



NGC 6940 Açık Yıldız Küme Üyesi Dev Yıldızların Kimyasal Bolluk Analizi

Gamze Böcek Topcu^{1*}, Melike Afşar⁷, Christopher Sneden²

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye.

²Department of Astronomy and McDonald Observatory, University of Texas, USA

Özet: Bu çalışmada, NGC 6940 açık yıldız küme üyesi 12 Kırmızı Dev yıldızın yüksek çözünürlüklü ($R \approx 60000$) ve sinyal/gürültü oranlı ($\square 120$) tayflarından elde edilen detaylı kimyasal bolluk analizi sonuçları sunulmaktadır. Kümenin ortalama dikine hız değeri 8.02 ± 0.16 km/s olarak hesaplanmıştır. Model atmosfer parametreleri Fe I, Fe II, Ti I ve Ti II çizgilerinin eşdeğer genişlikleri ölçülerek belirlenmiştir. Li bolluğu 6707 Å rezonans, oksijen bolluğu ise yasaklanmış 6300 Å [O I] çizgisinden hesaplanmıştır. 5164 Å ve 5635 Å dalgaboylarındaki C₂ bandlarından karbon, 7995-8040 Å aralığındaki ^{12,13}CN bandlarından ise azot bollukları ile ¹²C/¹³C izotop oranları sentetik analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, alfa (Mg, Si, Ca), hafif tek-Z (Na, Al), Fe-grubu (Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn) ve n-yakalama (Y, La, Nd, Eu) elementlerinin bollukları eşdeğer genişlik ya da sentetik analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: kimyasal bolluklar, yıldız atmosferleri, yıldız evrimi, açık yıldız kümeleri

Abstract: In this study, the high resolution ($R \approx 60000$), high signal-to-noise ($\square 120$) detailed spectroscopic analysis results of 12 red giant members of the Galactic open cluster NGC 6940 are presented. Mean radial velocity of the cluster has been calculated as 8.02 ± 0.16 km/s. Atmospheric parameters were determined via equivalent widths of Fe I, Fe II, Ti I, and Ti II lines. Abundance of Li calculated from Li I resonance doublet at 6707 Å and oxygen calculated from forbidden [O I] line at 6300 Å. Abundances of carbon, nitrogen and ¹²C/¹³C isotopic ratios derived from spectrum syntheses of C₂ Swan bandheads at 5164 Å and 5635 Å, and strong ^{12,13}CN system lines in the 7995–8040 Å region respectively. α (Mg, Si, Ca), odd-Z (Na, Al), Fe-group (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn), and n-capture (Y, La, Nd, Eu) elements are also been derived by equivalent width or synthetic spectrum analysis methods.

Key Words: chemical abundances, stellar atmosphere, stellar evolution, open star clusters

