

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Gelis/Received</u> 05.10.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 12.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.341828	

LAMOST DR1 ve WASP’da bulunan düşük metal bolluklu zonklayan yıldızlar

Filiz KAHRAMAN ALIÇAVUŞ*¹

ÖZ

Bu çalışmada “LAMOST Data Release 1 (DR1)” tayfsal veri tabanında yer alan düşük metal bolluklu zonklayan yıldızların incelemesi sunulmuştur. Çalışmada kullanılan sistemler LAMOST DR1 veritabanında yer alan ve metal bolluğu -2.4 ile -0.5 dex, etkin sıcaklığı 6500 ile 8600 K ve yüzey çekim ivmesi $\log g = 3.8 - 4.5$ cgs aralığında bulunan yıldızlardan seçilmiştir. Seçilen yıldızların fotometrik verileri WASP veritabanından alınmıştır. Fotometrik veriler kullanılarak ışık değişimi gösteren yıldızlar belirlenmiş ve değişim frekansları elde edilmiştir. Sonuç olarak analiz edilen sistemlerden beşi kesin, ikisi aday RR Lyrae ve üçü de aday SX Phoenix yıldızı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, yıldızların tayf türleri, etkin sıcaklık değerleri ve dönme hızları tayfsal verilerin analiziyle tayin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zonklayan yıldızlar, Tayfsal analiz, Atmosfer parametreleri

Low-metallicity pulsating stars in the LAMOST DR1 and WASP

ABSTRACT

In this study, the results of a research about low-metallicity pulsating stars are presented. The stars having metallicity from -2.4 to -0.5 dex were selected from the LAMOST DR1 catalogue considering the ranges of 6500-8600 K, 3.8-4.5 cgs of effective temperature and surface gravity, respectively. Photometric data of the selected stars were taken from the WASP. The stars showing light variation were determined and variability frequencies of the stars were derived. As a result, five confirmed, two candidate RR Lyrae stars and three suspect SX Phoenix variables were found. Additionally, spectral types, effective temperatures, and projected rotational velocities of the stars were derived.

Keywords: Pulsating stars, Spectroscopic analysis, Atmospheric parameters

* Sorumlu yazar / Corresponding Author

¹ Fizik Bölümü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, filizkahraman01@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Düşük metal bolluklu yıldızlar atmosferlerinde oluştuğu yıldızlar arası ortamın kimyasal özelliklerini barındırmaktadırlar. Bu nedenle bu yıldızlar bize Galaksinin evrimini ve yıldız oluşumlarını inceleme imkanı tanımaktadır [1, 2, 3].

Atmosferlerinde düşük metal bolluğu içeren zonklayan yıldızlar da bulunmaktadır. Zonklayan yıldızlar, iç katmanlarındaki bazı elementlerin (helyum, hidrojen vb.) iyonizasyon bölgelerinde ki opasite artışı nedeniyle meydana gelen enerji birikimiyle çapsal ve çapsal olmayan doğrultuda büzülüp genişlemeler gösteren sistemlerdir. Zonklayan yıldızların bir çok türü bulunmakla beraber tipik olarak düşük metal bolluğu gösteren bir kaç tür zonklayan yıldız vardır. Bunların en bilinenlerinden biri de RR Lyare (RR Lyr) değişenleridir. RR Lyr yıldızları çapsal doğrultuda zonklamalar gösteren ve tipik zonklama dönemi 0.5 gün civarında olan yıldızlardır. Yatay anakol yıldızları olan bu sistemlerin kütlesi 0.6 ile 0.8 Güneş kütlesi (M_{\odot}) aralığında değişirken, etkin sıcaklıkları (T_{eff}) 6100 ile 7400 K arasındadır ve düşük metal bolluklu atmosfere sahip bu sistemler öbek II sistemleri olarak bilinirler [4]. RR Lyr yıldızları kendi aralarında ışık eğrileri ele alınarak üç gruba ayrılmaktadır; RRab, RRc ve RRd yıldızları [5].

