

M6 Açık Kümesi Üyesi Yıldızların GIRAFFE Tayfçekerisiyle Gerçekleştirilen Tayfsal Analizleri İlk Sonuçlar

Tolgahan Kılıçoğlu^{1*}, Richard Monier², Luca Fossati³ ve Berahitdin Albayrak¹

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

² Laboratoire Hippolyte Fizeau, Université de Nice - Sophia Antipolis, 06108 Nice,
Cedex 2, Fransa

³ Department of Physics and Astronomy, Open University, Walton Hall, Milton
Keynes MK7 6AA, İngiltere

Özet Açık kümeler, yıldız astrofizikinin önemli laboratuvarlarıdır. Açık küme üyesi olan yıldızlar için aynı başlangıç kimyasal bileşimine, yaşa ve uzaklığa sahip oldukları varsayımı yapılabilmektedir. Böylelikle yıldızlar arasındaki bolluk farklılıkları, ışınımsal difüzyon ile hidrodinamik süreçler (dönme kaynaklı karışım) arasındaki çekişmenin sonuçlarını yansıtabilir. Açık kümelerin tayfsal analizleri, küme üyesi A ve F türü yıldızların çoğunun kimyasal bolluk analizlerinin gerçekleştirilmesine izin verir. Bu sayede elde edilen kimyasal bolluklar, yıldız içerisindeki taşıma süreçlerini de hesaba katan evrimsel yıldız modeli hesaplamalarının öngördüğü kimyasal bolluklarla karşılaştırılabilmektedir. Açık küme üyesi yıldızların element bolluklarını elde edebilmek için 8 metre sınıfındaki VLT teleskobuna bağlı Giraffe tayfçekerisini kullanmaktayız. Bu bildiri öncelikle M6 açık kümesi üyesi 42 yıldızın Geneva 7 renk fotometrik verileri kullanarak elde edilen başlangıç etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerleri sunulmaktadır. Bununla beraber, H_{β} çizgisinin de içinde yer aldığı 4500 - 5100 Å dalgaboyu aralığını içeren düşük çözünürlüklü ve 5140 - 5350 Å ile 5590 - 5835 Å dalgaboyu aralıklarını içeren yüksek çözünürlüklü tayflardan küme üyesi CD-32 13109 yıldızının etkin sıcaklığının, yüzey çekim ivmesinin ve atmosferine ait element bolluklarının belirlenmesine ilişkin sonuçlar da bildiriye yer almaktadır.

1 Giriş

Yıldızların evrimsel farklılıkları onların kütleleri, başlangıç kimyasal bileşimleri ve yaşları ile ilgili olmakla birlikte manyetik alan, dönme, karışım mekanizmaları ve çokluluk (ikili veya çoklu sistem olma) gibi diğer etkilere de dayanır. Yıldızların detaylı teorik evrim modelleri Turcotte (1998, ışınımsal ve çekimsel çökme) ve Richer et al. (2000, çekimsel çökme, ışınım ve çalkantı difüzyonu) tarafından hesaplanmıştır. Yıldızlara ilişkin evrim modellerinin denetlenebilmesi

* E-posta adresi: tkilicoglu@ankara.edu.tr

için yaş ve/veya başlangıç bileşimi gibi bazı parametrelerin sabit tutulması gereklidir. Bir açık yıldız kümesi üyesi yıldızların aynı yaşta, başlangıç kimyasal bileşiminde ve uzaklıkta buldukları varsayımları yapılabildiğinden, açık kümeler yıldız evrim modellerinin test edilmesinde çok kullanışlıdır. Bu sayede, açık küme üyelerinin element bollukları arasındaki farklılıklar, ışınımsal difüzyon ile hidrodinamik süreçler arasındaki çekişmeyi yansıtabilir (bkz. Varenne & Monier 1999, Monier 2005, Gebran & Monier 2008 ve Gebran et al. 2008).