1. Giriş

Standard evrim kuramlarına göre (örn. Iben 1967; Dearborn 1976) kırmızı dev kolu (KDK) aşamasındaki yıldızların yüzey bolluklarını değiştiren tek mekanizma 1. tırmıklamadır (1st dredge-up). Düşük ve orta kütleli yıldızların KDK evrimleri boyunca iç kısımlara doğru derinleşen konvektif katmanları çekirdeği saran yanma kabuğundaki işlemde geçmiş maddeyi yüzeye taşır ve homojen olarak dağıtır. En belirgin ve kolay analiz edilebilen değişimler karbon bolluğunun azalırken nitrojen bolluğunun artması ve karbon izotop oranındaki düşümedir. Güneş metal bolluğundaki bir yıldızın anakolda yaklaşık 90 olan ¹²C/¹³C izotop oranı yaklaşık 20'ye düşer. Yüzey bolluğundaki bu değişim başlangıç kütlesi ve metal bolluğuna sıkı bir biçimde bağlıdır (örn. Charbonnel 1994). Ancak tayfsal gözlemlerde bu standard modeli destekleyici sonuçların yanısıra aynı yönlü daha ileri karışıma işaret eden sonuçlar da literatürde çok eski yıllardan itibaren dikkat çekmektedir. Örneğin Li bolluğu standard kulamlarca $\log \epsilon(\text{Li}) \approx 1$ olarak öngörülse de $-1 < \log \epsilon(\text{Li}) < 0$ aralığında gözlemlendiği durumlar da vardır (örn. Pilachowski 1993) ya da ¹²C/¹³C < 15 olan tayf gözlemleri mevcuttur (örn. Day vd. 1973; Tomkin vd. 1976; Sneden vd. 1986). Evrimlerinin kırmızı dev ya da yatay kol aşamasında olan kırmızı dev (KD) yıldızlarında düşük karbon izotop oranı ve LiCNO bollukları metalce zengin açık kümelerde (örn. Gilroy, 1989; Luck, 1994; Smiljanic vd. 2009), küresel kümelerde (örn. Sneden, 1994, 1997; Gratton, 2004) ve alan yıldızlarında (örn. Gratton, 2000; Afşar vd. 2012) bir çok kez gözlenmiştir. KD yıldızlarda gözlenen ve ekstra bir karışımın olduğunu işaret eden bu yüzey bolluklarının, kuramsal olarak hangi evrim aşamasında ve hangi fiziksel mekanizmalar sonucu gerçekleştiği ise günümüzde devam eden bir tartışma konusudur (örn. Karakas ve Lattanzio, 2014 ve referansları).

Evrimleşmiş yıldızların gözlenen kimyasal bollukları ve standard teoriler arasındaki bu ayrışmayı araştırmak açısından yıldız kümeleri çok kullanışlı araçlardır. Tek bir gaz ve toz bulutundan aynı başlangıç kimyasal kompozisyonu ile aynı uzaklık ve zamanda oluşan yıldız kümeleri galaksi ve yıldız evrimi çalışmalarında sayısız avantaj sağlamaktadır. Analiz edilen KD yıldızlarının yaş, uzaklık, kütle, metal bolluğu ve kızıllaşma ($E(B-V)$) parametreleri alan yıldızlarına göre çok daha duyarlı olarak belirlenir. Daha duyarlı olarak hesaplanan bu parametreler yardımıyla analizi yapılan KD yıldızların gerçeğe daha yakın model atmosfer parametreleri ve element bollukları çok daha hassas olarak elde edilebilir. Kimyasal analiz sonuçları (örn. Li bolluğu ya da ¹²C/¹³C oranı) açık kümelerin renk-parlaklık diyagramları ve fotometriden bağımsız elde edilen $T_{\text{eff}} - \log g$ diyagramları ile birlikte eş zamanlı incelenerek yıldızların evrim aşamaları daha iyi tahmin edilebilir.

Bu çalışmada, NGC 6940 açık yıldız küme üyesi 12 KD yıldızın yüksek çözünürlüklü tayfları elde edilmiştir. Bu tayf verilerinin analizi ile model atmosfer parametreleri (etkin sıcaklık: T_{eff} , yüzey çekimi: $\log g$, metallilik: $[M/H]$ ve mikrotürbülans hızı: v_t) belirlenmiş, dikine hızları ölçülerek küme üyelikleri tespit edilmiştir. LiCNO elementleri ve ¹²C/¹³C izotop oranlarının yanı sıra, alfa (Mg, Si, Ca), hafif tek-Z (Na, Al), Fe-grubu (Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn), n-yakalama (Y,

*Gamze Böcek Topcu E-Posta: gamzebocek@gmail.com



La, Nd, Eu) elementlerinin bollukları eşdeğer genişlik ya da sentetik analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma NGC 6940 küme üyesi cüce ya da dev yıldızların ilk kapsamlı bolluk analizidir. Gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarının karşılaştırılabileceği tayfsal bir çalışma olmadığından, kullanılan yöntemlerin denetlenebilmesi açısından literatürde iyi çalışılmış olan Hyades KD yıldızları (γ Tau, δ Tau, ϵ Tau ve θ Tau) bu çalışmaya dahil edilmiştir. Bu iki açık küme üyesi KD yıldızlar aynı çizgi listeleri ve yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Hyades kümesinin çalışmaya eklenmesi yaş, dönme noktası kütlesi ve kimyasal bolluk değerlerinde karşılaştırma ve denetleme imkanı sağlamıştır. NGC 6940 küme üyesi yıldızların fotoğrarik parlaklıkları Larsson ve Leander (1960) çalışmasından alınarak Yonsei-Yale izokron uygulaması ile küme yaşı (1.1 Gyr) ve dönme noktası kütlesi ($2 M_{\odot}$) belirlenmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