Diğer bir grup düşük metal bolluklu zonklayan yıldızlar ise klasik sefeid yıldızları içerisinde bulunan tip II sefeid ve anormal sefeid yıldızlarıdır. Tip II sefeid yıldızları çapsal doğrultuda 1 ile 20 gün ve üzeri zonklama dönemleri gösteren sistemlerdir. Kendi içerisinde de zonklama dönemleri ele alınarak BL Hercules (1 – 5 gün dönemli), W Virginis (10 – 20 gün dönemli) ve RV Tauri (> 20 gün dönemli) olarak üç alt gruba ayrılırlar [4]. Anormal sefeid yıldızları da tipik olarak sefeid yıldızları özelliklerini taşımaktadır. Kütleleri 1 ile 2 M_{\odot} arasında değişen bu sistemleri diğer sefeid yıldızlarından ayırmanın tek yolu ise kendilerine has olan ve diğer sefeid yıldızlarından farklı olan kütle – ışınım ilişkisinin incelenmesi ile mümkündür [6]. SX Phoenix (SX Phe) yıldızları da düşük metal bolluğu gösteren bir diğer zonklayan yıldız grubudur. Tipik zonklama dönemi 20 dakika ile 8 saat arasında değişen bu yıldızların zonklama genlikleri 0.1 kadirinden küçüktür [4].

Tüm bu düşük metal bolluklu zonklayan sistemler Galaksi evrimini ve yıldız oluşumlarını incelemek için oldukça önemlidirler. Öbek II sistemleri olmaları yanı sıra zonklama özellikleri de sergilemeleri bu sistemleri oldukça değerli kılmaktadır çünkü zonklayan sistemler, yıldız iç yapısı ile ilgili incelemelerde tek bilgi kaynağıdır. Bu nedenle bu çalışmada düşük metal bolluklu zonklayan sistemler ele alınmıştır. Öncelikle LAMOST (Large sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) DR1 (Data Release 1; [7])'de bulunan iyi tayfsal veriye sahip düşük metal bolluklu yıldızlar belirlenmiştir. Belirlenen yıldızların zonklama gösterip göstermediğini tespit etmek amacıyla WASP (Wide Angle Search for Planets; [8]) fotometrik verilerinden yararlanılmıştır.

Çalışmada göz önüne alınan yıldız seçim kriterleri ve kullanılan veritabanları ile ilgili bilgiler bölüm 2'de verilmiştir. Seçilen yıldızlar üzerine yapılan tayfsal ve fotometrik analizler bölüm 3'de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar üzerine yapılan değerlendirmeler de bölüm 4'de verilmiştir.

2. VERİ VE YILDIZ SEÇİMİ (DATA AND TARGET SELECTION)

Çalışmada analiz edilen sistemlerin hem fotometrik hem de tayfsal verileri literatürde yer alan veri tabanlarından alınmıştır. Yıldızların tayfsal verileri LAMOST DR1'den (<http://dr1.lamost.org/search>) alınmıştır.

LAMOST kuzey yarım kürede bulunan, yıldız, galaksi ve kuasar gibi nesnelerin düşük ve orta çözünürlüklü tayfsal verilerini elde etmek amacıyla sürdürülen bir gökyüzü tarama programıdır. LAMOST çalışmaları Çin'deki Xingong Gözlemevi'nde bulunan Guoshjing Schmidt teleskobuyla yürütülmektedir. Bu teleskop 4 m'lik bir açıklığa sahiptir ve üç açısıniyesi yarıçapa sahip olan 16 adet tayfçekerin 400 görsel bölge fiberleri ile 5°'lik bir görüş alanı vardır [9]. Bu teleskop sistemi ile elde edilen tayflar ise 365 – 900 nm'lik dalgaboyu aralığındadır [9]. LAMOST DR1 araştırmanın başladığı ilk yıla ait verileri içermektedir [7]. Bu veriler yaklaşık iki milyon yıldızın $R = 1800$ çözünürlüklü tayflarını içerir. Bu veriler kullanılarak oluşturulan AFGK yıldız kataloğu ise bir milyondan fazla yıldızın tayflarını barındırmaktadır. Bu katalogda yıldızların

ekvatorial koordinatları, parlaklıkları gibi temel parametrelerinin yanı sıra yıldız model

atmosfer parametreleri olan etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu (Fe/H) ile dikine hız (v_r) verileri de bulunmaktadır. Bu veriler LAMOST tayflarını analiz etmek için üretilmiş olan LASP programıyla [10] tayin edilmiştir.

