

η Lep, HR 6455 ve δ Aqr YILDIZLARININ TAYFSAL ANALİZLERİ: İLK SONUÇLAR

Kutluay YÜCE¹

Özet

A ve F tayf türünden üç yıldızın görünür bölge tayflarının analizlerine ilişkin bir ilerleme raporu sunulmaktadır. Yıldızların, Dominion Astrofizik Gözlemevi'ndeki (DAO) 1.2 metrelik teleskopa bağlı Reticon ve CCD detektörlerle alınmış yüksek ayırma güçlü tayfları kullanılarak dönme hızlarının ilk tahmini değerleri ve atmosfer parametreleri belirlenmiştir. Tayflar, REDUCE ve VLINE programları (Hill & Fisher [8]) ile ölçülerek her bir tayf çizgisinin gözlenen dalgaboyu, eşdeğer genişliği, çizgi derinliği ve yarı-maksimumdaki tam genişliği bulunmuştur. Atmosfer analizi, ATLAS9 (Kurucz [10]) ve onun ilgili programları kullanılarak gerçekleştirildi. F0 tayf türü yakınlarında anakol bandı, klasik kararsızlık kuşağı ile kesişmektedir. Burada incelenmekte olan η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızları, HR diyagramında kararsızlık kuşağı ile anakolun kesiştiği yere yakın bir yerde bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: η Lep, HR 6455, δ Aqr, Astrofizik, HR diyagramı.

Abstract

A progress report on the spectral analyses of the visible spectral region of three stars with A and F spectral types is presented. The initial estimates of the rotational velocities and atmospheric parameters of the three stars were determined using high quality spectral data obtained with Reticon and CCD detectors of the 1.2-m telescope at the Dominion Astrophysical Observatory (DAO). The spectra were measured using programs REDUCE and VLINE (Hill & Fisher [8]), and the stellar wavelength, equivalent width, the line depth, and the line width were determined for each line. The atmosphere analysis was performed using the model atmospheres code ATLAS9 (Kurucz [10]) and its associated programs. The classical instability strip cross the main sequence band near the region F0 spectral type. The three stars η Lep, HR 6455 ve δ Aqr are close to the intersection of the instability strip and the main sequence in the HR diagram.

Anahtar kelimeler: η Lep, HR 6455, δ Aqr, Astrophysics, HR diagram.

1. Giriş

III ve V ışınım sınıfına ait A ve F tayf türünden üç yıldızın element bolluk çalışması gerçekleştirilmektedir: η Lep (16 Lep, HD 40136, HR 2085, HIP 28103), HR 6455 (HD 157087, HIP 84821) ve δ Aqr (76 Aqr, HR 8709, HD 216627, HIP 113136). B ve A tayf

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara
Tel: 0 (312) 2126720/1196, Fax: 0 (312) 2232395, e-posta: kyuice@astro1.science.ankara.edu.tr

türünden iki süperdev yıldızın (bkz. Yüce [19]) analizlerinin devamı niteliğindeki bu çalışma ile, detaylı kimyasal bolluk analizi yapılmakta olan yıldız sayısı artırılarak “Anakol Bandı Yıldızları”na uzanılmaktadır. A2 ve F0 tayf türü aralığında anakol bandı, “Klasik Kararsızlık Kuşağı” ile kesişmektedir (Wolff [18]). Bu bölgede, Güneş’inkine yakın yüzey element bolluklarına sahip keskin çizgili normal yıldızların sayısında azlık vardır. Bu çalışmada incelenmekte olan yıldızlar, HR diyagramında anakol ile kararsızlık kuşağının kesiştiği bölgeye yakın yerlerde bulunmaktadır.

η Lep, Slettebak [16] tarafından F0 V, Houk & Smith-Moore [9] tarafından F1 V ve Abt & Morrell [1] tarafından F2 IV tayf türünden bir yıldız olarak belirtilir. Smith [17], η Lep’in ($T_e = 7400$ K, $\log g = 4.0$ ve $\xi = 6.0$ km sn⁻¹) atmosfer parametre değerlerinden yıldızın normal element bolluklarına sahip olduğunu buldu. Ancak Adelman [2], yıldızın gözlemsel ve kuramsal H_γ profilinin karşılaştırılması ve görsel bölge için yapılmış spektrofotometrik gözlemlerinden atmosfer parametrelerini (6850 K, 4.08, 3.4 km sn⁻¹) olarak belirledi. Bu değerler η Lep’in atmosferindeki alüminyum, skandiyum, vanadyum ve demir bolluklarının Güneş’tekinden daha az, silisyumun ise daha fazla olduğunu ortaya koymuştur.

