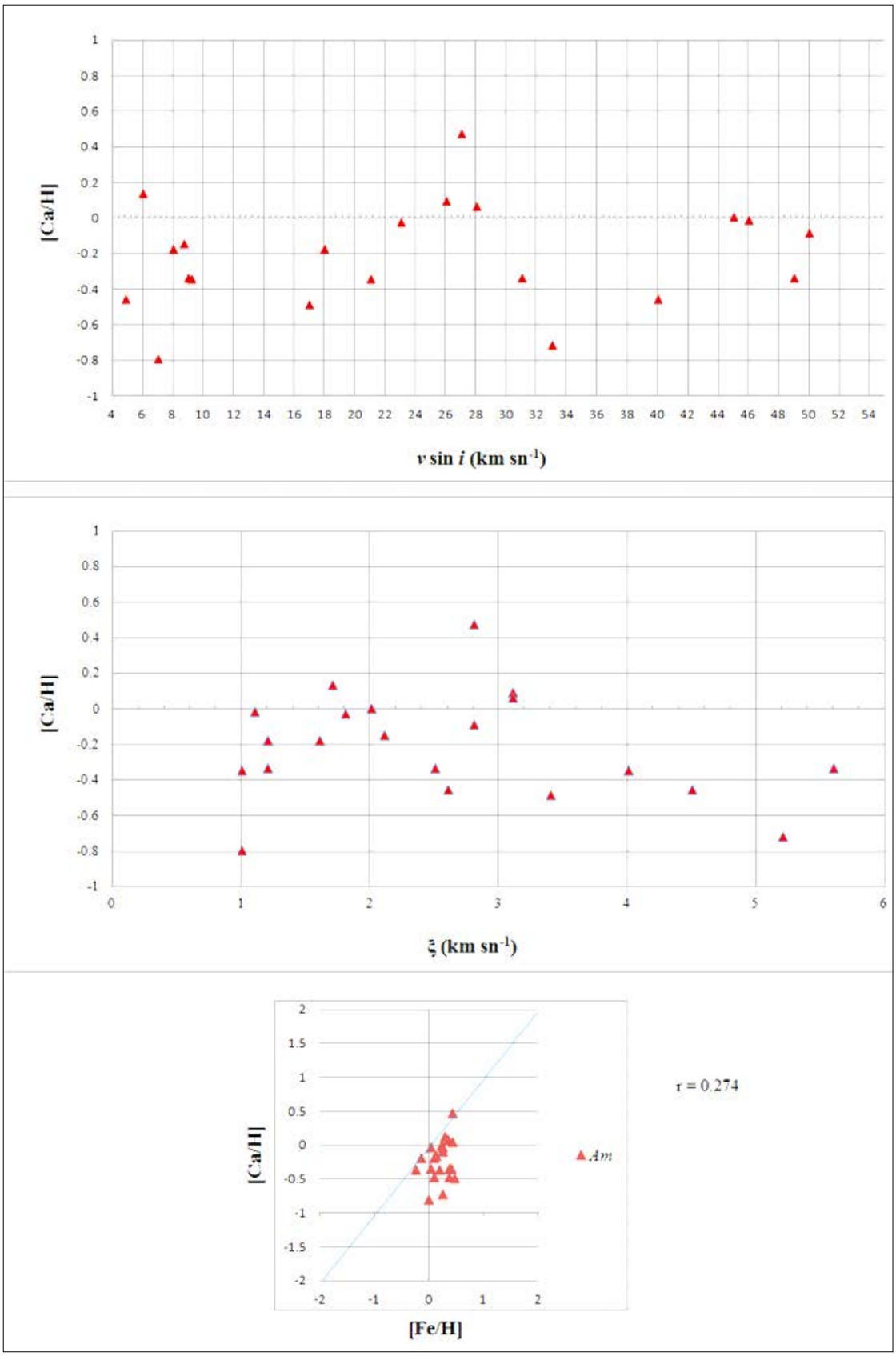
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Mg/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



