





Normal ve Metal Çizgili A Yıldızlarının [Fe/H] Bolluklarının Diğer Element Bollukları ile Korelasyonu

Senem Çabuk¹ *, Kutluay Yüce¹ , Austin F. Gulliver² , Saul J. Adelman³ 

¹ *Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Ankara Üniversitesi, TR-06100, Tandoğan, Ankara, Türkiye*

² *Department of Physics and Astronomy, Brandon University, Brandon, MB, R7A 6A9, Canada*

³ *Department of Physics, The Citadel, 171 Moultrie Street, Charleston, SC 29409, USA*

Accepted: December 18, 2022. Revised: December 5, 2022. Received: November 6, 2022.

Özet

Bazı normal A-tipi anakol yıldızlarının, metal çizgili A_m -tipi yıldızlarına benzer yüzey element bolluğuna sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, Yüce ve Adelman (2014) tarafından DAO'dan (Dominion Astrophysical Observatory, Kanada) alınan yüksek çözünürlüklü spektral verilerle belirlenen 13 element bolluğu için istatistiksel tekniklerle optik bölge bolluklarının ayrıntılarını anlamak için normal ve metalik çizgili A yıldızlarını araştırıyoruz. Bu verilerle [Fe/H] bolluğuna karşı 12 elementin korelasyon katsayıları hesaplandı. Regresyon analizi sonucunda 12 elementin [Fe/H] bolluğu ile ilişkisi belirlendi. Sonuçlar, normal A-tipi yıldızların [Fe/H] bolluğu açısından A_m -tipi yıldızlardan farklı olduğunu ortaya koydu.

Abstract

Some normal A-type main sequence stars appear to have surface abundances like those of metallic lined A_m -type stars. In this study, we investigate normal and metallic lined A stars to understand the details of their optical region abundances via statistical techniques for 13 elements (C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y, Ba) abundances determined by high resolution spectral data from DAO (Dominion Astrophysical Observatory) by Yüce ve Adelman (2014). With these data, correlation coefficients of 12 elements were calculated against their [Fe/H] abundances. As a result of regression analysis, the relationship of 12 elements with [Fe/H] abundance was determined. The results revealed that normal A-type stars differ from A_m -type stars in terms of [Fe/H] abundance.

Anahtar Kelimeler: normal A type stars – metallic-line A stars – stellar atmosphere – elemental abundance – stellar physical properties – stellar chemical properties – cross-correlation

1 Giriş

Tayf sınıfları, yıldızların atmosferlerindeki blend olmamış, nötr veya iyon elementlerin tayf çizgilerinden belirlenir. Normal A yıldızları, fotosferlerindeki element bollukları Güneş bolluğuna yakın olan ve algılanabilir manyetik alanları olmayan yıldızlardır. Tayflarında salma çizgileri göstermezler. Ayrıca fotometrik değişkenlikler gözlenmez. Normal A-tipi yıldızların çoğu, yüzey kimyasal bileşimlerinde Güneş'ten ± 0.40 dex aralığında farklılık gösterir (Adelman ve Unsee 2007). Bu bolluk farklılıklarını gösterme eğiliminde olan genellikle ağır elementlerdir. 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 (A_m) yıldız tipleri bu sınıftan birer üyesidir.

A tayf türü yıldızların Henry Draper sınıflaması, Balmer çizgilerine ve Ca II K çizgisine bakılarak yapılmıştır (Keenan ve diğ. 1969). Özellikle, iyonlaşmış metal çizgileri (örn. Fe II, Si II ve Mg II gibi) A5 türü civarında maksimum şiddete ulaşır (bkz. Çabuk ve Yüce 2012). Morgan-Keenan-Kelman (MKK) sınıflamasına göre, A2 türüne kadar Balmer çizgilerinin şiddeti,

daha sonraki sınıflarda ise Fe II, Mg II ve Ti II çizgi şiddet oranları kullanılır (Gray ve Corbally 2021).

Normal ve A_m -tipi yıldızlar, A0 tayf tipi yöresinde çok benzer element bolluğu yapıları gösterir. Adelman ve Unsee (2007), normal A ve A_m -tipi yıldızların örtüşen bolluklara sahip olduğuna ve tespit edilen bazı bolluk özelliklerinin birbiriyile uyumlu olduğuna dikkat çekmiştir.