δ Aqr, kızarmamış bir anakol yıldızı, zayıf ve genişlemiş çizgilere sahip orta hızla dönen bir yıldızdır. Roman [14] ve Houk & Smith-Moore [9] tarafından A3 V, Abt & Morrell [1] tarafından A3 Vp tayf türünden bir yıldız olarak sınıflandırılır. Adelman ve ark. [3], yıldızın atmosfer parametrelerini Strömngren uvby β fotometrisinden $T_e = 8657$ K ve $\log g = 3.56$ olarak, kuramsal H_γ profillerinin gözlemsel profil ile karşılaştırılmasından ve spektrofotometrik gözlemlerinden ise $T_e = 8700$ K, $\log g = 3.5$ olarak belirledi. Buradan δ Aqr’nın Güneş ile aynı metal bolluğuna $[m / H] = 0.0$ sahip bir yıldız olduğu bulundu. Bazı B ve A tayf türü anakol yıldızlarını da içeren bu çalışmada fotometrik ve spektrofotometrik gözlemlerden buldukları etkin sıcaklık farkları; 8000 K $< T_e < 10050$ K aralığındaki 29 yıldız için 25 ± 118 K, 10050 K $< T_e < 17000$ K aralığındaki 14 yıldız için 76 ± 105 K dir. Yüzey çekim ivmeleri ise birbirleriyle uyum içerisindedir (Adelman ve ark. [3]).

Keskin çizgili bir yıldız olan HR 6455, Eggen [5] ve Cowley ve ark. [4] tarafından A3 III, Abt & Morrell [1] tarafından A3 IVs olarak sınıflandırılmıştır. HR 6455, literatürde ihmal edilmiş bir A yıldızı olarak karşımıza çıkar. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının Abt & Morrell [1] tarafından tespit edilen dönme hız değerleri, sırasıyla, $v \sin i = 18$ km sn⁻¹, 10 km sn⁻¹ ve 70 km sn⁻¹ dir.

Önemli pratik avantajlar sunan A tayf türü yıldızların bazı gözlemsel karakteristikleri vardır. Bu yıldızlar, görünür bölge tayflarında moleküler çizgilere sahip olamayacak kadar sıcak yıldızlardır. Bu durum, onlara daha geç tayf türü G, K ve M yıldızlarından çok daha kolay tayfsal analiz yapma imkanı sağlar. Ayrıca A türü yıldızlar bu tayf bölgesinde zengin çizgilere sahip olabilecek kadar soğuk yıldızlardır. Bu karakteristik temel değildir, fakat yıldız fiziği çalışmak için A yıldızlarını bir laboratuvar olarak düşünmek açısından değerlidir.

2. Gözlemler

η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının tayfları, Prof. Dr. Saul J. Adelman tarafından Dominion Astrofizik Gözlemevi’ndeki SITE2 ve SITE4 dedektörleriyle alınmıştır. 2.4 Amm⁻¹ lik ayırma gücüne sahip tayfların dalgaboyu genişlikleri 63 \AA ve 147 \AA olup, her tayfin sonu bir sonrakinin yaklaşık 5 \AA ’luk kısmıyla çakışmaktadır. Tayfların sinyal-gürültü oranı (S/N) > 200 dir. İncelenen tayfların dalgaboyu aralıkları η Lep için $\lambda\lambda 3930-4930 \text{ \AA}$, HR 6455 ve δ Aqr için $\lambda\lambda 3830-4930 \text{ \AA}$ dir. DAO tayfları, tayfçekerin optik donanımından kaynaklanan %3.5 oranından saçılmış ışık etkisinden arındırılmış verilerdir (Gulliver ve ark. [6]).