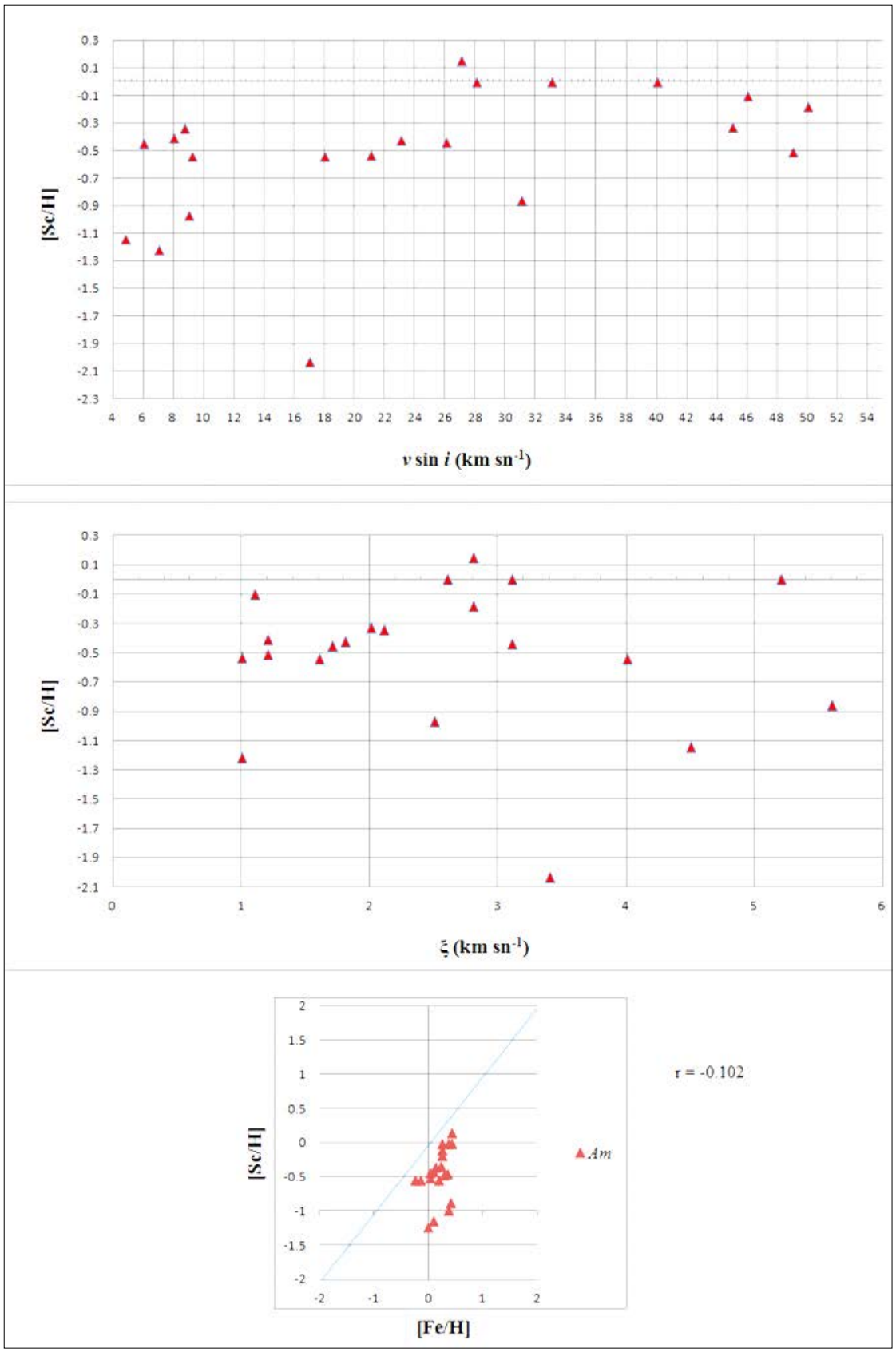
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Si/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