Yıldız seçimleri sırasında, LAMOST DR1'de bulunan AFGK yıldız kataloğunda atmosfer parametreleri olan yıldızlar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda etkin sıcaklıkları $6100 < T_{\text{eff}} (\text{K}) \leq 8600$ K, yüzey çekim ivmeleri $3.8 < \log g (\text{cgs}) \leq 4.2$ ve metal bollukları $-2.4 < [\text{Fe}/\text{H}] (\text{dex}) \leq -0.5$ aralıklarında bulunan yıldızlar seçilmiştir. Seçilen sistemlerin zonklama gösterip göstermedikleri ise gezegen keşifleri için fotometrik veriler toplayan WASP veri tabanından [8] alınan fotometrik veriler ile denetlenmiştir. Fotometrik değişim gösterildiği düşünülen yıldızlar ise analiz edilmek üzere seçilmişlerdir. Seçilen yıldızların isimleri, yıldızların LAMOST kataloğundaki model atmosfer parametreleri ve WASP'daki fotometrik gözlem noktaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Analiz için seçilen yıldızlar ve bazı özellikleri (Properties of the selected stars for the analyses)

S ^a	Yıldız	SP ^b	T_{eff}	$\log g$	[Fe/H]	S/N ^c	N ^d
			(K)	(cgs)	(dex)		
1	AT Tri	F0	6689	4.40	-1.271	20	8722
2	SDSSJ231359.63+232425.9	A2V	7580	4.27	-1.180	45	8104
3	SDSSJ093736.90+244038.7	F0	6510	4.25	-0.994	28	1298
4	AG Com	A2V	7580	4.25	-0.994	120	7996
5	V421 Her	F0	6680	4.14	-0.860	65	43107
6	TYC 3497-1816-1	F0	6800	4.15	-0.699	24	16304
7	HD 241952	A3	6540	4.25	-0.639	7	3369
8	HD 277660	A3V	7535	4.13	-0.599	195	1740
9	HD 248784	F5	6550	4.50	-0.590	16	3759
10	BD +29 1479	F0	7170	4.17	-0.636	30	1352

^aYıldız numarası. Sonraki tablolarda yıldızlar bu numaralar ile adlandırılacaktır. ^bTayf türü, ^csinyal-gürültü oranı, ^dWASP'ta bulunan nokta sayısı.

3. ANALİZLER (ANALYSIS)

3.1. Frekans analizi (Frequency analysis)

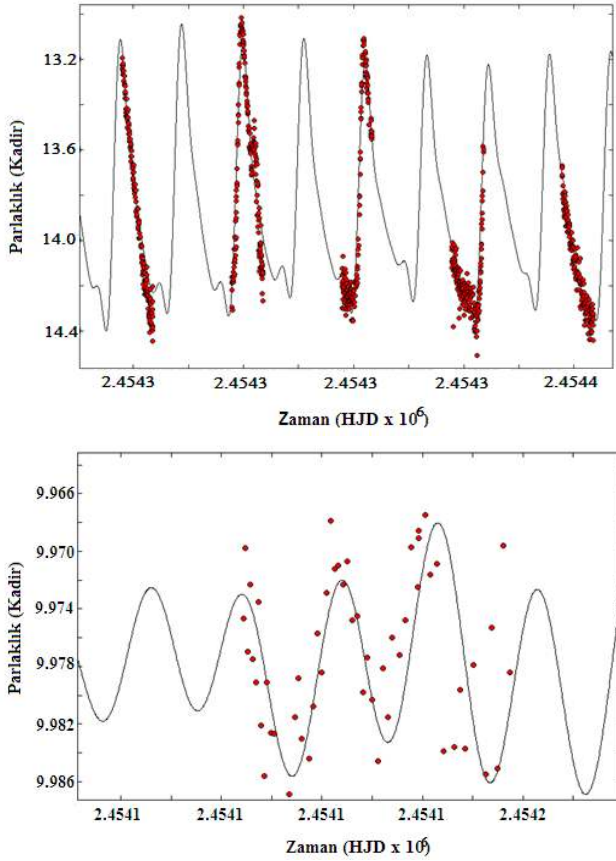
WASP verilerine bakılarak ışık değişimi gösterdiği düşünülen sistemlerin kesin değişim