Açık kümeleri çalışmadaki temel amacımız, küme üyesi yıldızların element bolluk analizlerini gerçekleştirerek kümenin genel bolluk durumunu ortaya koymak ve elde edilen bu bollukları kullanarak yıldızların evrim modellerinin gerçeğe ne kadar yaklaştığını denetlemektir. Bu çalışmada GIRAFFE tayfçekerisiyle gözlenen M6 (NGC 6405) açık kümesi üyesi yıldızların tayflarının analizinde kullanılan yöntem ve bu yöntemin örnek bir uygulamasından söz edilmektedir. Üye yıldızların 42 tanesinin Geneva fotometrik sistemiyle hesaplanan başlangıç atmosfer parametreleri ve Am türü yıldız olduğu düşünülen CD-32 13109 (NGC 6405 47) yıldızının detaylı kimyasal analizinin sonuçları verilmektedir.

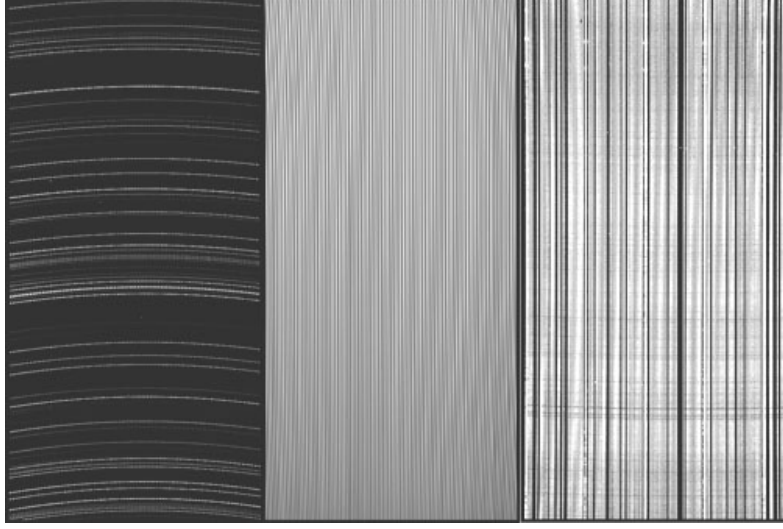
2 Giraffe Tayfçekeri

Küme üyesi yıldızların kimyasal bolluk analizlerinin belirlenmesinde en kullanışlı gözlemsel veriler, teleskopların odak düzlemine yerleştirilen fiber optik kabloların taşıdığı ışığın incelenmesiyle elde edilir. Bu yöntemin kullanışlı olmasının nedeni çok sayıda küme üyesi yıldızın tayfının tek bir CCD görüntüsü üzerinde aynı anda elde edilebilmesini sağlamasıdır. Bu tür gözlem araçlarından biri 8.2 metrelik VLT teleskoplarında (Cerro Paranal, Şili) kullanılan GIRAFFE tayfçekeridir. GIRAFFE (zürafa) ismi, cihazın ilk olarak dikey monte edilmesinden ve düzeneğin uzun olmasından dolayı verilmiştir. Fiber optik kablolar ile taşınan yıldız ışıkları GIRAFFE tayfçekeri yardımıyla tayfa dönüştürülmekte ve CCD üzerine düşürülmektedir.

Çoklu-cisim görüntüleme özellikle kümeler için MEDUSA modu çok kullanışlıdır. MEDUSA modunda teleskobun odağına yerleştirilen her fiber optik uç, gökyüzünün 1.2 yay saniyelik bölümünü görmektedir. Kablolar manyetik özellikleri sayesinde odak düzlemi üzerinde hareket ettirilebilir ve sabitlenebilirler. Böylelikle odak düzleminde bulunan yıldızların her birine birer fiber optik kablo bağlanarak eş zamanlı gözlemler yapılabilmekte, hatta fiber optik kablolardan biri yıldız bulunmayan bir bölgeye monte edilerek aynı anda gökyüzü tayfının da elde edilmesi sağlanmaktadır. Aynı anda gözlenebilen cisim sayısı en fazla 132 adettir. Bu modda alınmış toryum-argon lambası, düz-alan ve yıldızların görüntüleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