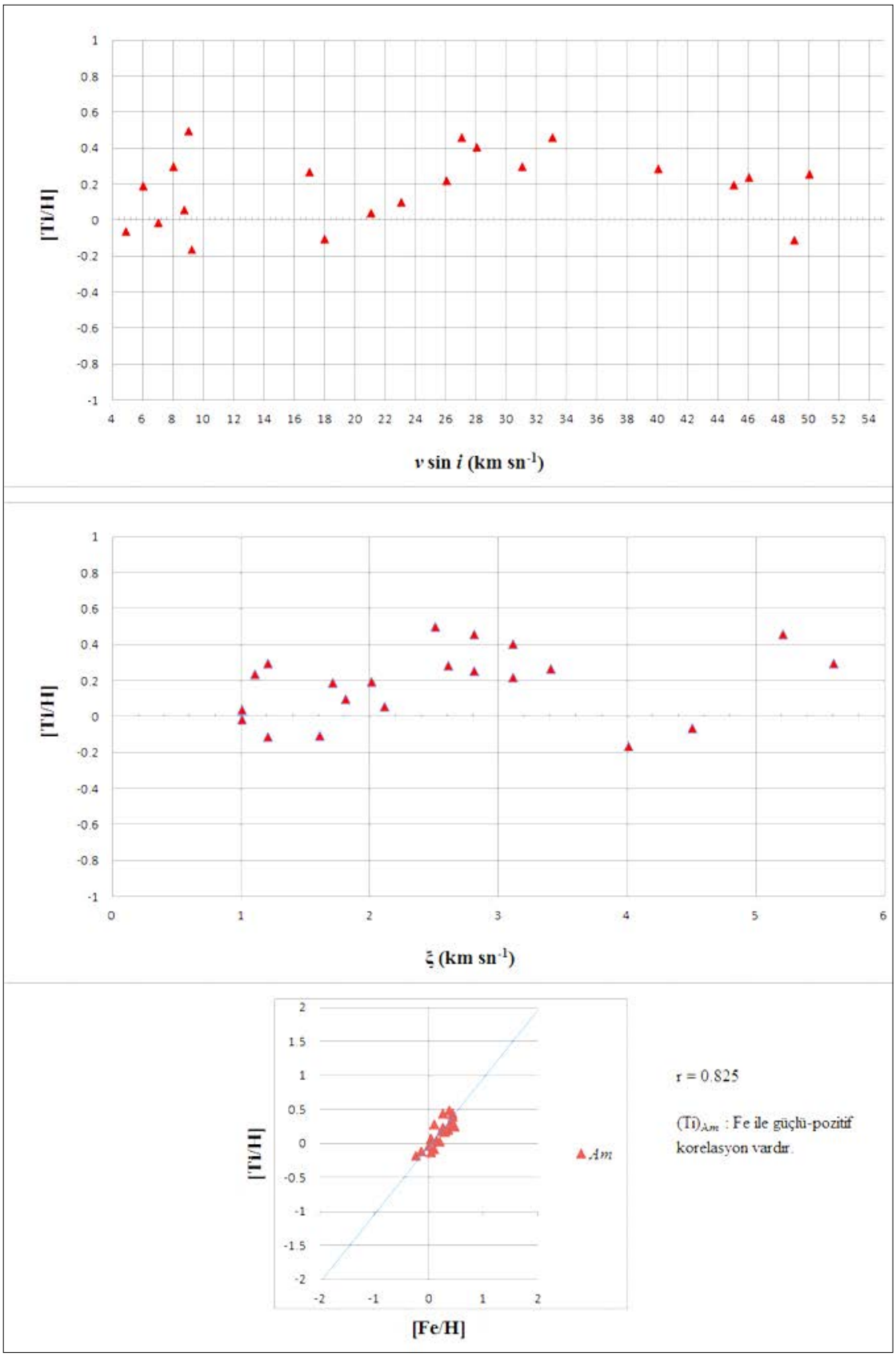
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Ca/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



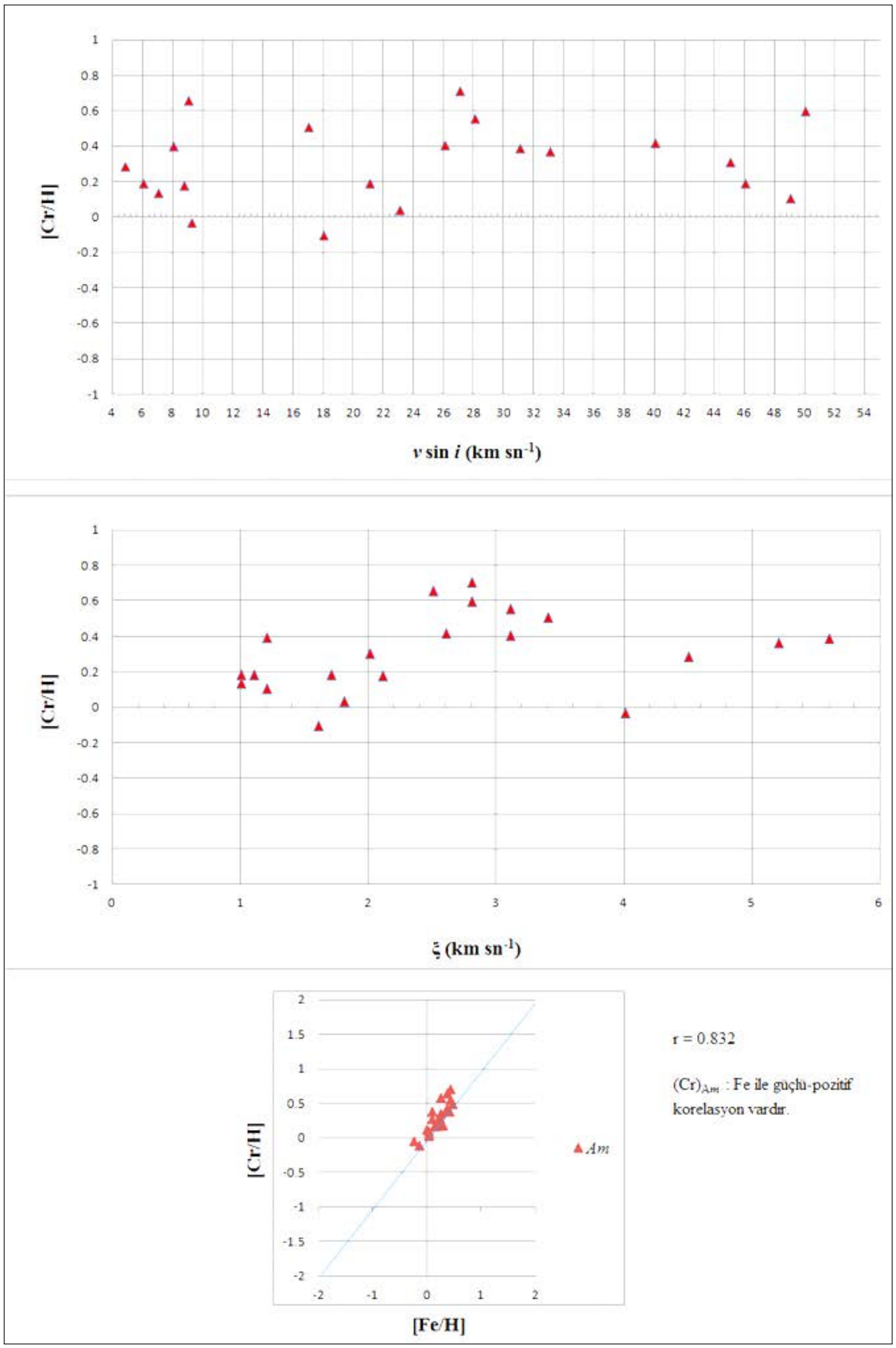
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Sc/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