gösterip göstermediğini anlamak ve hangi tür zonklayan yıldız olduğuna karar verebilmek için derlenen fotometrik verilerin frekans analizi yapılmıştır. Yıldızların frekans analizleri Period04 [11] programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program uzun zamana yayılmış boşluklar içeren verileri Fourier tekniğiyle çözerek sistemlere ait değişim frekansını ve bu frekansların genliklerini hesaplamaktadır. Frekans analizi sonucunda, her bir yıldız için elde edilen baş frekans ve bu frekansın genlik ve sinyal-gürültü oranı (S/N) Tablo 2'de verilmiştir. Yıldızların zonklama dönem ve genlikleri göz önüne alınarak yıldızların zonklayan yıldız türü sınıflaması yapılmıştır. Bu sınıflama Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Frekans analiz sonuçları (The results of frequency analysis)

S	Zonklama Dönemi (gün $\pm 10^{-5}$)	Genlik (mili kadir)	S/N	Sınıflama
1	0.6526	255.2 ± 4.3	24	RRab Lyr
2	0.3451	204.8 ± 2.6	16	RRc Lyr
3	0.3690	227.8 ± 16.8	4	RRab Lyr
4	0.3224	255.8 ± 1.4	52	RRc Lyr
5	0.5567	374.8 ± 2.5	64	RRab Lyr
6	0.1424	14.7 ± 3.7	17	Aday SX Phe
7	0.0989	3.9 ± 0.2	14	Aday SX Phe
8	0.0804	3.9 ± 0.6	6	Aday SX Phe
9	0.4097	35.6 ± 2.4	5	Aday RR Lyr
10	0.9074	2.9 ± 0.3	5	Aday RR Lyr

Sınıflamaya göre analiz edilen 10 sistemden beşi RR Lyr, üçü aday SX Phe ve ikisi de aday RR Lyr sistemidir. Kesin RR Lyr olarak tanımlanan sistemler daha önce literatürde de RR Lyr değişenleri olarak sınıflanmışlardır [12, 13, 14, 15, 16]. Diğer RR Lyr yıldızlarının aday olarak tanımlanmasının nedeni ise veri azlığı ve analiz edilen verilerin saçılmalı olması nedeniyle tipik RR Lyr yıldızları ışık eğrisinin tam olarak görülememesidir. Yapılan bu ilk sınıflama daha sonraki analizlerle birlikte tekrar kontrol edilecektir. Şekil 1'de analiz edilen sistemlerden ikisine ait kuramsal ve gözlemsel verilerin kıyaslaması verilmiştir.



Şekil 1. V421 Her (üst panel) ve HD 241952 (alt panel)'nin kuramsal (sürekli çizgi) ve gözlemsel (noktalar) verilerinin kıyaslanması (Comparison of theoretical (solid line) and observed (dots) data of V421 Her (top panel) and HD 241952 (bottom panel))

3.2. Tayfsal analiz (Spectroscopy)

Bu bölümde yıldızların LAMOST veri tabanından alınan tayflarının analizi sunulmuştur. İlk olarak yıldızların tayfsal sınıflaması yapılmış ve T_{eff} değerleri hidrojen balmer çizgileri analiz edilerek elde edilmiştir. Ayrıca yıldızların dönme hızları ($v \sin i$) da metal çizgileri yardımıyla hesaplanmıştır.

3.2.1. Tayfsal sınıflama (Spectral type classification)

Tayfsal sınıflama yıldızların ışınım ve sıcaklık türlerini belirlemek için yapılan bir sınıflamadır. Tayfsal analizlerin ilk adımı olan bu sınıflama bir yıldızın yüzey sıcaklığı, çekim ivmesi ve yüzey kimyasal bolluğu hakkında ilk bilgilere sahip olmamızı sağlar. Bir yıldızın tayfsal sınıflaması incelenen yıldızın tayfının, tayfsal sınıflaması iyi bilinen yıldız tayfları ile kıyaslanmasıyla belirlenir. Standart yıldızlar olarak adlandırılan bu yıldızların tayfları çalışmamızda [17]'den alınmıştır. Analizler sırasında yıldızların tayfsal sınıflaması hidrojen ve metal çizgileri göz önüne alınarak yapılmıştır.