NGC 6040 üyesi 12 KD yıldızının gözlemi Amerika'nın Teksas eyaletindeki McDonald Gözlemevi'nde bulunan 9.2m HET (Hobby-Eberly Telescope) teleskobuna bağlı "High-Resolution Fiber-Coupled (HRS)" tayfçeki ($R=60,000$) ile 2013 yılının Mayıs ve Haziran aylarında gerçekleştirilmiştir. Hyades üyesi dört KD yıldızının tayfları ise aynı gözleminde bulunan 2.7m HJT (Harlan J. Smith) teleskobuna bağlı COUDE tayfçeki ($R=60,000$) ile 2012 yılının Ekim ayında elde edilmiştir. Her KD yıldızın en az iki adet tayfı alınmıştır ve indirgeme aşamasında kullanılmak üzere her gözlem gecesinde bias, dark, flat görüntüleri ile birlikte dalgaboyu kalibrasyonu yapılması amacıyla ThAr lamba tayfları da alınmıştır. Yıldız tayflarından atmosferik tellurik çizgileri arındırmak için sıcak (B-A tayf türleri aralığında) ve hızlı dönen ($V_{rot} > 100$ km/s) standart yıldızlar gözlenmiştir. Yüksek sinyal/gürültü ($S/G \geq 100$) oranına sahip veriler IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) paket programı ile indirgenmiş ve tayflar kimyasal bolluk analizine hazır duruma getirilmiştir.

KD yıldızların dikine hızları da ölçülmüştür, literature ile karşılaştırılarak küme üyelikleri tespit edilmiştir. Dikine hız ölçümü çapraz-bağıntı yöntemini kullanan ve IRAF'ın RV paketinin alt programı olan *fxcor* ile gerçekleştirilmiştir. Mukayese yıldızı yerine ise gözlenen KD yıldızların atmosfer parametrelerine yakın sentetik tayflar üretilmiştir. Daha sonra bu sentetik tayflar yıldız tayflarıyla çapraz-bağıntı yöntemiyle karşılaştırılarak dikine hızlar ölçülmüştür. NGC 6940 açık yıldız kümesinin bu çalışmada hesaplanan ortalama dikine hız değeri $RV = 8.02 \pm 0.16$ km/s ($\sigma = 0.56$ km/s), Mermilliod vd. 2008 çalışmasında elde edilmiş olan $RV = 7.89 \pm 0.14$ km/s değeri ile uyumludur.

3. Model Atmosferlerin Belirlenmesi

Model atmosfer parametreleri ve ilgili elementlerin kimyasal bollukları, Prof. Dr. Christopher Sneden tarafından geliştirilmiş "MOOG" (Sneden 1973) adlı bilgisayar kodunun son versiyonunun "yarı-otomatik modu" kullanılarak hesaplanmıştır. Model atmosfer hesaplamaları için ATLAS9 (Castelli ve Kurucz 2003) yeni donukluk dağılım fonksiyonları ve konvektif sınır aşımı olmayan model gridleri kullanılmıştır.