3 M6 Kümesinin Genel Özellikleri

M6 kümesinin 2000 yılı için ekvator koordinatları $\alpha = 17^{\text{sa}}40^{\text{d}}.3$ ve $\delta = -32^{\circ}12'$, galaktik koordinatları ise $l = 356^{\circ}.62$ ve $b = -0^{\circ}.74$ tür. Akrep takım yıldızı



Şekil 1. Toryum-argon lambası (solda), düz-alan (ortada) ve yıldızların (sağda) GIRAFFE tayfçeki ile elde edilen tayfları (<http://www.eso.org/>)

yöresinde ve yaklaşık 500 pc uzaklıkta bulunmaktadır. Vleeming (1974), M6 açık kümesinin galaktik Avcı (yerel) ve Yay kolları arasında yer alan bir cisim olduğunu belirtmiştir. Yıldızların numaralandırıldığı ilk fotometrik çalışması Rohlfs et al. (1959) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kümenin yaşı 100 milyon yıl olarak Rohlfs et al. (1959), Vleeming (1974) ve Paunzen et al. (2006) tarafından, sırasıyla, HR diyagramından elde edilen uzaklık modülü (UBV), küme üyesi yıldızların sahip olduğu en erken tayf türü ve Δa izokronları kullanılarak elde edilmiştir.

4 Gözlemler ve İndirgemeler

M6 açık kümesi üyesi olan program yıldızlarının tayfları, Mayıs ve Haziran 2007 tarihlerinde 8 metre sınıfındaki VLT (Very Large Telescopes) teleskoplarında MEDUSA fiberleri aracılığıyla FLAMES/GIRAFFE çoklu-cisim tayfçeki kullanılarak Dr. Luca FOSSATI ve grubu tarafından gözlemlendi. Tayflar sırasıyla 7500, 25900 ve 24200 çözünürlüğe sahip 3 farklı dalga boyu aralığını kapsamaktadır: 4500 - 5100 Å, 5140 - 5350 Å, 5590 - 5840 Å. Bu üç bölge, sırasıyla, L479.7, H525.8B ve H572.8 ayar kodlarıyla anılırlar. Düşük çözünürlüklü L479.7 ayarı ile gözlem yapılmasının nedeni bu bölgede yer alan H_{β} çizgisinin gözlenmesidir. Hidrojen çizgileri yıldızın atmosfer parametrelerinin belirlenmesinde anahtar rol oynamaktadır. Aynı zamanda bu bölge H_{β} çizgi profilinin kısa dalga boylu tarafında kalan geniş bir tayfsal aralığı da kapsamaktadır. Orta çözünürlüklü H525.8B ve H572.8 ayarları ise, özellikle A ve F tayf türü yıldızlarda, farklı elementlere ait çok sayıda soğurma çizgilerini içerdikleri için seçilmişlerdir. Kümenin

25 yay saniyelik alan kaplayan bölgesi, L479.7 ve H572.8 ayarlarıyla 3 kez, H525.8B ayarıyla da 6 kez gözlemlendi. Gözlemlerin indirgenmesi internet üzerinden erişilebilen FLAMES - GIRAFFE indirgeme düzeni⁴ ile gerçekleştirildi. Elde edilen tayflar tek tek incelenerek bolluk analizine uygun kaliteye sahip olanlar belirlenerek ayıklandı.

Analize başlanmadan önce, tayfın sinyal-gürültü oranını arttırmak amacıyla aynı ayarda elde edilen görüntüler kendi aralarında birleştirilmektedir. Birleştirme işlemi yapılmadan önce tayfların dikine hızları Güneş Sistemi'nin merkezine indirgenmektedir. Farklı zamanlarda gözlenmiş tayfların içerisinde ani dikine hız değişimine sahip olan yıldızların mevcut olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu bilgi yıldızın değişen olup olmadığı hakkında bize bir fikir verir. Eğer dikine hız değişimi mevcut değilse doğrudan birleştirme işlemi uygulanmaktadır.

Tayfların normalleştirilmesi işlemi FUSE IDL TOOLS⁵ programı içinde yer alan line_norm.pro alt programı ile gerçekleştirildi. Normalleştirme yapılırken öncelikle yıldız ile aynı etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi için hesaplanan sentetik tayflar elde edilerek sürekliliğin nereden geçtiği tespit edildi. Sonra, gözlemsel verilere dönülerek sürekliliğin mümkün olan en uygun yerden geçirilmesi sağlandı. Bu işlemler gerçekleştirilerek tayflar analize hazır hale getirildi.