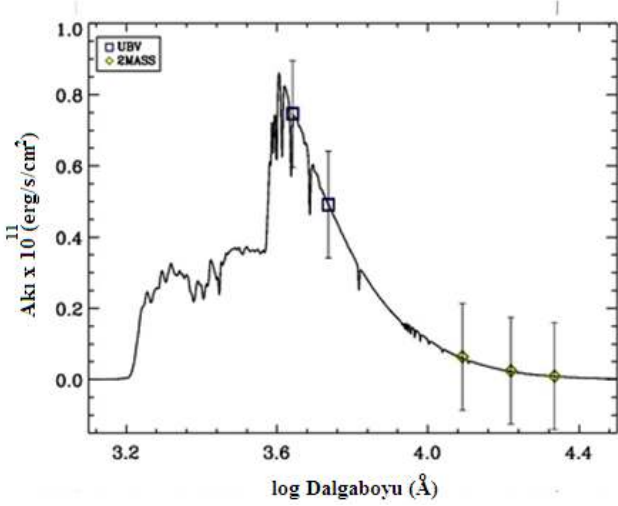
Tablo 3. TED ve tayfsal analiz sonuçları (The results of Spectral energy distribution and spectroscopic analyses)

S	Yeni SP	T_{eff} TED (K) \pm 300	T_{eff} Hidrojen (K) \pm 250	$v \sin i$ (km/sn)
1	F2mA0 III	7100	6500	55 \pm 10
2	A9mA0 III/IV		7250	130 \pm 20
3	F6mA5 III/IV	6960	6500	80 \pm 20
4	A9mA1 III	6270	7250	120 \pm 20
5	F5mA5 III/IV	6780	6500	160 \pm 20
6	F3mA9 III	6150	6750	130 \pm 20
7	F4 III	6500	6750	30 \pm 10
8	A9mA3 V	7720	7250	70 \pm 20
9			6250	140 \pm 20
10	F2mA7 V	7200	7000	80 \pm 20

Elde edilen yeni sınıflamalar ise Tablo 3'de verilmiştir. Tabloda gösterilen sınıflamada yer alan "m" harfi sonrasındaki sıcaklık türü sınıflaması metal çizgileri kullanılarak yapılmış sınıflamayı gösterirken, öncesindeki sınıflama hidrojen çizgileri yardımıyla tayin edilmiştir. Analizler sırasında HD 248784 sisteminin tayfsal sınıflaması yıldız tayfının S/N oranının düşük olması nedeniyle yapılamamıştır. Ayrıca HD 241952 yıldızının sıcaklık türü ise tayfin kullanılan metal çizgileri bölümünde veri tabanından kaynaklanan bir hata nedeniyle sadece hidrojen çizgileri kullanılarak belirlenebilmiştir.

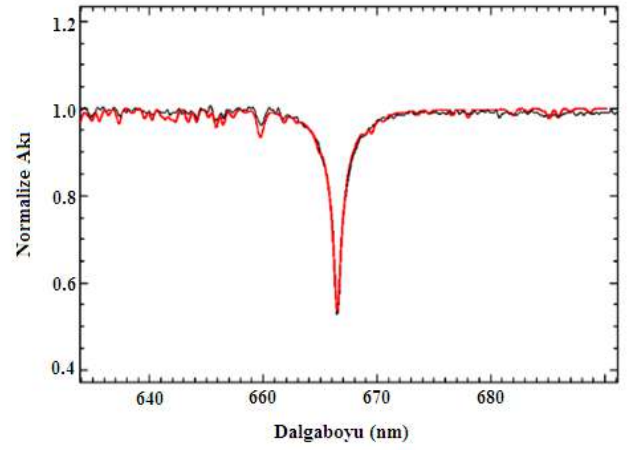
3.2.2 T_{eff} ve $v \sin i$ değerlerinin elde edilmesi (Determination of T_{eff} and $v \sin i$ parameters)