Kimyasal element bollukları eşdeğer genişlik (EG) ve sentetik tayf karşılaştırma olarak iki yöntem ile belirlenmiştir. EG yöntemi tekil/karışmamış soğurma çizgileri (Si, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Co ve Ni) için kullanılırken sentetik analiz ise üst üste binmiş atomik ve/veya moleküler element çizgilerinin (Li, C, N, O, Na, Mg, Al, Sc, Mn, Cu, Zn, Y, La, Nd ve Eu) bolluklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. EG ölçümleri, Roederer vd. (2010) tarafından IDL programlama dilinde yazılmış olan yarı-otomatik 'EW.pro' kodu ile Gauss profili eşleştirmesi ile gerçekleştirilmiştir. Temel model atmosfer parametreleri (T_{eff} , $\log g$, $[M/H]$ ve v_t) Fe I, Fe II, Ti I ve Ti II elementlerinin EG ölçümleri kullanılarak MOOG analiz kodunun *abfind* alt paketi ile belirlenmiştir. Program model atmosfer parametrelerini nötr ve iyonize element bolluklarına göre iterasyonlar ile belirlemektedir. Bu nedenle iyi belirlenmiş başlangıç değerlerine ihtiyaç duyar. Giriş sıcaklık değerleri için (B-V) ve (V-K) renk (Ramirez ve Melendez 2005) ve de LDR (Line Depth Ratio, Gray ve Brown 2001) sıcaklıklarının ortalaması alınmıştır. Çekim ivmesinin başlangıç değeri için aşağıdaki formül

$$\log g^* = 0.4 (M_{V^*} + BC - M_{Bol\odot}) + \log g_{\odot} + 4 \log (T_{eff^*}/T_{eff\odot}) + \log (m^*/m_{\odot})$$

kullanılmıştır. Formülde kullanılan Güneş parametreleri; $M_{bol} = 4.75$, $\log g = 4.44$ ve $T_{eff} = 5777$ K'dir, bolometrik düzeltmeler için Torres (2010) çalışmasından yararlanılmıştır. NGC 6940 kümesinin uzaklık modülü ($(m-M)_0 = 10.1$) Kharchenko vd. 2005 çalışmasından Hyades kümesinin uzaklık modülü ($(m-M)_0 = 3.30$) Malysheva 1997 çalışmasından kullanılmıştır. Kızıllaşma değerleri ise NGC 6940 ($E(B-V) = 0.214$) ve Hyades ($E(B-V) = 0.01$) kümeleri için Loktin vd. 2001 çalışmasından alınmıştır. NGC 6940 küme üyesi KD yıldızlarının kütle değerleri için Yonsei-Yale izokronlarından hesaplanan dönme noktası kütlesi $2 M_{\odot}$ KD'leri için ise Weidemann vd. 1992 çalışmasında belirlenen $2.3 M_{\odot}$ değeri kullanılmıştır. Başlangıç metal bolluğu değeri Güneş bolluğunda varsayılmış, mikrotürbülans değeri ise dev yıldızlar için ortalama bir değer olan 1.2 km/s olarak kabul edilmiştir. Model atmosfer parametrelerinin belirsizlikleri; $\Delta T_{eff} \pm 100$ K, $\Delta \log g \pm 0.20$ dex, ve $\Delta v_t \pm 0.2$ km/s olarak hesaplanmıştır. $[M/H]$ değerlerindeki belirsizliklerin yıldızdan yıldıza değişimle birlikte genellikle ± 0.05 dex mertebesinde olduğu gözlenmiştir. Başlangıç parametreleri ve ölçülen EG değerleri ile iterasyonlar sonucunda hesaplanan model atmosferlerde nötr ve iyonize Fe ve Ti element bollukları birbirlerine çok yakındır. Ayrıca uyartılma potansiyeli (χ) ve indirgenmiş eşdeğer genişlik (RW) ile belirli bir eğim göstermezler. Çizelge 1'de hesaplanan fotometrik ve tayfsal model atmosferler yer almaktadır.