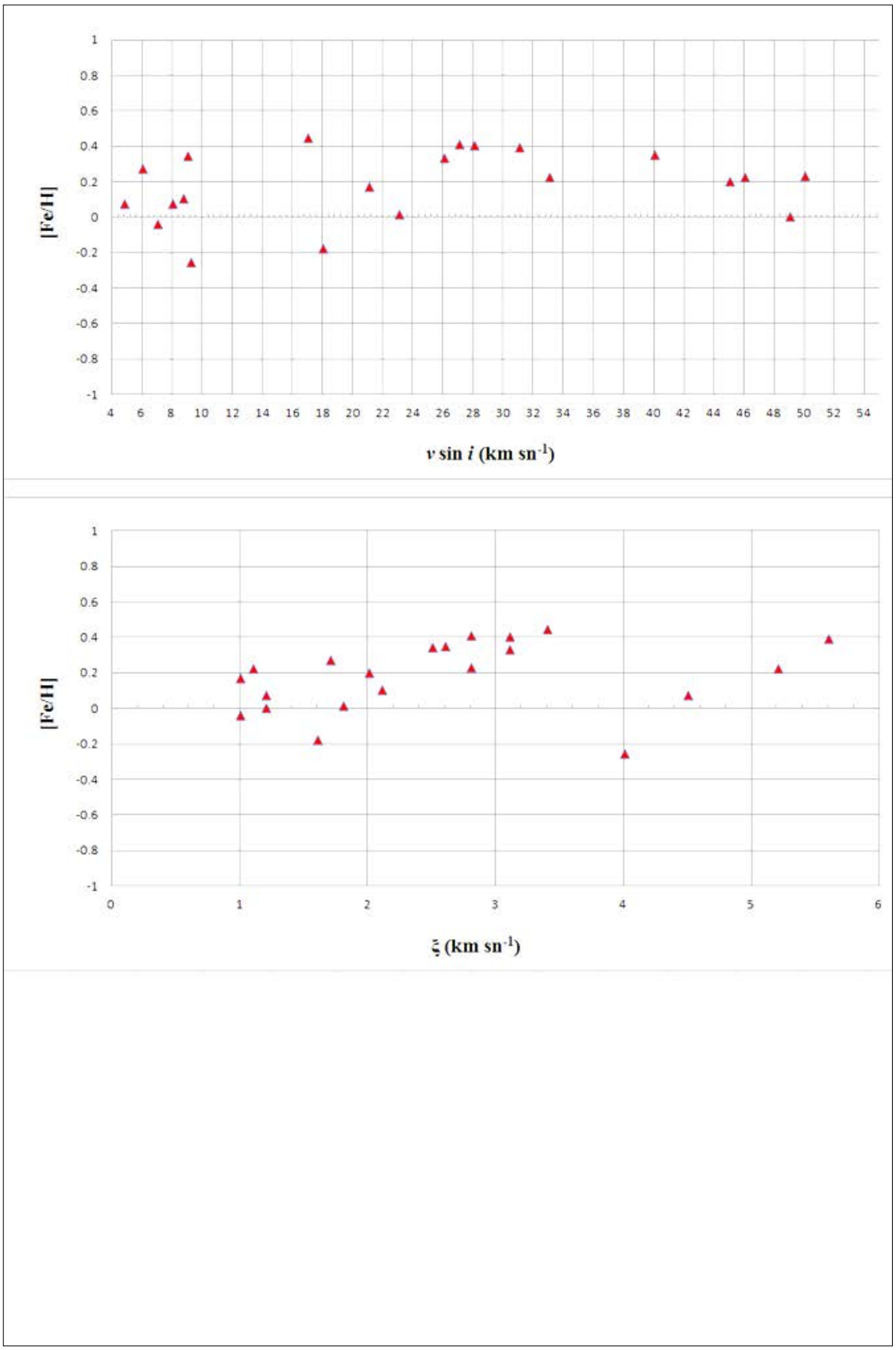
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Ti/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