Yıldızların yeni T_{eff} değerleri hidrojen alfa ve beta çizgisinin analizi sonucunda elde edilmiştir. Hesaplanan yeni T_{eff} değerleri elde edilmeden önce girdi T_{eff} değerleri tayfsal enerji dağılımı (TED) yardımıyla elde edilmiştir. TED sıcaklıkları elde edilirken yıldızların UBV [18] ve 2MASS [19] renklerinden yararlanılmıştır. TED'i oluşturabilmek için kullanılan renkler ise yıldızlararası kızılama haritası [20] kullanılarak kızılama olmadan arındırılmıştır. Yıldızların TED'leri ATLAS9 model atmosferleri [21] kullanılarak tayin edilmiştir. Yıldızlardan birine (V421 Her) ait TED eğrisi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. V421 Her'in tayfsal enerji dağılımı (Spectral energy distribution of V421 Her)

TED ile hesaplanan girdi T_{eff} değerleri Tablo 3'de verilmektedir. Bu değerler kullanılarak hidrojen çizgi analizi yapılmıştır. Bu analizde verilen T_{eff} değer aralıkları için ATLAS9 model atmosferleri kullanılarak SYNTHÉ [22] programıyla kuramsal tayflar üretilmiştir. Üretilen her bir kuramsal tayf, gözlemsel tayf ile kıyaslanmış ve kuramsal ile gözlemsel tayflar arasındaki en küçük fark belirlenmiş ve gözlemsel tayfı en iyi betimleyen model değerleri bu şekilde tayin edilmiştir. Bu analizlerde $\log g$ değerleri 4.0 cgs olarak sabit alınmıştır; çünkü T_{eff} değerleri 8000 K'dan düşük olan yıldızlarda $\log g$ değerinin hidrojen çizgileri oluşumunda etkisi oldukça azdır [23]. Yıldızların $v \sin i$ değerleri de yine kuramsal ve gözlemsel tayf arasındaki en küçük fark dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yanlış $v \sin i$ değeri belirlenirken metal çizgileri ele alınmıştır. Metal çizgileri üzerindeki diğer genişleme etkilerinin dönme genişlemesine göre daha az olması nedeniyle bu çizgilerden daha duyarlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuç T_{eff} ve $v \sin i$ değerleri Tablo 3'de verilmiştir. V421 Her sistemine ait T_{eff} değeri elde edilirken kullanılan kuramsal ve gözlemsel hidrojen alfa çizgi tayfının kıyaslanması da Şekil 3'de verilmiştir.



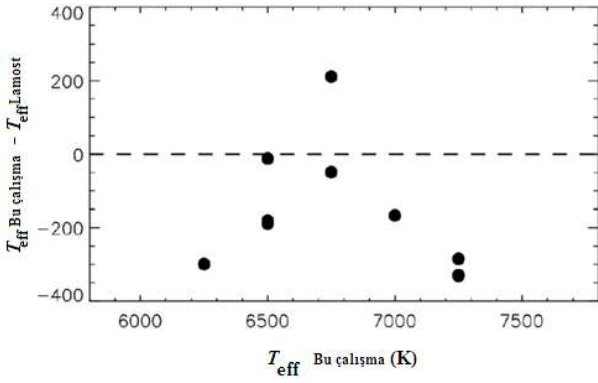
Şekil 3. V421 Her sisteminin kuramsal (siyah çizgi) ve gözlemsel (kırmızı) H_{α} tayfının kıyaslanması (Comparison of the theoretical (black line) and observed (red line) H_{α} spectra of V421 Her)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada LAMOST DR1 veri tabanında yer alan düşük metal bolluklu yıldızların WASP verileri kullanılarak zonklama doğaları gösterilmiş ve düşük metal bolluğuna sahip bu zonklayan yıldızların zonklama türleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda yıldızların ışık eğrileri, zonklama frekans ve genlikleri göz önüne alınarak yıldızların hangi zonklayan yıldız grubuna dâhil olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak beş kesin ve iki aday RR Lyr yıldızı ve de üç aday SX Phe yıldızı tanımlanmıştır. Ancak SX Phe yıldızlarının zonklama türü sınıflamasının kesin olarak yapılması için uzay hız bileşenlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Zonklama türü sınıflaması yapılan yıldızların T_{eff} , $v \sin i$ ve tayfsal sınıflamaları elde edilmiştir. Özellikle elde edilen T_{eff} değerleri LAMOST DR1'de verilen T_{eff} değerleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere LAMOST veri tabanında verilen T_{eff} değerleri bu çalışmada hesaplanan T_{eff} değerlerinden daha büyüktür.