A_m -tipi yıldızlar, Titus ve Morgan (1940) tarafından ilk önce kimyasal sıra dışı yıldızlar olarak farkedilmiştir ve süregelen çalışmalarda bu tür yıldızların tamamının yavaş dönen yıldız olduğu tespit edilmiştir ($V_{\text{ekvator}} < 100 \text{ km s}^{-1}$). Tayflarında Ap yıldızlarına benzer anormallikler göstermezler. Bu yıldızlar metalik çizgili ve aynı zamanda manyetik özellik göstermeyen yıldızlardır.

Michaud (2005)'a göre A_m -tipi yıldızlarda C, N, O ve Ca bolluk oranları genelde Güneş'tekine nazaran daha az iken; demir grubu elementlerde daha fazladır. Bu bolluk anormalliklerinin nedenleri arasında atomik difüzyon, kütle kaybı, türbülans gibi farklı fiziksel süreçler vardır.

Her ne kadar bu ayrımlar yapılsa da günümüzde bazı normal A-tipi yıldızlar A_m -tipi; aynı zamanda A_m -tipi yıldızlardan da normal A-tipi olarak sınıflandırılmış yıldızlar bulunmaktadır. Adelman (2005)'a göre, normal yıldızlar ile metalik çizgili yıldızlar arasında keskin bir tayfsal ayırım henüz tespit edilmemiştir. Öyle ki, normal A-tipi ve A_m -tipi yıldızlar birbirini kapsayan bolluk değerlerine sahiptir. Bu araştırmada kimyasal bolluk değerlerini çapraz korelasyon tekniği ile ele

* secabuk@ankara.edu.tr

olarak element bollukları aracılığıyla sınıflandırma yöntemine katkıda bulunmayı istiyoruz.

1.1 Materyal

Atmosferlerinin 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 yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada 17 HgMn, 20 normal A ve 21 A_m -tipi yıldız için 32 elementin ayrıntılı bolluk analizini yaparak, her element için bu yıldız tiplerinde bolluk miktarlarının farklılıkları ve ortak yanlarını araştırmışlardır.

Yüce ve Adelman (2014)'den elde edilen atmosferik niceliklerin gözlemsel tayfları, Dominion Astrofizik Gözlemevi'nin (Victoria, Kanada) 1.2 metrelik teleskobuna bağlı Reticon ve CCD dedektörleri yardımıyla alınmıştır. Coude spektrumlarının dalgaboyu uzunlukları 63 Å ve 147 Å olup ayırma gücü $2,4 \text{ Å mm}^{-1}$ 'dir. Tayfların sinyal-gürültü oranı $S/N \geq 200$ 'dür. İncelenen tayfsal aralık, bazı yıldızlar için daha uzun dalga boyları dahil, genellikle $\lambda\lambda 3820-4900 \text{ Å}$ 'dir. Kimyasal bolluk analizlerinde "ince analiz" tekniği uygulanmıştır (bkz. **Yüce ve diğ. 2011.**). Çalışmamızda incelenen normal ve A_m yıldızlarının atmosfer parametreleri ve element bollukları **Yüce ve Adelman (2014)** Çizelge 1'inde listelenmiştir.

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 $(u_1, y_1), \dots, (u_N, y_N)$ dizisi şeklinde ifade edilmesidir. Bu gözlemsel veriler, (U_t, Y_t) gibi ayrık iki değişkenli stokastik / rastgele bir sürecin, sonlu bir gerçekleştirilmesi olarak ele alınabilir.

Çapraz korelasyon tekniğine matematiksel açıdan bakıldığında; $f(t)$ ve $g(t)$ gibi verilen iki fonksiyonun çapraz-korelasyonu $\phi_{fg}(\tau)$, aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$\phi_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t+\tau)dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t+\tau)g(t)dt \quad (1)$$

Bu iki integral ifadesinin eşitliği aynı zamanda $\phi_{fg}(\tau) = \phi_{gf}(-\tau)$ anlamına gelir. Söz konusu eşitlikte, fonksiyonun hesaplanmasında hangi fonksiyonun diğerine göre değiştirileceği (kaydırıldığı) önemlidir. Her iki fonksiyon da birim aralıklarla sayısallaştırıldığında yukarıdaki integral denklemine benzer şekilde;

$$[\phi_{fg}]_j = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_i g_{i+j} \quad (2)$$

bağıntısı elde edilir. Burada, birinci alt simge (f) sabit tutulan işlevi temsil eder ve ikinci alt simge (g) kaydırılan işlevi temsil eder. Çapraz korelasyon fonksiyonunun davranışı, ilişkili iki fonksiyon arasındaki benzerlik derecesine bağlıdır. İki fonksiyon benzer ise değeri artar, değilse azalır. Tamamen rastgele veri varsa, değeri sıfır olacaktır (**Rikitake ve diğ. 1987**).