4. Kimyasal Bolluk Analizi

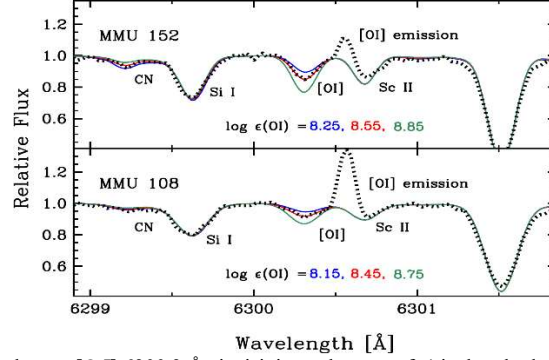
Kimyasal bollukları EG yöntemi ile ölçülen elementlerin bollukları model atmosfer hesaplaması ile eş zamanlı olarak MOOG programının yarı-otomatik versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Çok ince-yapı (hyperfine structure) gösteren (Sc, V, Co) ve başka bir atomik ve/veya moleküler çizgi ile karışmış olan elementlerin sentetik analizleri ise MOOG analiz kodunun *blends* ve *synth* alt programları ile gerçekleştirilmiştir. Yıldızların kimyasal element bollukları Güneş bollukları ile karşılaştırılarak fark bollukları incelenmiştir. Güneş bollukları Kurucz vd. (1984) tarafından elde edilmiş Güneş atlası kullanılarak, bu çalışmada incelenen yıldızlara uygulanan aynı yöntemlerle hesaplanmıştır.

Çizelge 1: Hesaplanan fotometrik ve tayfsal model atmosfer parametreleri.

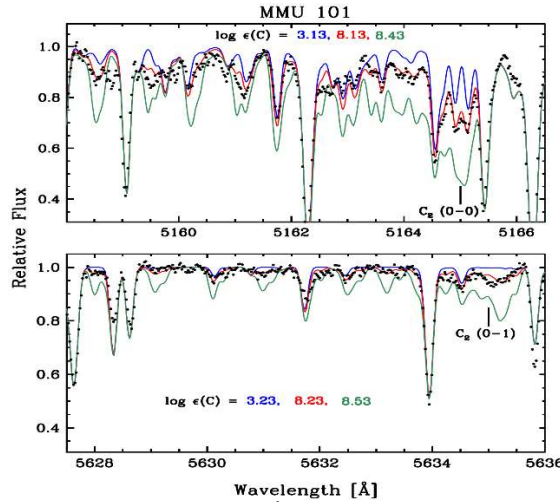
Yıldız	$T_{\text{eff,(B-V)}}$ (K)	$T_{\text{eff,(V-K)}}$ (K)	$T_{\text{eff,(LDR)}}$ (K)	$\log g_{\text{fız}}$ (cms^{-2})	$T_{\text{eff,tayf}}$ (K)	$\log g_{\text{tayf}}$ (cms^{-2})	$v_{t,\text{tayf}}$ (kms^{-1})	[M/H]
NGC 6940								
MMU 28	5008	5013	5027 ± 33	3.06	5024	2.89	1.03	-0.05
MMU 30	4724	4929	4954 ± 39	2.77	4959	2.85	1.32	-0.06
MMU 60	5030	5061	5028 ± 19	3.08	5046	2.97	0.97	-0.02
MMU 69	5030	5034	5004 ± 29	3.06	5004	2.90	1.05	-0.03
MMU 87	5097	5067	4999 ± 43	2.98	5023	2.85	1.07	0.03
MMU 101	5052	5125	5023 ± 22	2.98	5037	3.02	1.16	0.01
MMU 105	4800	4802	4867 ± 36	2.60	4765	2.34	1.35	-0.15
MMU 108	5191	5167	5109 ± 17	2.98	5132	2.80	1.28	-0.16
MMU 132	5052	5079	4976 ± 37	2.83	4962	2.65	1.29	-0.12
MMU 138	5097	5101	5024 ± 30	3.01	5056	3.00	1.10	0.00
MMU 139	5097	5072	5016 ± 28	3.01	5013	2.99	1.10	0.01
MMU 152	5097	5079	4960 ± 12	2.78	4933	2.66	1.36	-0.16
Hyades								
γ Tau	4852	4928	4942 ± 32	2.60	4945	2.78	1.42	-0.03
δ Tau	4872	4918	4962 ± 33	2.65	4878	2.57	1.34	-0.03
ϵ Tau	4812	4868	4921 ± 30	2.53	4870	2.67	1.46	-0.01
θ Tau	4956	4980	4941 ± 43	2.69	4961	3.00	1.28	0.01