5 Atmosfer Parametreleri

Küme üyesi program yıldızlarının hangi fotometrik verilere sahip olduğu SIMBAD ve WEBDA veritabanları kullanılarak incelenmiştir. Program yıldızlarının büyük bir bölümünün Strömngren *ubvy* filtrelerinde gözlenmiş olmalarına karşın, hiçbirinin H_{β} filtrelerinde gözlemleri mevcut değildir. Napiwotski et al. (1993)'ün UVBYBETA kalibrasyonlarının H_{β} ölçümleri olmadan doğru sonuçlar veremeyeceğinin bilinmesine rağmen hesaplama, tahmini H_{β} değerleri kullanılarak yapıldı. Ancak hesaplanan etkin sıcaklıkların gözlenen tayflarla uyumsuz olduğu ve çoğu $\log g$ değerinin fiziksel olarak anlamlı olmayan değerler aldığı görüldü. Strömngren fotometrisinin bu haliyle kullanılmasının güvenilir olamayacağı sonucuna varıldı.

Gözlem programında yer alan küme üyesi yıldızların 42 tanesi Geneva yedi-renk fotometrik sisteminde gözlemlenmiş olduğundan, başlangıç etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi parametrelerinin belirlenmesi işlemi bu fotometrik sistem kullanılarak yapıldı. Kalibrasyonları Künzli et al. (1997) tarafından açıklanan ve Dr. Pierre NORTH tarafından sağlanan CALIB kodu kullanılarak adı geçen 42 yıldızın etkin sıcaklıklarının ve yüzey çekim ivmelerinin başlangıç değerleri elde edildi (Çizelge 1). Geneva fotometrisi kızıllaşmaya bağımlı parametreler içerdiğinden yıldızlarası kızarma etkisi literatürde taranarak $E(B2 - V1)$ değeri 0.13 ± 0.01 olarak kabul edildi.

⁴ http://www.eso.org/observing/dfp/quality/GIRAFFE/pipeline/pipe_gen.html

⁵ http://fuse.pha.jhu.edu/analysis/fuse_idl_tools.html

Çizelge 1. Üç farklı kızarma değeri için Geneva yedi-renk fotometrisinden elde edilen başlangıç atmosfer parametreleri