$$r = \frac{n\Sigma xy - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2][n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2]}} \quad (3)$$

İki boyutlu korelasyon hesabında x ve y serilerinin değerleri yukarıdaki denklemde yer alır ve korelasyon katsayısı r değeri hesaplanır. Buna göre;

- $r=1$ 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 $|r| \geq 0.7$ değerlerinde x ve y serilerini oluşturan verilerin arasında kuvvetli pozitif koelasyon (strong positive correlation) veya kuvvetli negatif koelasyon (strong negative correlation) vardır. Bunun üzerindeki değerler iki serinin birbirine bağlı olduğunu göstermektedir. Normal A ve A_m -tipi yıldızların atmosferik parametrelerinin (etkin sıcaklık, mikrotürbülans hızı, yüzey çekim ivmesi ve dönme hızı) değer aralıkları, **Yüce ve Adelman (2014)** çalışmasında bulunan Çizelge 1'inden elde edilmiştir.

DAO serisinden analiz için seçilen yıldızların T_e ve $\log g$ değer aralıkları aşağıdaki gibidir:

- $\Delta T_e = 6100-15000 \text{ K}$ ve $\Delta \log g = 3.32-4.40 \text{ dex}$ (Normal A-tipi)
- $\Delta T_e = 7700-10125 \text{ K}$ ve $\Delta \log g = 3.26-4.32 \text{ dex}$ (A_m -tipi)

DAO serisinde incelenen yıldızların mikrotürbülans hız değerlerindeki belirsizlikler $\pm 0.1 \text{ km s}^{-1}$ civarındadır. Bu çalışmadaki örnek yıldızların ξ değer aralıkları aşağıdaki gibidir:

- $\Delta \xi = 0.0-4.5 \text{ km s}^{-1}$ (Normal A-tipi)
- $\Delta \xi = 1.0-5.6 \text{ km s}^{-1}$ (A_m -tipi)

Dönme hızı değerleri için hata miktarı $\pm 5 \text{ km}^{-1}$ 'dir. Bu çalışmadaki örnek yıldızların $\nu \sin i$ değer aralıkları aşağıdaki gibidir:

- $\Delta \nu \sin i = 5.0-44.0 \text{ km s}^{-1}$ (Normal A-tipi)
- $\Delta \nu \sin i = 4.8-50.0 \text{ km s}^{-1}$ (A_m -tipi)

2 Bulgular

Ele alınan yıldız serisinin en sıcak A_m -tipi yıldızlarının T_i 'dan daha hafif elementlerinin bolluk değeri ($Z < 22$), kabul edilmiş olan Güneş bolluk değerlerindedir veya daha azdır (S hariç). Söz konusu yıldız tipi T_i ve Fe (dahil) aralığındaki elementler bakımından, Güneş'in bolluk değerlerine sahip veya daha zengindir.

Ağır elementler, Güneş'e nazaran 1.0 dex civarında zenginlik gösterirler. Ba ve daha ağır elementler ($Z > 56$), Güneş'in değerlerinden yaklaşık 0.5-2.00 dex daha fazladır. Helyum bolluğu bakımından ise, A_m -tipi yıldızlar Güneş'e yakın veya fakir iken; normal A yıldızlarında herhangi bir anormallik kaydedilmemiştir.

Bu çalışmada incelenen yıldızların kimyasal bileşimleri arasındaki ilişkilerin Güneş'e göre araştırılmasında uygulanan yöntem, istatistiksel matematiğe dayalı "çapraz korelasyon" tekniğidir (C, O, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba elementleri için hesaplanmıştır). Teknik, normal A ve A_m -tipi yıldızlar için ayrı ayrı uygulanmıştır. Grafiklerde 'mavi daireler' normal A-tipi yıldızları ve 'kırmızı üçgenler' A_m -tipi yıldızları temsil eder.