Bunun yanı sıra LAMOST veri tabanında verilen tayf türleri ise bu çalışmada belirlenen tayf türlerinden daha geçtir. Yani LAMOST'da verilen tayf türleri yıldızların bu çalışmada belirlenenlere göre daha sıcak yıldızlar olduğunu göstermektedir. Bu sonuç LAMOST DR1'de verilen T_{eff} ve tayfsal sınıflama değerlerinin olması gereken değerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Bu çalışmada ve LAMOST'da verilen T_{eff} değerlerinin kıyaslanması (Comparison of T_{eff} values obtained from this study and given in LAMOST)

Ayrıca RR Lyr yıldızlarının bulunan ışınım sınıfları LAMOST DR1'de verilen $\log g$ değerleri ile uyumlu değildir. Yatay kol üyesi olması beklenen RR Lyr yıldızlarının $\log g$ değerleri LAMOST DR1'de verileden çok daha düşük olması gerekmektedir. Bu çalışmada verilen ışınım sınıfları da daha küçük bir $\log g$ değerini işaret etmektedir. Bu da LAMOST DR1'de verilen $\log g$ değerlerinin düşük güvenilirlikte—olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

This study is supported by Sakarya University Bu çalışmada ötegezegen keşif programı altında ulusal havacılık ve uzay yönetimi ile yapılan anlaşmayla California Teknoloji Enstitüsü tarafından yürütülen NASA ötegezegen arşivinde WASP konsorsiyum ve servisi tarafından sağlanan ilk sunulan WASP verileri [24] kullanılmıştır. Guoshoujing Teleskobu (the Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope LAMOST) Çin Bilimler Akademisi tarafından oluşturulan ulusal büyük ölçekli bilimsel projedir. Proje için ödenekler ulusal gelişim ve reform komisyonunca sağlamıştır. LAMOST Ulusal Astronomi Gözlemevleri ve Çin Bilimler Akademisi tarafından yönetilmektedir. Bu çalışmada da LAMOST verilerinden yararlanılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] A. McWilliam, G. W. Preston, C. Snenen, L. Searle, "Spectroscopic Analysis of 33 of the Most Metal Poor Stars. II," *Astronomical Journal*, vol. 109, no. 6, pp. 2757–2799, 1995.

- [2] J. E. Norris, S. G. Ryan and T. C. Beers, "Extremely Metal-poor Stars. I. Spectroscopic Data," *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 107, pp. 391–402, 1996.
- [3] T. C. Beers and N. Christlieb, "The Discovery and Analysis of Very Metal-Poor Stars in the Galaxy," *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, vol. 43, no. 1, pp. 531–580, 2005.
- [4] C. Aerts, J. Christensen-Dalsgaard, D. W. Kurtz, "Asteroseismology," *Astronomy and Astrophysics Library ISBN 978-1-4020-5178-4. Springer Science+Business Media B.V.*, 2010.
- [5] R. Smolec, P. Moskalik, J. Kałużny, W. Pych, M. Różycka, I. B. Thompson, "RR Lyrae stars in NGC 6362," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 467, no. 2, pp. 2349–2366, 2017.
- [6] M. A. T. Groenewegen and M. I. Jurkovic, "The period-luminosity and period-radius relations of Type II and anomalous Cepheids in the Large and Small Magellanic Clouds," *Astronomy & Astrophysics*, vol. 604, no. 29, pp. 8–22, 2017.
- [7] A.-Li Luo, Y.-Heng Zhao, G. Zhao, Li-Cai Deng, X.-Wei Liu, Y.-Peng Jing, G. Wang, H.-T. Zhang, J.-R. Shi, X.-Q. Cui, and 135 coauthors, "The first data release (DR1) of the LAMOST regular survey," *Research in Astronomy and Astrophysics*, vol. 15, no.8, pp. 1095–1137, 2015.
- [8] D. L. Pollacco, I. Skillen, A. Collier Cameron, D. J. Christian, C. Hellier, J. Irwin, T. A. Lister, R. A. Street, R.G. West, D.R. Anderson, and 18 coauthors, "The WASP Project and the SuperWASP Cameras," *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 118, no.848, pp. 1407–1418, 2006.
- [9] X.-Q. Cui, Y.-H. Zhao, Y.-Q. Chu, G.-P. Li, Q. Li, L.-P. Zhang, H.-J. Su, Z.-Q. Yao, Y.-N. Wang, X.-Z. Xing, and 67 coauthors, "The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST)," *Research in Astronomy and Astrophysics*, vol. 12, no. 9, pp. 1197–1242, 2012.