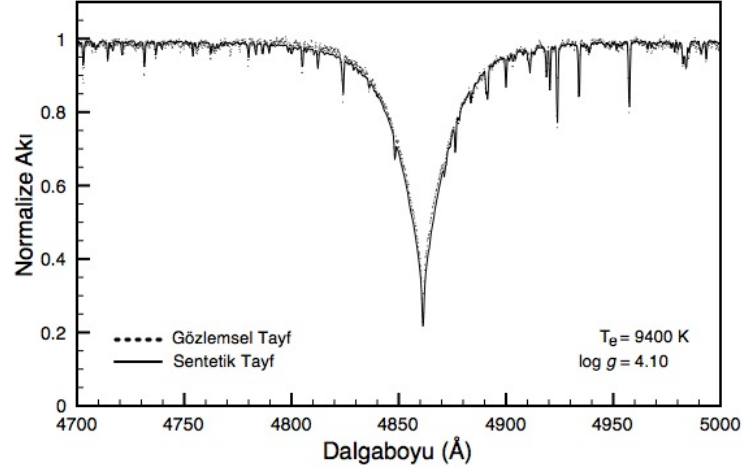
Yıldız no.*	E(B2-V1) = 0.12		E(B2-V1) = 0.13		E(B2-V1) = 0.14		Standart sapma	
	T_e	$\log g$	T_e	$\log g$	T_e	$\log g$	$\sigma(T_e)$	$\sigma(\log g)$
0005	8929	4.15	9079	4.21	9222	4.28	147	0.07
0011	7539	4.32	7637	4.39	7721	4.41	91	0.05
0012	6794	3.94	6874	4.13	6956	4.28	81	0.17
0014	7144	4.71	7230	4.76	7320	4.81	88	0.05
0017	12090	4.19	12090	4.19	12090	4.19	-	-
0018	5986	3.11	6045	3.22	6106	3.35	60	0.12
0020	15864	4.04	15864	4.04	15864	4.04	-	-
0022	11180	3.95	11180	3.95	11180	3.95	-	-
0025	10154	4.07	10368	4.13	10590	4.19	218	0.06
0026	6612	3.93	6680	4.10	6752	4.27	70	0.17
0028	11793	4.35	11793	4.35	11793	4.35	-	-
0029	11199	4.21	11199	4.21	11199	4.21	-	-
0033	6815	4.19	6892	4.35	6975	4.49	80	0.15
0037	12776	4.12	12776	4.12	12776	4.12	-	-
0041	11202	4.20	11202	4.20	11202	4.20	-	-
0042	8807	4.21	8951	4.28	9093	4.34	143	0.07
0044	8348	3.95	8465	4.01	8586	4.06	119	0.06
0047	9233	4.25	9396	4.30	9576	4.36	172	0.06
0048	8217	4.03	8314	4.07	8422	4.10	103	0.04
0051	9748	4.16	9925	4.22	10140	4.29	196	0.07
0052	9679	4.19	9860	4.25	10073	4.33	197	0.07
0054	8438	3.79	8564	3.85	8701	3.92	132	0.07
0063	9908	4.20	10116	4.27	10340	4.33	216	0.07
0064	9503	4.12	9674	4.19	9856	4.25	177	0.07
0066	6472	4.35	6532	4.45	6598	4.56	63	0.11
0067	7355	4.22	7449	4.29	7545	4.36	95	0.07
0069	6321	3.68	6382	3.81	6445	3.95	62	0.14
0070	13967	3.99	13967	3.99	13967	3.99	-	-
0071	9254	4.08	9418	4.14	9586	4.21	166	0.07
0073	9789	4.09	9965	4.16	10172	4.22	192	0.07
0075	10968	4.21	10968	4.21	10968	4.21	-	-
0094	12961	4.04	12961	4.04	12961	4.04	-	-
0095	9681	4.26	9881	4.33	10092	4.41	206	0.08
0096	12798	4.10	12798	4.10	12798	4.10	-	-
0097	13433	4.03	13433	4.03	13433	4.03	-	-
0099	12369	4.33	12369	4.33	12369	4.33	-	-
0115	13032	4.19	13032	4.19	13032	4.19	-	-
0118	6874	4.35	6956	4.50	7044	4.60	85	0.13
0130	8079	3.94	8169	3.96	8262	4.01	92	0.04
0133	11179	4.08	11179	4.08	11179	4.08	-	-
0134	7762	4.34	8035	4.15	8118	4.11	186	0.12
0402	13184	4.11	13184	4.11	13184	4.11	-	-

*numaralandırma sistemi Rohlfs et al. (1959) ve WEBDA veritabanından alınmıştır.

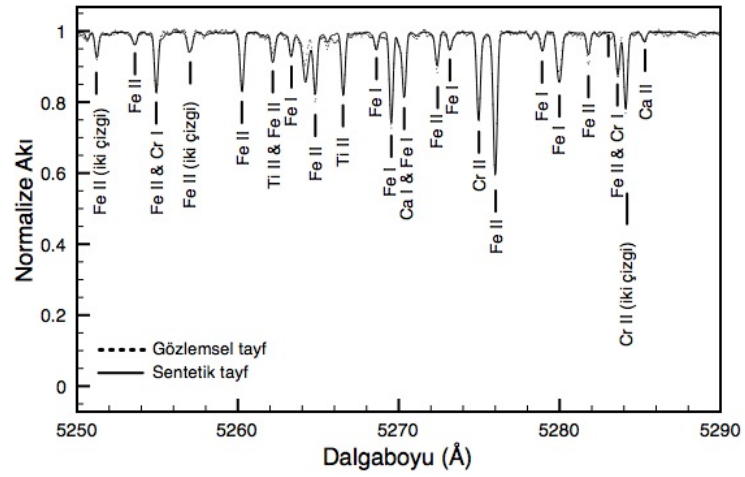
Yavaş dönen ve çok sayıda ince tayf çizgisine sahip olan CD-32 13109 yıldızı analizlere başlamak için seçildi. Fotometrik gözlemlerden hesaplanan etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi parametrelerini denetlemek için yıldızın gözlenmiş H_β çizgisi, SYNSPEC48 koduyla (Hubeny & Lanz 1992) hesaplanmış sentetik H_β çizgi profilleri ile karşılaştırıldı. Fotometrik gözlemlerden elde edilen $\log g$ değerinin bir miktar yüksek olduğu görülerek yıldızın atmosfer parametreleri $T_e = 9400$ K ve $\log g = 4.10$ olarak kabul edildi (Şekil 2).