On iki elementin Güneş'e göre atmosferik bolluğu ve [Fe/H] bolluğu arasındaki değişim grafiği ve ilgili korelasyon

Çizelge 1. Normal A-tipi yıldızların çapraz-korelasyon katsayıları (r) matrisi

	[C/H]	[O/H]	[Mg/H]	[Si/H]	[Ca/H]	[Sc/H]	[Ti/H]	[Cr/H]	[Fe/H]	[Ni/H]	[Sr/H]	[Y/H]
[O/H]	-0.164											
[Mg/H]	-0.111	0.549										
[Si/H]	0.342	0.321	0.070									
[Ca/H]	0.349	0.070	-0.090	0.264								
[Sc/H]	0.229	-0.651	0.151	0.139	0.290							
[Ti/H]	0.379	-0.195	-0.228	0.108	0.381	0.305						
[Cr/H]	0.248	-0.103	0.151	-0.139	-0.171	0.006	0.294					
[Fe/H]	0.481	-0.090	0.129	0.407	0.328	0.279	0.485	0.710				
[Ni/H]	0.184	-0.061	0.196	-0.029	0.175	0.329	-0.177	0.589	0.520			
[Sr/H]	0.834	0.086	-0.226	0.121	0.561	0.249	0.602	0.654	0.683	0.650		
[Y/H]	0.342	0.744	0.000	0.411	0.480	-0.077	0.521	0.692	0.574	0.002	0.407	
[Ba/H]	0.215	0.466	-0.245	0.215	0.547	-0.089	0.679	0.627	0.459	-0.007	0.319	0.844

Çizelge 2. A_m -tipi yıldızların çapraz-korelasyon katsayıları (r) matrisi

	[C/H]	[O/H]	[Mg/H]	[Si/H]	[Ca/H]	[Sc/H]	[Ti/H]	[Cr/H]	[Fe/H]	[Ni/H]	[Sr/H]	[Y/H]
[O/H]	-0.091											
[Mg/H]	0.524	-0.308										
[Si/H]	0.102	0.989	0.499									
[Ca/H]	-0.072	0.051	0.337	0.670								
[Sc/H]	-0.058	-0.003	0.147	0.360	0.759							
[Ti/H]	0.208	0.588	0.523	0.424	0.247	0.098						
[Cr/H]	0.413	0.468	0.601	0.446	0.226	-0.050	0.845					
[Fe/H]	0.206	-0.012	0.617	0.410	0.274	-0.102	0.825	0.832				
[Ni/H]	0.320	0.202	0.348	0.224	0.056	-0.092	0.411	0.512	0.513			
[Sr/H]	-0.139	-0.189	0.360	0.603	0.323	-0.048	0.207	0.317	0.316	0.269		
[Y/H]	-0.002	0.497	0.136	-0.109	-0.209	-0.127	0.444	0.502	0.508	0.588	0.212	
[Ba/H]	-0.201	0.895	-0.135	-0.281	-0.058	-0.164	0.323	0.382	0.325	0.117	0.036	0.508

katsayıları Şekil 1, 2 ve 3'te verilmiştir. 'Negatif korelasyon', 'pozitif korelasyon' ve parametreler arasında herhangi bir ilişkinin bulunmadığına ilişkin araştırmalar sunuldu. Her iki yıldız türü için de $r > 0.320$ durumu pozitif korelasyonu ve $r < -0.320$ negatif korelasyonu temsil eder. Değişkenler arasında güçlü pozitif veya güçlü negatif korelasyonun varlığı, aralarında 'doğru' veya 'ters' bir oranı olduğu anlamına gelir. Değişkenler arasında ikiserli 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).

Normal A yıldızları için elde edilen çapraz korelasyon hesaplamalarının sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir.

Normal A-tipi yıldızlar için çapraz korelasyon hesaplamaları ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Güneş'e göre Fe bolluklarının korelasyon sınıflandırması:

- O, Mg ve Sc: Fe ile ilişkili değildir.
- Si, Ca, Ti, Ni, Sr, Y ve Ba: Fe ile pozitif korelasyon gösterir.
- Cr: Fe ile güçlü-pozitif bir korelasyon verir.

A_m -tipi yıldızlar için elde edilen çapraz korelasyon hesaplamalarının sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir.

A_m -tipi yıldızlar için çapraz korelasyon hesaplamaları ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Güneş'e göre Fe bolluklarının korelasyon sınıflandırması:

- C, O, Ca, Sc ve Sr: Fe ile ilişkili değildir.
- Mg, Si, Ni, Y ve Ba: Fe ile pozitif korelasyonlar vardır.