- [10] C. A. Navin, L. S. Martell and D. B. Zucker, “New Halo Stars of the Galactic Globular Clusters M3 and M13 in the LAMOST DR1 Catalog,” *The Astrophysical Journal*, vol. 829, no. 2, pp. 123–137, 2016.
- [11] P. Lenz and M. Breger, “Period04 User Guide”, *Communications in Asteroseismology*, vol. 146, no. 2, pp. 53–136, 2005.
- [12] P. Wils, C. Lloyd and K. Bernhard, “A catalogue of RR Lyrae stars from the Northern Sky Variability Survey,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 368, no. 4, pp. 1757–1763, 2006.
- [13] M. A. Abbas, E. K. Grebel, N. F. Martin, W. S. Burgett, H. Flewelling, R. J. Wainscoat, “Newly discovered RR Lyrae stars in the SDSS-Pan-STARRS1-Catalina footprint,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 441, no. 2, pp. 1230–1242, 2014.
- [14] A.J. Drake, M. Catelan, S. G. Djorgovski, G. Torrealba, M. J. Graham, V. Belokurov, S. E. Koposov, A. Mahabal, J. L. Prieto, C. Donalek, and 4 coauthors, “Probing the Outer Galactic Halo with RR Lyrae from the Catalina Surveys,” *The Astrophysical Journal*, vol. 763, no. 1, pp. 32–52, 2013.
- [15] E. Kemper, “A spectroscopic study of the c-type RR Lyraes,” *Astronomical Journal*, vol. 87, no. 1, pp. 1395-1408, 1982.
- [16] V. P. Tsesevich and O. E. Mandel, “On the Blazhko effect of V421 Herculis,” *Perem. Zvezdy, Byull.*, vol. 22, no. 2, pp. 237–244, 1985.
- [17] R. O. Gray, C. J. Corbally, R. F. Garrison, M. T. McFadden, P. E. Robinson, “Contributions to the Nearby Stars (NStars) Project: Spectroscopy of Stars Earlier than M0 within 40 Parsecs: The Northern Sample. I,” *The Astronomical Journal*, vol. 126, no. 4, pp. 2048–2059, 2003.
- [18] J.-C. Mermilliod, M. Mermilliod, B. Hauck, “The General Catalogue of Photometric Data (GCPD). II,” *A & A Supplement series*, vol. 127, p. 349-352, 1997.
- [19] R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk, C. A. Beichman, J. M. Carpenter, T. Chester, L. Cambresy, T. Evans, J. Fowler, J. Gizis, and 15 coauthors, “2MASS All Sky Catalog of point sources,” *The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive*, 2006.
- [20] E. B. Amôres and J. R. D. Lépine, “Models for Interstellar Extinction in the Galaxy,” *The Astronomical Journal*, vol. 130, no. 2, pp. 659–673, 2005.
- [21] R. Kurucz, “ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid,” *ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory*, 1993.
- [22] R. L. Kurucz and E. H. Avrett, “Solar Spectrum Synthesis. I. A Sample Atlas from 224 to 300 nm,” *SAO Special Report*, vol. 391, 1981.
- [23] B. Smalley, R. B. Gardiner, F. Kupka, M. S. Bessell, “On the anomaly of Balmer line profiles of A-type stars. Fundamental binary systems,” *Astronomy and Astrophysics*, vol. 395, pp. 601–609, 2002.
- [24] O. W. Butters, R. G. West, D. R. Anderson, A. Collier Cameron, W. I. Clarkson, B. Enoch, C. A. Haswell, C. Hellier, K. Horne, Y. Joshi, and 10 coauthors, “The first WASP public data release,” *Astronomy and Astrophysics*, vol. 520, no. 10, pp. 1–4, 2010.