6 CD-32 13109 Yıldızının Element Bolluk Analizi

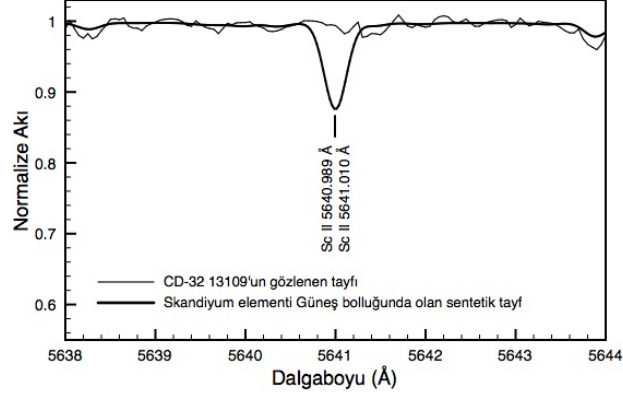
İzlenecek yolun uygulanmasına yönelik, örnek yıldız olarak seçtiğimiz CD-32 13109 (NGC 6405 47)'un bolluk analizinin gerçekleştirilmesi için yıldızın etkin sıcaklığı ve yüzey çekim ivmesi için hesaplanmış bir ATLAS9 (Kurucz 1979) model atmosferi üretildi. Bu atmosfer modeli kullanılarak SYNSPEC48 kodu yardımıyla sentetik yıldız tayfları elde edildi. Bu sentetik tayflarda elementlerin bolluk değerleri SYN PLOT arayüzü ile değiştirilerek her metal çizgisi ayrı ayrı incelendi. Şekil 3'te ölçümü yapılan yüksek çözünürlüklü tayflara bir örnek gösterilmektedir. İncelenen metal çizgilerinin ait olduğu elementlerden ve



Şekil 2. Gözlemsel H_β çizgisi ile kabul edilen atmosfer parametreleri için üretilen sentetik H_β çizgisinin karşılaştırılması



Şekil 3. 5250 Å ile 5290 Å dalgaboyları arasında gözlenen tayf ile $[Fe/H] = 0.28$ için hesaplanan sentetik tayfın bir karşılaştırılması

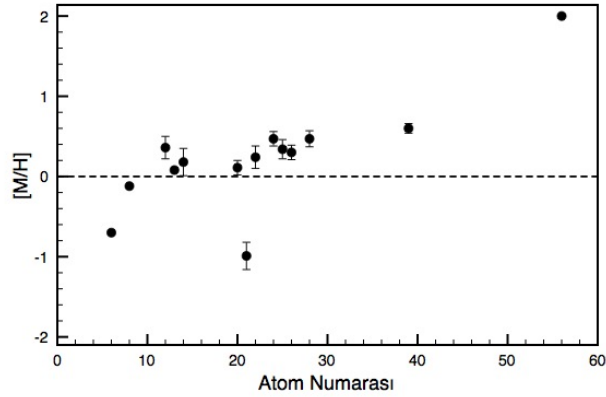


Şekil 4. CD-32 13109'un tayfı ile Güneş'in atmosferindekiyle aynı miktarda skandiyum bolluğuna sahip olan bir sentetik tayfin karşılaştırılması

iyonlardan elde edilen bollukları kaydedildi. Kayda değer Skandiyum eksikliği Şekil 4'te verilen grafikte görülmektedir. Her atomun bolluğu, tayfta ürettiği çizgilerden elde edilen bollukların ortalamaları alınarak hesaplandı (Şekil 5).