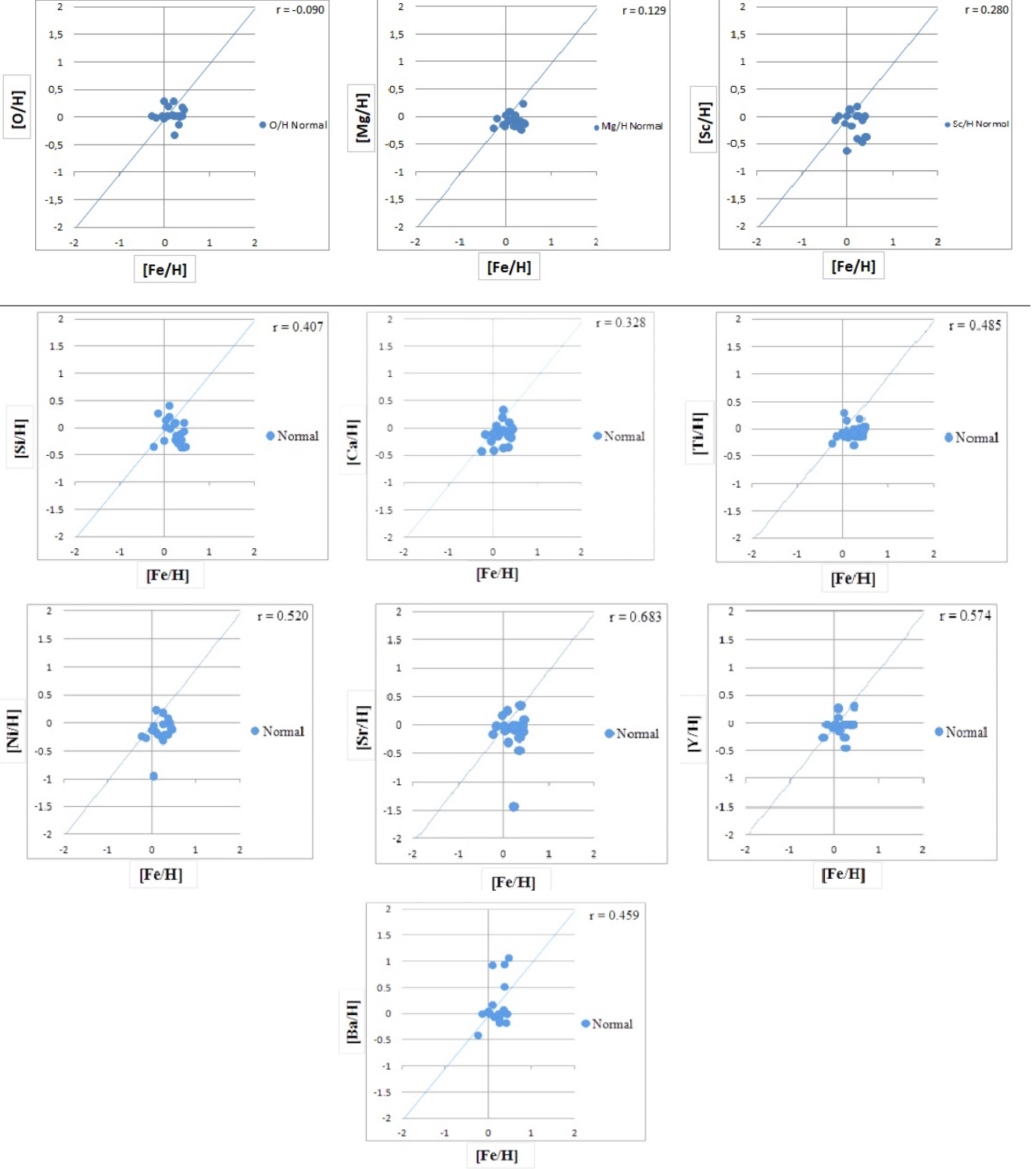
- Ti ve Cr: Fe ile güçlü-pozitif bir korelasyon vardır (Çabuk 2016).

3 Sonuçlar

Bu çalışmada verilerini kullandığımız A_m ve normal A-tipi yıldızların sonuçları; demir element bolluğuna göre diğer element bollukları hakkında net sonuçlar verse de, burada elde edilen sonuçlar daha fazla yıldızın verileri kullanılarak doğrulanabilir.