3. Tayf Çizgilerinin Ölçümleri ve Çizgi Tanıları

Elektronik dedektörlerle alınan tayfsal veriler, çok amaçlı bir paket program olan REDUCE programı (Hill & Fisher [8]) ile normalize edildi. Her üç yıldızın 63 Å dalgaboyu genişliğinde, $\lambda 4410\text{\AA}$ merkezi dalgaboyunda alınmış W489313617 (η Lep), W122_98_5475 (HR 6455) ve W122_99_11903 (δ Aqr) isimli tayflarının REDUCE programı ile belirlenmiş sürekliliklerini gösteren örnekler Şekil 1’de verilmektedir.

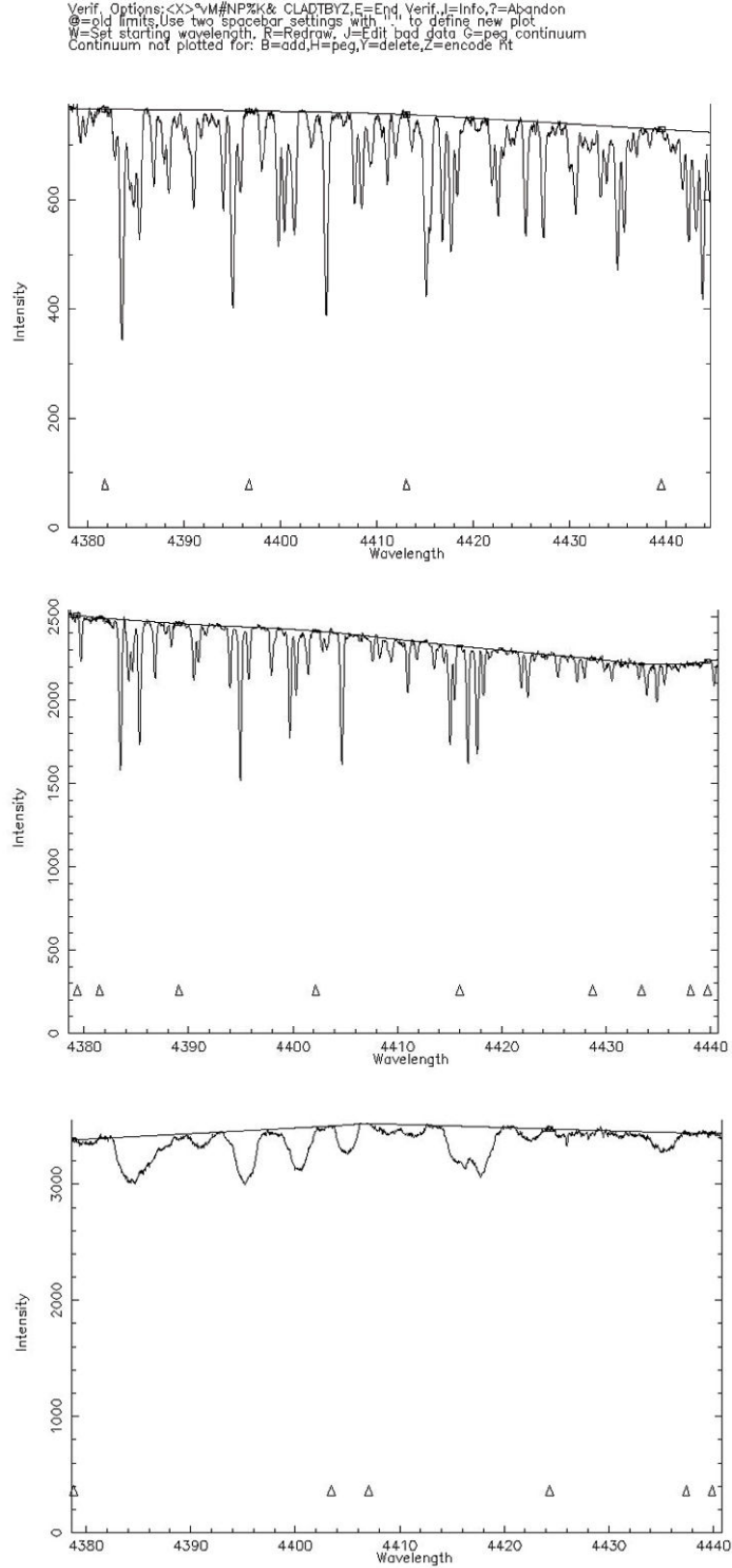
Süreklilikleri belirlenen her bölge, VLINE programı (Hill & Fisher [8]) kullanılarak ölçüldü. Çizgi ölçümlerinde yaklaşık 8-10 Å’luk bölgeler halinde çalışıldı. Bu bölgelerdeki tüm tayf çizgileri tek tek tespit edilerek, bu çizgi profillerine en iyi uyum elde edilinceye kadar kuramsal fit çakıştırmaları yapıldı. Böylece kuramsal ve gözlemsel karşılaştırmalarla en iyi uyum elde edilen tayf çizgilerinin eşdeğer genişliği (EW), merkezi dalgaboyu ($\lambda_{\text{yıldız}}$), çizgi derinliği ve yarı-maksimumdaki tam genişliği (FWHM) elde edildi. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının çizgi ölçümünde, VLINE programının ‘fix parameter mode’ özelliği uygulandı. Özellikle çok yakın blend olmuş tayf çizgilerine en iyi fiti yapabilmek için çizgi genişliklerinde bu modun uygulanmasına ihtiyaç duyulur. η Lep ve HR 6455 yıldızlarının metal çizgileri için ‘Gauss’ profilleri ile kuvvetli Helyum çizgileri için ‘Lorentzian’ profilleri uygulandı. Çok kuvvetli çizgiler, genişlemiş profillerdir ve bu çizgilerin şiddetleri “fix parameter mod” kullanılmadan ölçülebilmektedir. δ Aqr yıldızının metal çizgilerine dönme (Rotational) profilleri uygulandı. Yüksek dönme hızı, zayıf tayf çizgilerinin kaybolmasına neden olur, çizgilerin birbirini örtmesini sağlar yani blendlik yaratır ve sürekliliğin konumuna etki eder. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının $\lambda 4410\text{\AA}$ merkezi dalgaboyuna ait “R” tayflarındaki çizgi profillerine yapılan kuramsal fit çakıştırılması ve sonuçta elde edilen çizgi ölçümlerine ilişkin örnekler Şekil 2’de verilmektedir.