7 Sonuçlar

CD-32 13109 yıldızı için elde edilen element bollukları (Şekil 5), oldukça düşük bolluk değerine sahip skandiyum dışında, magnezyum ve daha ağır elementlerin Güneş'e göre daha bol olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. CD-32 13109 yıldızı için elde edilen bolluk değerlerinin Güneş'teki değerlerle karşılaştırılması

Özellikle krom, nikel, yttriyum ve muhtemelen baryumun aşırı bolluklar (0.4 dex'ten fazla) sergilediği gözlenmiştir. Tüm bu özellikler, bu yıldızın Am türü bir yıldız olabileceğine işaret etmektedir. Bu kümeye ilişkin devam eden analizler, küme üyesi A tayf türünden yıldızlar arasında gözlenen kimyasal heterojenliği belirleyebilmemize imkan sağlayacak, A ve F tayf türü yıldızlar için hesaplanan bolluk değerleri, modellerden teorik olarak elde edilen bolluk değerleri ile karşılaştırılacaktır.

8 Teşekkür

Bize CALIB kodunu sağlayan Dr. Pierre NORTH'a teşekkür ederiz. Bu çalışmada SIMBAD ve WEBDA veritabanları kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Gebran, M., Monier, R.: Chemical composition of A and F dwarfs members of the Pleiades open cluster. *Astronomy and Astrophysics*, **483** (2008) 567-570
- Gebran, M., Monier, R., Richard, O.: Chemical composition of A and F dwarf members of the Coma Berenices open cluster. *Astronomy and Astrophysics*, **479** (2008) 189-206
- Hubeny, I, Lanz, T.: Accelerated complete-linearization method for calculating NLTE model stellar atmospheres. *Astronomy and Astrophysics* **262** (1992) 501-514
- Künzli, M., North, P., Kurucz, R. L., Nicolet, B.: A calibration of Geneva photometry for B to G stars in terms of T_{eff} , $\log g$ and $[M/H]$. *Astronomy and Astrophysics Supplement series*, **122** (1997) 51-77.
- Kurucz, R. L.: Model atmospheres for G, F, A, B, and O stars. *Astrophysical Journal Supplement Series*, **40** (1979) 1-340
- Monier, R.: Abundances of a sample of A and F-type dwarf members of the Ursa Major Group. *Astronomy and Astrophysics*, **442** (2005) 563-566.
- Napiwotzki R., Schönberner D., Wenske V.: On the determination of effective temperature and surface gravity of B, A, and F stars using Stromgren UVBY beta photometry. *Astronomy and Astrophysics*, **268** (1993) 653-666
- Paunzen, E., Netopil, M., Illiev I. Kh., Maitzen, H. M., Claret, A., Pintado, O. I.: CCD photometric search for peculiar stars in open clusters. VII. Berkeley 11, Berkeley 94, Haffner 15, Lyngå 1, NGC 6031, NGC 6405, NGC 6834 and Ruprecht 130. *Astronomy and Astrophysics*, **454** (2006) 171-178
- Richer, J., Michaud, G., Turcotte, S.: The Evolution of Am-Fm Stars, Abundance Anomalies, and Turbulent Transport. *The Astrophysical Journal* **529** (2000) 338-356
- Rohlf's, K., Schrick, K., Stock, J.: Lichtelektrische Dreifarben-Photometrie von NGC 6405 (M6). Mit 3 Textabbildungen. *Zeitschrift für Astrophysik*, **47** (1959) 15
- Turcotte S., Richer, J., Michaud, G.: Consistent Evolution of F Stars: Diffusion, Radiative Accelerations, and Abundance Anomalies. *Astrophysical Journal* **504** (1998) 559
- Varenne, O., Monier, R.: Chemical abundances of A and F-type stars: the Hyades open cluster. *Astronomy and Astrophysics*, **351** (1999) 247-266
- Vleeming, G.: A photometric study of the open cluster M6 (NGC 6405). *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, **16**, (1974) 331-342