Korelasyon sonuçlarını toplu olarak değerlendirdiğimizde A_m ve normal A-tipi yıldızların aynı elementi için korelasyon değerlerinin farklı oranlarda olduğunu görüyoruz. Bu çalışmadan elde edilen Çizelge 3'teki bolluk oranlarına ilişkin değerler, Şekil 4'te oluşturulan grafikte görülmektedir. Turuncu renk ile gösterilen çizgi $x=y$ doğrusu olarak; korelasyon değerlerinin birbirlerine yakın/uzak oluşlarını ifade etmek için eklenmiştir. Mavi kutu ise her iki yıldız tipi için aynı elementin, hesaplanan korelasyon katsayı değerlerinin ± 0.1 'lik sınırını ifade eder. Bu sınırın dışında bulunan korelasyon katsayısı oranları A_m ve normal A-tipi yıldızlar için ayırt edici özellik gibi görülmektedir. Korelasyon katsayısı değerleri dikkate alındığında A_m ve normal A-tipi yıldızlar için şu sonuçları elde ederiz.

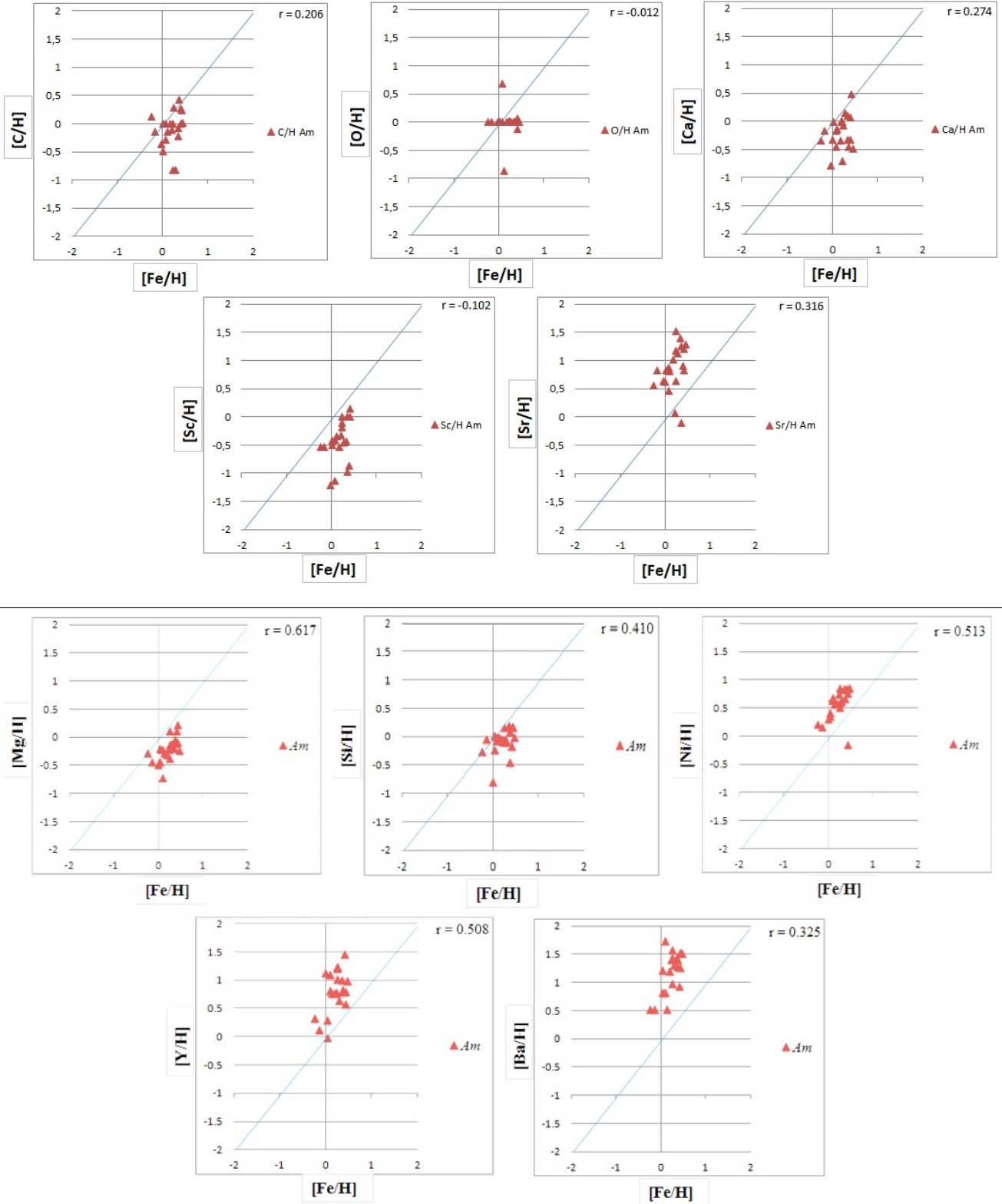
- Şekil 4'te görüldüğü gibi [Sr/H]-[Fe/H] korelasyonu A_m yıldızlarında 0.316 iken normal A yıldızlarında 0.683'tür. Her ikisi de pozitif korelasyon sınırları içinde kabul edilebilir, ancak normal A yıldızları için [Sr/H]-[Fe/H] korelasyonu önemli ölçüde yüksektir. Bu önemli bir farktır.
- [Ti/H]-[Fe/H] korelasyonu her iki yıldız türü için de pozitif