İncelenen tayflarda η Lep için yaklaşık 1240, HR 6455 için 1720 ve δ Aqr için 425 tayf çizgisi tespit edilerek ölçümleri yapıldı. Her tayf için ortalama radyal hız değeri standart hataları ile birlikte belirlendi. İlgili tayflardaki Fe I, Fe II, Ti II, Mg II gibi atom ve iyonların tanımlanabilir belirgin çizgileri kullanılarak Doppler Yasası yardımıyla her bir bölgenin radyal hız düzeltme miktarı hesaplandı ve o bölgedeki tüm çizgilere aynı oranda uygulandı. Böylece ölçülen tüm tayf çizgilerinin düzeltilmiş dalgaboyları ($\lambda_{\text{düzeltilmiş}}$) elde edildi.

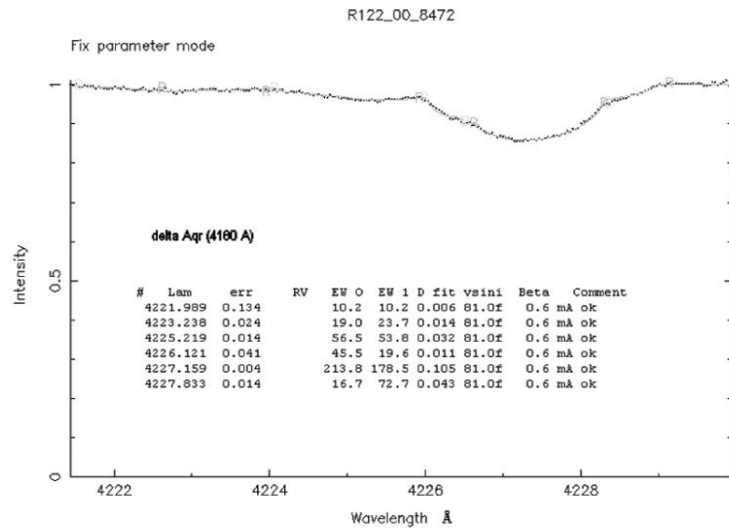
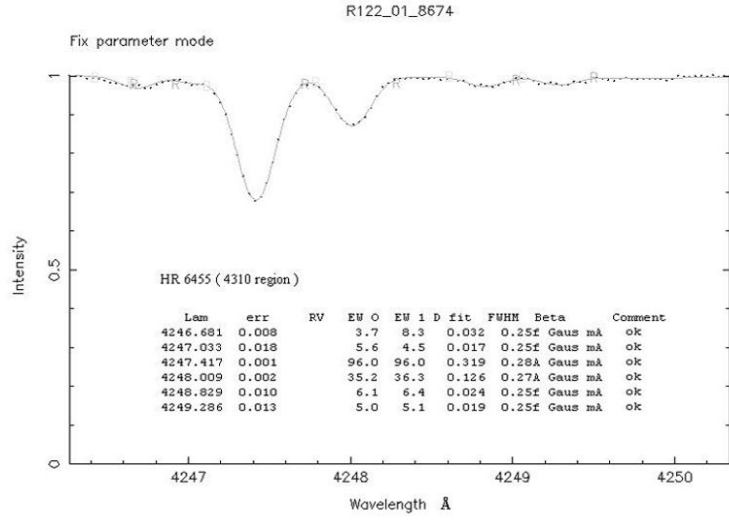
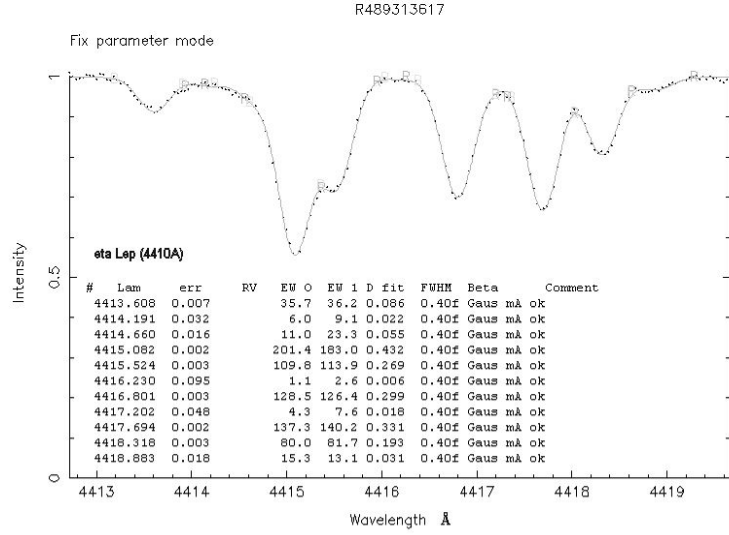
Tespit edilen çizgi profillerinin hangi atom ve iyona ait oldukları çizgi tanısı yöntemi ile belirlendi. Çizgi tanısına o tayf bölgesindeki temiz ve blend olmamış çizgilerden başlandı. Yıldızların çizgi tanımlarını yapmakta kullanılan en temel kaynak ‘A Multiplet Table of Astrophysical Interest (Moore [12])’dir. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr’nın atmosferlerinde belirlenen elementlere ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Çizgi tanısı yöntemiyle tanımlanan elementlere ait bilgiler.

Yıldız	Tanımlanan atom ve iyonlar
η Lep	C II, Mg I, Mg II, Al I, Si II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti I, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Co I, Ni I, Ni II, Sr II, Y II, Zr II, Ba II, La II, Ce II, Nd II, Eu II, Gd II
HR 6455	C I, C II, O I, Mg I, Mg II, Al I, Al II, Si I, Si II, S I, S II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti I, Ti II, V I, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Fe III, Co I, Ni I, Ni II, Zn I, Sr II, Y II, Zr II, Ba II, La II, Ce II, Nd II, Eu II, Gd II, Tm II, Dy II
δ Aqr	Mg I, Mg II, Al I, Si I, Si II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Co I, Ni I, Ni II, Y II, Zr II, Cd I, Ba II, La II, Ce II



Şekil 1. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının 4410Å merkezi dalgaboyu bölgesindeki tayflarının REDUCE programı ile belirlenen süreklilikleri.