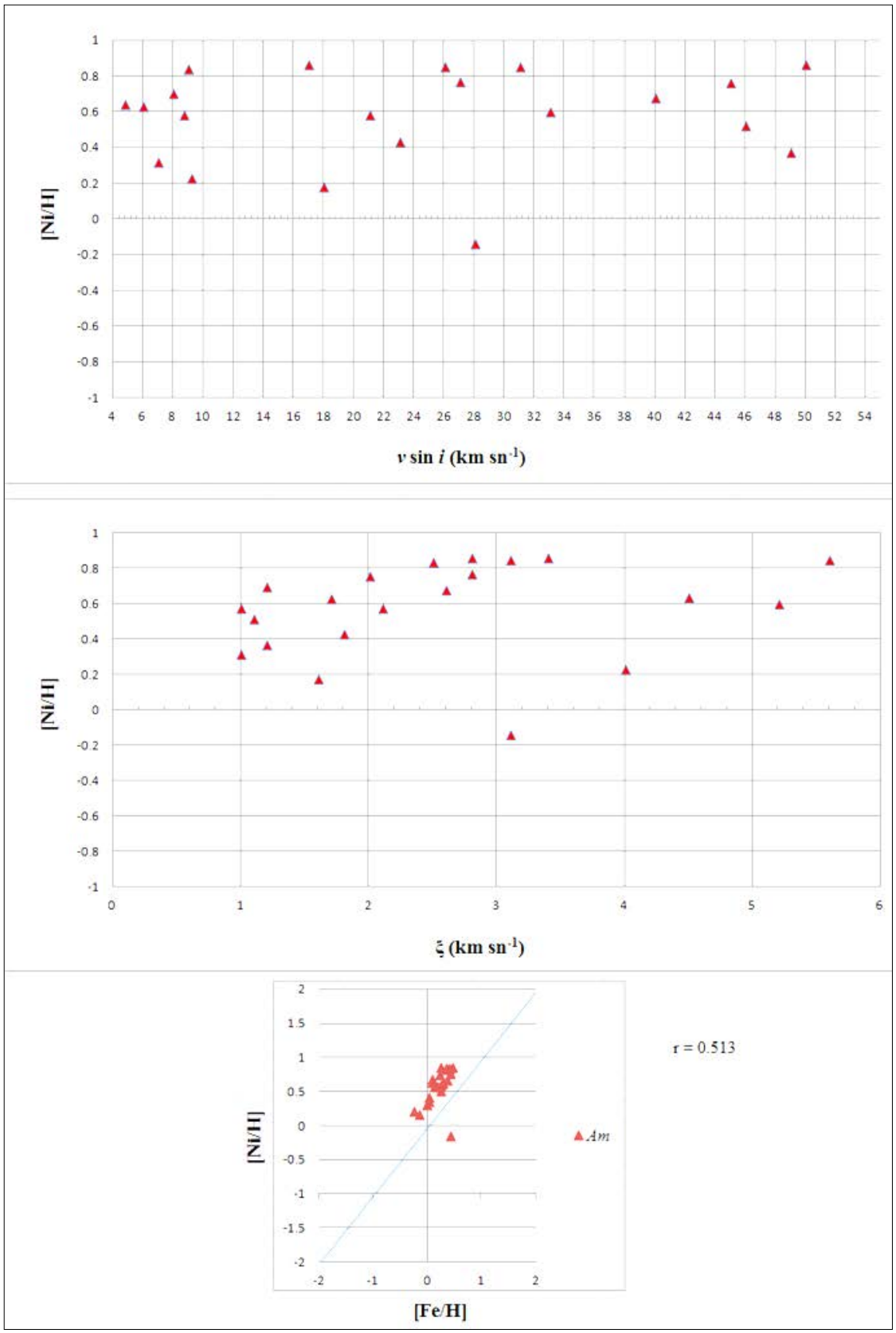
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Cr/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