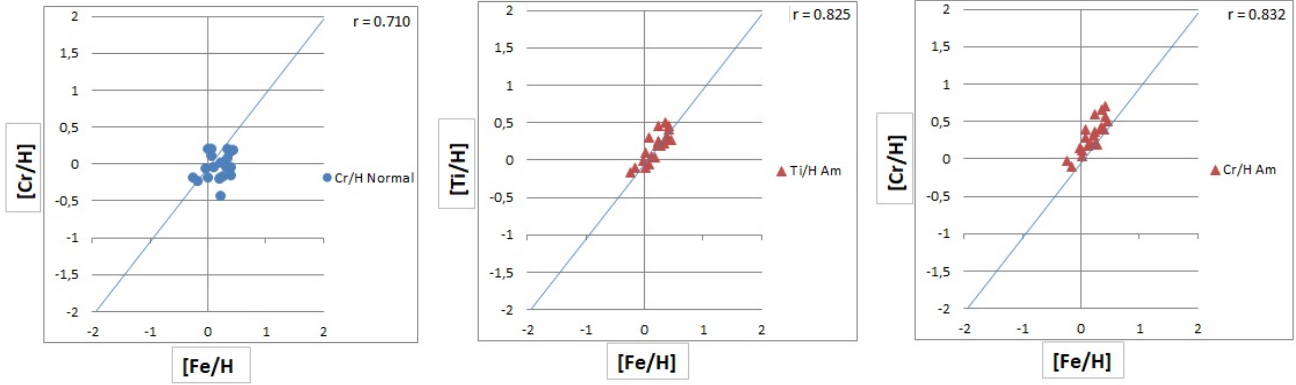
Şekil 1. Normal A yıldızları için demir bolluğu ile korelasyon göstermeyen elementler (O, Mg ve Sc) – üst panel; pozitif korelasyon gösteren elementler (Si, Ca, Ti, Ni, Sr, Y ve Ba) – alt panel.

korelasyon sınırları içinde olmasına rağmen, A_m yıldızları için güçlü bir pozitif korelasyon (0.825 değerinde) gösterir, ancak bu değer normal A yıldızları için 0.485'tir. Bu sonuçlardan $[Ti/H]$ - $[Fe/H]$ korelasyonunun A_m -tipi yıldızlar için ayırt edici olduğu söylenebilir.

- $[Mg/H]$ - $[Fe/H]$ korelasyonu A_m yıldızlarında 0.617, normal A yıldızlarında 0.129 değerine sahiptir. Burada $[Mg/H]$ - $[Fe/H]$ korelasyonunun A_m yıldızlarında güçlü pozitif korelasyon gösterdiğini açıkça söyleyebiliriz.
- $[Sc/H]$ - $[Fe/H]$ korelasyonunun hem normal A hem de A_m



Şekil 2. A_m yıldızları için demir bolluğu ile korelasyon göstermeyen elementler (C, O, Ca, Sc ve Sr) – üst panel; pozitif korelasyon gösteren elementler (Mg, Si, Ni, Y ve Ba) – alt panel.



Şekil 3. Normal A yıldızları için Cr, Fe ile güçlü-pozitif bir korelasyon göstermektedir (sol panel). A_m yıldızları için Fe, Ti ve Cr elementleri ile güçlü-pozitif bir korelasyon göstermektedir (orta ve sağ paneller).