Şekil 2. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının VLINE programıyla yapılan tayf ölçümlerine ait örnekler.

4. Dönme Hızları

Tüm tayflar üzerinde, mikrotürbülans ve makrotürbülans gibi çizgi genişleme mekanizmalarından çok fazla etkilenmedikleri düşünülen orta şiddetli (15-30 mÅ) ve blend olmamış temiz tayf çizgileri belirlendi. VLINE programının “fix parameter mode” özelliği yardımıyla çeşitli olası dönme hız değerleri kullanılarak bu çizgilerden yıldızların dönme hızları belirlendi; η Lep için 13.5 km sn^{-1} , HR 6455 için 8.7 km sn^{-1} ve δ Aqr için 81 km sn^{-1} .

η Lep ve δ Aqr için belirlediğimiz tahmini dönme hızları, Royer ve ark. [15] tarafından incelenen B9-F2 aralığındaki anakol yıldızlarının $v \sin i$ değerleri ile uyum içerisindedir. Ayrıca, $v \sin i < 75 \text{ km sn}^{-1}$ değerlerine sahip erken F tayf türü yıldızların renk indislerinin $B-V > 0.3$ kadar olduğuna dikkat çekilmektedir. Bu çalışmamızda incelenmekte olan F1 tayf türünden η Lep yıldızının renk indisi $B-V = 0.33$ kadar değerindedir.

5. Atmosfer Parametreleri ve Mikrotürbülans Hızları

η Lep, HR 6455 ve δ Aqr yıldızlarının atmosfer parametrelerine ilişkin ilk değerler, yıldızların Strömngren uvby β verilerinden (Hauck & Mermilliod 1998) Napiwotzki et al. [13]'nin programı yardımıyla elde edildi: η Lep için ($T_e = 7022 \text{ K}$, $\log g = 3.58$), HR 6455 için (9629 K, 3.58) ve δ Aqr için (8657 K, 3.56) dır. Bu tür yöntemlerdeki belirsizlikler etkin sıcaklık için yaklaşık olarak $\pm 200 \text{ K}$, yüzey çekim ivmesi için $\pm 0.2 \text{ dex}$ dir (Lemke [11]).

Yıldızların model atmosfer hesaplamaları, Kurucz [10]'un ATLAS9 programı kullanılarak yapıldı.

Bazı Fe I ve Fe II çizgilerinin eşdeğer genişlikleri, ilgili atomik datalar, çeşitli mikrotürbülans hızları ve ATLAS9 ile oluşturulan model atmosferleri kullanarak nötr ve bir kez iyonize olmuş demir için çizgi kartları oluşturuldu. Bu kartlar yardımıyla da WIDTH9 programı kullanılarak demir bollukları hesaplandı. Bolluklar arasında eşdeğer genişliğe bağlılığın bulunmadığı veya en az olduğu dağılımı veren mikrotürbülans hız değerleri (ξ) tespit edildi. Üç yıldızın ilk belirlemelerde hesaplanan mikrotürbülans hızlarına ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. η Lep, HR 6455 ve δ Aqr için belirlenen mikrotürbülans hızları ve bolluklar

Yıldız	Element	Kullanılan çizgi sayısı	ξ_1 (km sn ⁻¹)	$\log N / N_T$	ξ_2 (km sn ⁻¹)	$\log N / N_T$
η Lep	Fe I	33	2.2	-4.57 ± 0.22	2.1	-4.52 ± 0.22
	Fe II	23	2.1	-4.57 ± 0.25	2.0	-4.55 ± 0.25
HR 6455	Fe I	42	2.7	-4.02 ± 0.25	2.7	-4.02 ± 0.25
	Fe II	31	3.1	-4.36 ± 0.20	3.1	-4.36 ± 0.20
δ Aqr	Fe I	23	2.6	-4.64 ± 0.17	2.6	-4.64 ± 0.17
	Fe II	13	1.7	-4.57 ± 0.26	1.6	-4.54 ± 0.26