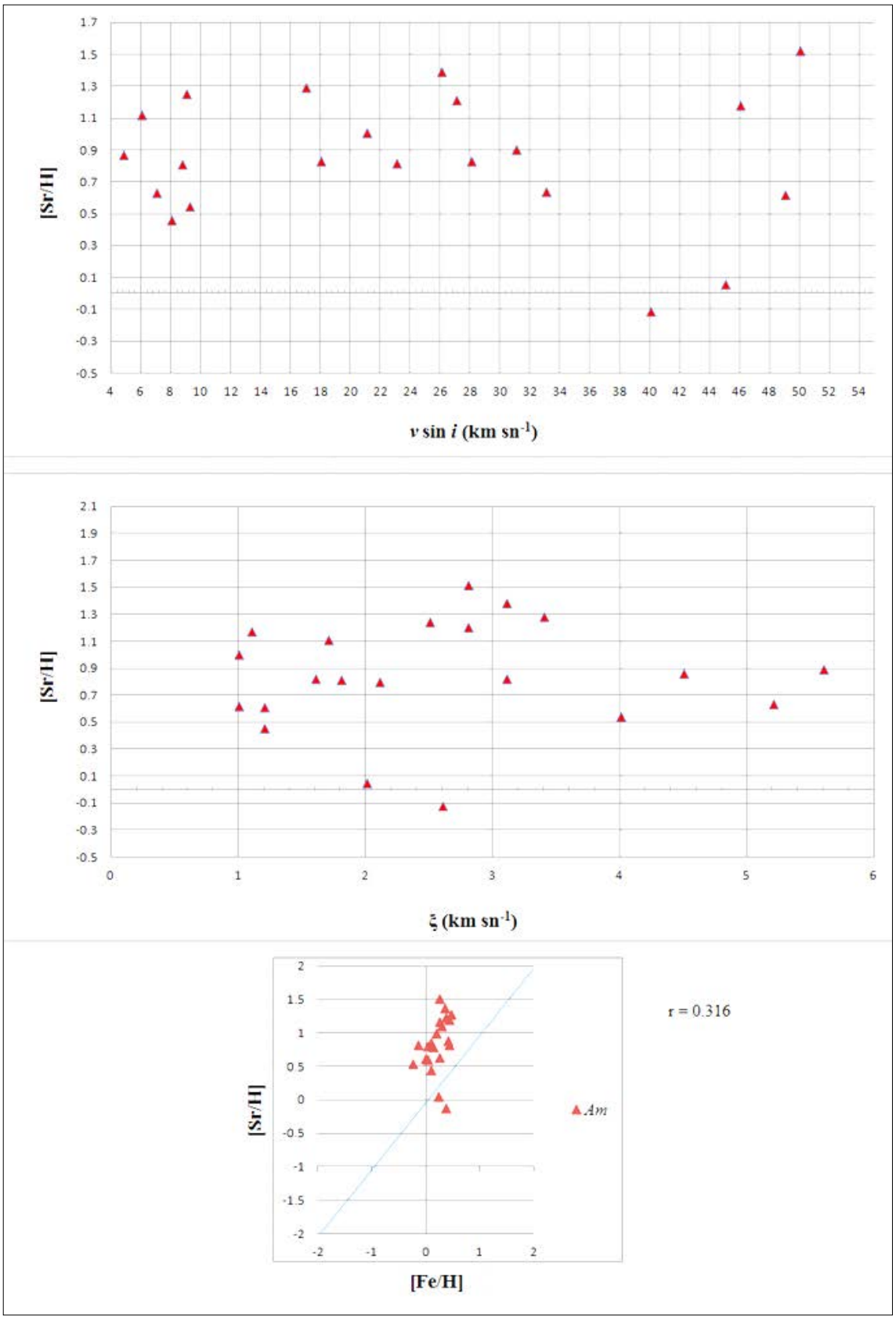
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Fe/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel) ve mikrotürbülans hızı (orta panel)