Yıldız evriminin belirteçlerinden olan LiCNO element bollukları sentetik analiz yöntemi ile hesaplanmıştır. Kırılgan olarak tanımlanan Li element bollukları 6707.8 Å'da yer alan rezonans çizgisinden elde edilmiştir ve tüm KD'lerde farklı değerler vermektedir. CNO bollukları ard ardına çözüm yöntemi ile oksijen, karbon ve nitrojen sıralaması ile hesaplanmış bolluklar bir önceki analiz ile aynı olana kadar devam edilerek elde edilmiştir. HET tayflarının indirgenme aşamasında 6300.3 Å soğurma çizgisinin bitişiğinde [O I] atmosferik salması ile karşılaşılmıştır. Yıldızlara ilişkin [O I] çizgisinin yapısını bozmamak amacı ile bu salma tayftan ayıklanmamıştır. Şekil 1'de atmosferik salmadan en fazla ve en az etkilenen KD yıldızların 6300.3 Å [O I] analizleri verilmektedir. Karbon bollukları 5165 Å ve 5635 Å C₂ Swan modelkül bantlarından elde edilmiştir. 5165 Å bandı atomik soğurmalar ile karışmıştır, 5635 Å bandı daha zayıftır. Şekil 2'de NGC 6940

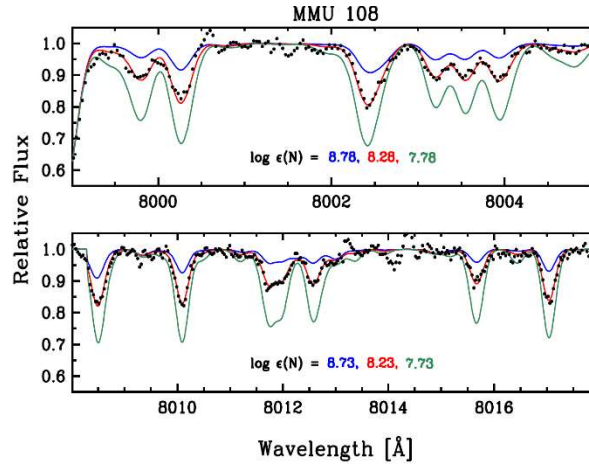
MMU 101 yıldızının Swan bölgelerinin sentetik analizi gösterilmektedir. Nitrojen bollukları 7995–8040 Å aralığındaki CN bantlarından bulunduğu bölgeden belirlenmiştir. KD yıldızların N bollukları bu aralıkta yer alan üç bölgeden hesaplanan bollukların aritmetik ortalamasıdır. Şekil 3’te en fazla N bolluklu ($[N/Fe] = +0.37$) NGC 6940 MMU 108 yıldızının sentetik tayf analizi gösterilmiştir. NGC 6940 kümesi için ortalama CNO bollukları sırasıyla $[C/Fe] = -0.32 \pm 0.07$, $[N/Fe] = +0.23 \pm 0.06$ ve $[O/Fe] = -0.15 \pm 0.06$ ’dır.



Şekil 1: MMU 152 ve MMU 108 yıldızlarının [O I] 6300.3 Å çizgisinin gözlenen tayfı (siyah noktalar) ile sentetik tayflarının karşılaştırılması. En iyi uyumu sağlayan ortadaki analizdir (kırmızı), en iyi bolluktan +0.3 dex (yeşil) ve -0.3 dex (mavi) uzakta olan analizler de noktalanmıştır. Bu üç sentetik analizin bolluk değerleri şekil içinde verilmektedir.