ξ_1, ξ_2 ; eğim ve saçılmanın en az olduğu mikrotürbülans hızları

Bu çalışmada incelenen yıldızların tayfsal analizlerine devam edilmektedir. Belirlenecek olan He, CNO, hafif elementler, demir grubu elementler, ağır ve nadir toprak elementlerine ilişkin bolluklar, bu yıldızların ilk detaylı kimyasal bolluk analizleri olması bakımından önemlidir. Duyarlığı yüksek olan gözlemsel verilerin ve gerçeğe uygun fiziksel modellerin kullanıldığı tayfsal çalışmalardan elde edilen ayrıntılı sonuçlar, HR diyagramındaki anakol ile kararsızlık kuşağına yakın bölgelerde bulunan yıldızların astrofizikine de önemli katkılar sağlayacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Abt, H.A., Morrell, N.I. (1995), “*The relation between rotational velocities and spectral peculiarities among A-type stars*”, Astrophysical Journal Supplement Series, 99, 135-172
- [2] Adelman, S. J. (1987), “*Optical region elemental abundance analyses of B and A stars. VI. The normal stars HR 6559 (A7 IV) and eta Leporis (FO IV)*”, Astronomy & Astrophysicsok.. Supplement Series, 67, 353-363
- [3] Adelman, S. J., Pintado, O. I., Nieva, F., Rayle K. E., Sanders S. E. Jr. (2002), “*On the effective temperatures and surface gravities of superficially normal main sequence band B and A stars*”, Astronomy & Astrophysics, 392, 1031-1037
- [4] Cowley, A., Cowley, C., Jaschek, M., Jaschek, C. (1969), “*A study of the bright stars. I. A catalogue of spectral classifications*”, Astronomical Journal, 74, 375-406
- [5] Eggen O. J. (1962), “*Space-velocity vectors for 3483 stars with proper motion and radial velocity*”, R. Obs. Bull., 51, 79
- [6] Gulliver, A. F., Hill, G., Adelman, S. J. (1996), “*A Spectrograph's Instrumental Profile and Scattered Light*”, M.A.S.S.; Model Atmospheres and Spectrum Synthesis ASP Conference Series; Vol. 108; 1996; ed. Saul J. Adelman; Friedrich Kupka; and Warner W. Weiss (1996), p.232
- [7] Hauck, B., Mermilliod, M. (1980), “*Uvbybeta photoelectric photometric catalogue*”, Astronomy & Astrophysics Supplement Series, 40, 1-32
- [8] Hill, G., & Fisher, W. A. (1986), Publ. Dom. Astrophys. Obs., 16, 13
- [9] Houk, N., Smith-Moore, M. (1988), “*Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol.4*”, Michigan Spectral Survey (MSS), Ann Arbor, Astronomy Department, University of Michigan.
- [10] Kurucz, R. L. (1993), “*ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid.*”, Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory
- [11] Lemke, M. (1989), “*Abundance anomalies in Main Sequence A stars. I - Iron and titanium*”, Astronomy & Astrophysics , 225, 125-136
- [12] Moore, C.E. (1945), “*A Multiplet Table Astrophysical Interest*”, Princeton University Observatory.
- [13] Napiwotzki, R., Schoenberner, D., Wenske, V. (1993), “*On the determination of effective temperature and surface gravity of B, A, and F stars using Stromgren UVBY beta photometry*”, Astronomy & Astrophysics, 268, 653-666
- [14] Roman, N. G. (1949), “*The Ursa Major group*”, Astrophysical Journal, 110, 205-24
- [15] Royer, F., Grenier, S.; Baylac, M.-O.; Gómez, A. E.; Zorec, J. (2002), “*Rotational velocities of A-type stars in the northern hemisphere. II. Measurement of $v \sin i$* ”, Astronomy & Astrophysics, 393, 897-911
- [16] Slettebak, A. (1955), “*The spectra and rotational velocities of the bright stars of Draper types A3-G0*”, Astrophysical Journal, 121, 653-669
- [17] Smith, M. A. (1971), “*Microturbulence and abundances in AM stars : inferences concerning metallicism.*”, Astronomy & Astrophysics, 11, 325
- [18] Wolff, S. C. (1983), “*The A Stars: Problems and Perspectives*”, NASA SP-463, Washington, DC.
- [19] Yüce, K. (2005), “*Spectral Analysis of 4 Lacertae and nu Cephei*”, Baltic Astronomy, 14, 51-82.