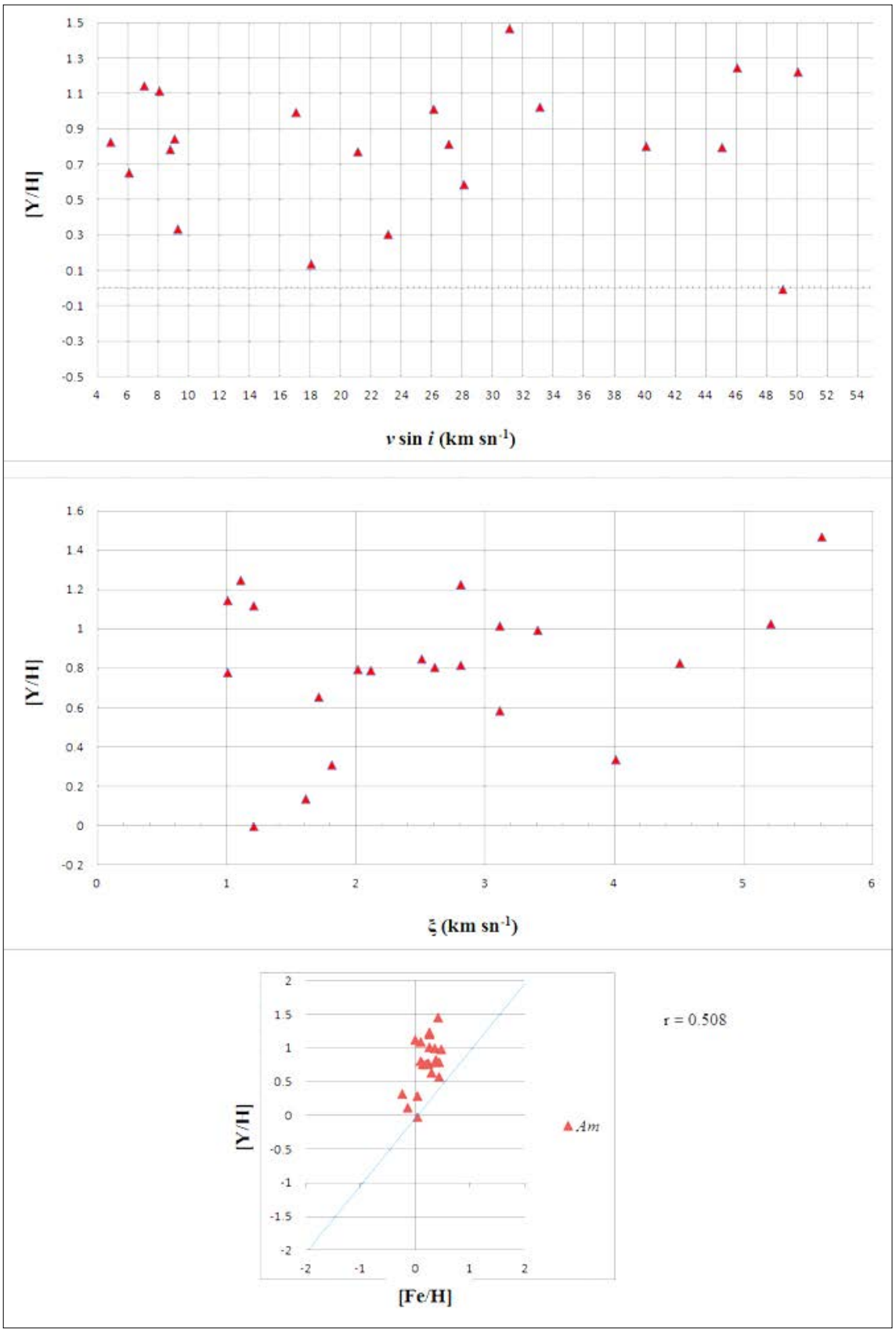
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Ni/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