Çizelge 3. A_m ve normal A-tipi yıldızlar için demir elementi bolluğuna göre diğer elementlerin bollukları arasında yapılan çapraz korelasyon katsayıları (r) değerleri

Çapraz-korelasyon yapılan elementler	$r(A_m)$	$r(\text{Normal A})$
[C/H]-[Fe/H]	0.206	0.481
[O/H]-[Fe/H]	-0.012	-0.090
[Si/H]-[Fe/H]	0.410	0.407
[Ca/H]-[Fe/H]	0.274	0.328
[Ti/H]-[Fe/H]	0.825	0.485
[Ba/H]-[Fe/H]	0.325	0.459
[Mg/H]-[Fe/H]	0.617	0.129
[Cr/H]-[Fe/H]	0.832	0.710
[Y/H]-[Fe/H]	0.508	0.574
[Ni/H]-[Fe/H]	0.513	0.520
[Sc/H]-[Fe/H]	-0.102	0.280
[Sr/H]-[Fe/H]	0.316	0.683

yıldızları için pozitif veya negatif korelasyon göstermediği söylenebilir. Ancak Şekil 4'ü incelersek, korelasyon değeri A_m yıldızları için negatif bölgede iken, normal A yıldızları için pozitif bölgede görmemiz dikkat çekicidir.

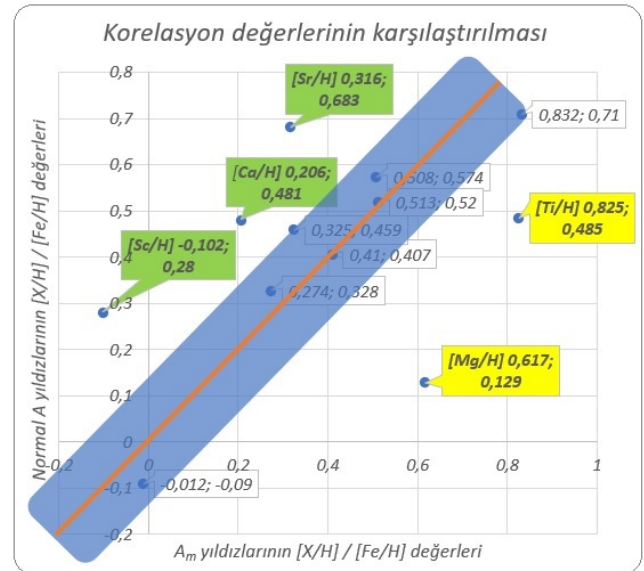
Teşekkür

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda Kutluay Yüce danışmanlığında Senem ÇABUK tarafından Ağustos 2016 tarihinde tamamlanan yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümüdür.

Bu araştırmada kullanılan literatür bilgisi için CDS (Strasbourg, France) tarafından işletilen SIMBAD (Wenger ve diğ. 2000) veri tabanından yararlanılmıştır.

Kaynaklar

- Adelman, S.J. 2005. The Physical Properties of Normal A Stars. Cambridge University Press, 224; 530-539.
- Adelman, S.J. ve Unsree, N. 2007. On Chemical Abundances of Am and Normal A-Type Stars. Baltic Astronomy, 16; 183-190.
- Bevington, P.R. ve Robinson, D.K. 1992. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, McGraw-Hill, New York.
- 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.
- Çabuk, S. ve Yüce, K. 2012. Yıldız Spektroskopisinde Atomik Verinin



Şekil 4. Normal A ve A_m -tipi yıldızların hesaplanan korelasyon değerlerinin karşılaştırılması.

- Önemi. UAK-2012, 18. Ulusal Astronomi Kongresi, Malatya, pp. 575-581. DOI: 10.13140/RG.2.2.28209.25440
- Çabuk, S. 2016. Normal A Yıldız Atmosferlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri ABD. DOI: 10.13140/RG.2.2.13246.97608
- Gray, R. O. ve Corbally, C. J. 2021. Stellar Spectral Classification, Princeton, Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400833368>
- Keenan, J.H., Keyes, F.G., Hill, P.G. ve Moore, J.G. 1969. Thermodynamic Data for Water at Saturated Vapor Pressures and Temperatures, Wiley, New York.
- Michaud, G. 2005. Atomic diffusion in stellar surfaces and interiors, The A-Star Puzzle, Cambridge University Press.
- Rikitake, T., Sato, R. ve Hagiwara Y. 1987. Applied Mathematics for Earth Scientists. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Japan.
- Titus, J. ve 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.
- Wenger, M., Ochsenbein, F., Egret, D., Dubois, P., Bonnarel, F.,

- Borde, S., Genova, F., Jasniewicz, G., Laloe, S., Lesteven, S. ve Monier, R. 2000. The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v.143, p.9-22
- Yüce, K., Adelman, S. J., Gulliver, A. F. ve 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. ve 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.

Access:

M23-0325: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.