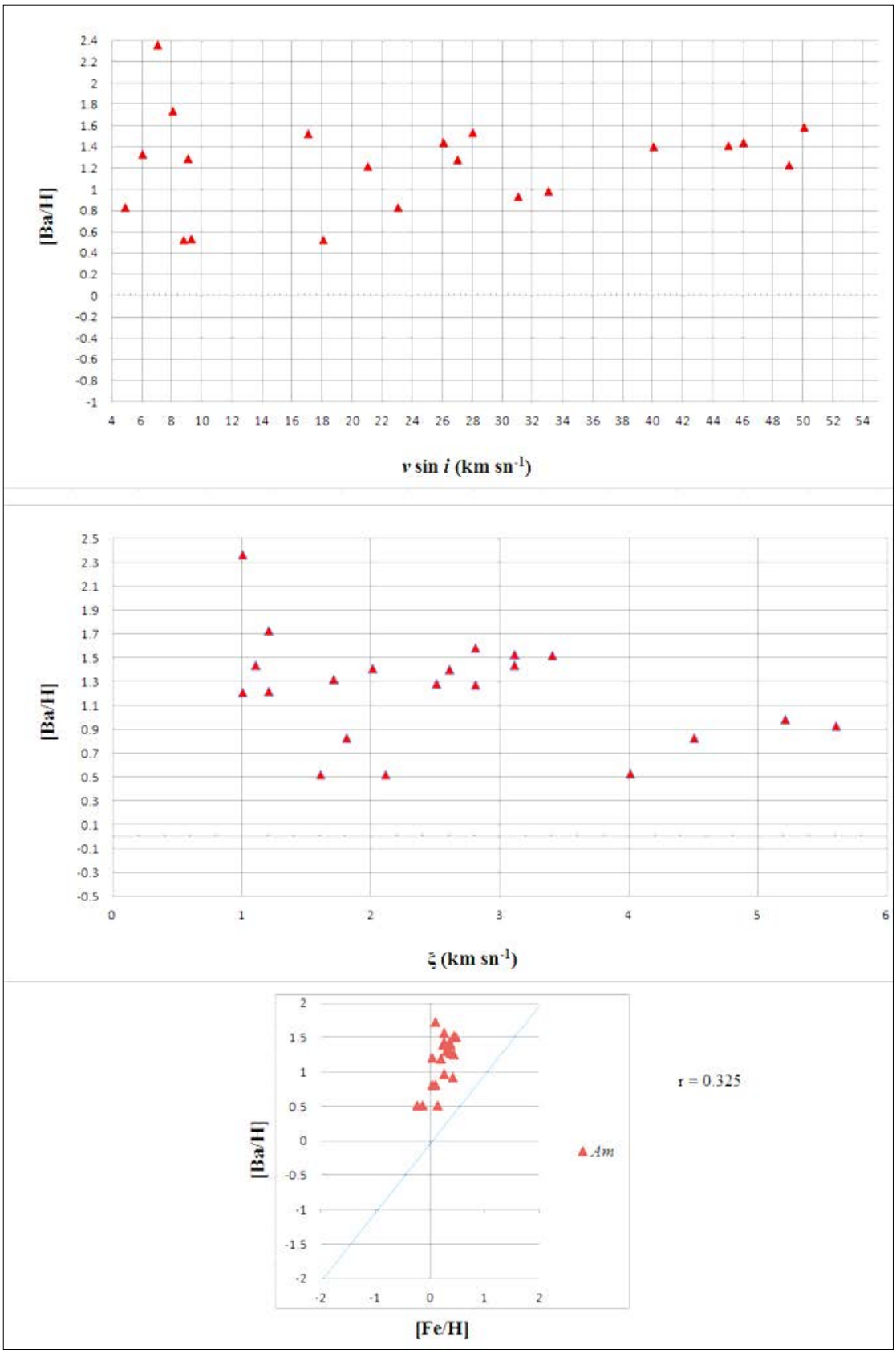
EK 5 A*m* tipi yıldızların [Sr/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



EK 5 A*m* tipi yıldızların [Y/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



EK 5 A*m* tipi yıldızların [Ba/H] bolluk değerlerine göre; dönme hızı (üst panel), mikrotürbülans hızı (orta panel), ve [Fe/H] (alt panel) karşılaştırılması



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Senem ERDEN ÇABUK
Doğum Tarihi:	: 17-12-1984
Doğum Yeri	: Ankara
Medeni Hali	: Evli
Yabancı Dil	: İngilizce

Öğrenim Durumu:

Lise	Etimesgut Anadolu Kız Meslek Lisesi–Bilgisayar Bölümü (2003)
Lisans	Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi (2009)
Yüksek Lisans	Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (2016)

Araştırma Alanları:

- A Tayf Türü Yıldız Atmosferleri
- Atomik Veri

Katıldığı Projeler:

1- ESO (European Southern Observatory) TÜRKİYE (üye), 2009 - (devam ediyor)
2- NASA ISS Sally Ride EarthKAM Eğitim Projesi, 2013-2016 arası 6 dönem - Danışman öğretmen (devam ediyor)
3- COMENIUS Orta Öğretim Eğitim Projesi, 2011-2013, Proje Yönetici Yardımcısı (Polonya, Türkiye, Letonya, Litvanya, Almanya)
4-ARIZONA STATE UNIVERSITY, Mars Exploration Rover, Rock Around The World Project, Danışman Öğretmen, 2015
5- TUBİTAK, Formula G, Güneş Enerjili Araç Tasarımı, Takım Kaptanı ve Tasarım Sorumlusu, 2009, Gazi Üniversitesi
6- TÜBİTAK, Uzman Bilim Danışmanlığı, Lise öğrencilerine yönelik, Uzman Öğretmen, (Fizik), 2013

Araştırmaya Dayanmayan Astronomi İçerikli Kaynaklar:

1- "VLT - Çok Büyük Teleskop" yayınlarının dilimize kazandırılmalarına yönelik, Erden-Çabuk, S., 2011, ESO (European Southern Observatory, Very Large Telescope)

2- GÜNÜN NASA GÖRÜNTÜSÜ Web Sitesi Projesi, Haftalık "HEASARC (High Energy Astrophysics Archive Research Center)" Çevirileri ve Açıklama Hazırlama

Ulusal Bilimsel Kongre/SempozyumlardaTam Metni Yayınlanan Posterler:

1- 'Yıldız Spektroskopisinde Atomik Verinin Rolü', Erden-Çabuk, S., Yüce, K., XVIII. Ulusal Astronomi ve Uzay Bilimleri Kongresi, 2012, Malatya, TÜRKİYE