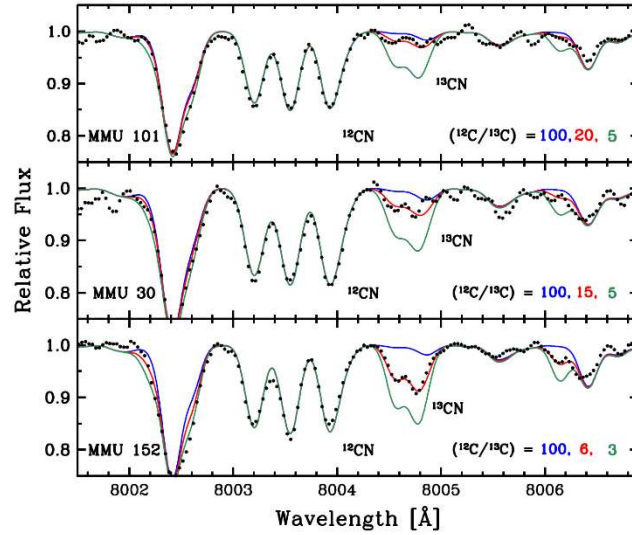


Şekil 2: MMU 101 yıldızının gözlenen tayfı ile üst panelde 5165 Å C₂(0-0) ve alt panelde C₂(0-1) bantlarının sentetik tayf analizleri ile karşılaştırması. Tüm sentetik analizlerin temsil ettiği bolluk değerleri panellerin içinde verilmiştir, en iyi uyumu sağlayan ortadaki analizdir (kırmızı).



Şekil 3: MMU 108 yıldızının gözlenen tayfı ile CN bantlarının sentetik tayf analizleri ile karşılaştırması. Üç sentetik analizin de temsil ettiği bolluk değerleri panellerin içinde verilmiştir, en iyi uyumu sağlayan ortadaki analizdir (kırmızı).

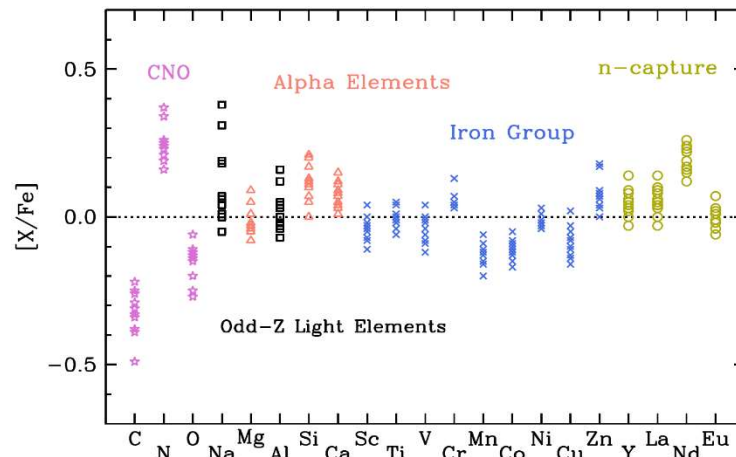
CNO bollukları belirlendikten sonra 8003.5 Å (^{12}C) ve 8004.6 Å (^{13}C) bantlarının oranlarından $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ değerleri elde edilmiştir. KD yıldızlardan yedi tanesinin izotop oranı 1. tırmıklamadan beklenen değer olan 20-25 aralığındadır, dördü $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 10-15$ değer aralığında yer alırken MMU 152 yıldızı en düşük izotop oranına sahiptir, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 6$. Bu değer Güneş metal bolluğundaki bir KD yıldız için oldukça sıra dışıdır. Şekil 4'te bu üç ayrı değeri temsil eden KD'lerin analizi verilmiştir.



Şekil 4: MMU 101 (üst panel), MMU 30 (orta panel) ve MMU 152 (alt panel) yıldızlarının gözlenen tayfları ile 8004 Å bölgesine uygulanan sentetik tayf analizlerinin karşılaştırması.

LiCNO bolluklarının yanı sıra α -elementlerinin bolluğu da yıldız evriminin en önemli belirteçlerinden birisidir. NGC 6940 küme üyesi KD yıldızlarının hesaplanan tüm α -elementleri hata sınırları içinde Güneş bolluğundadır ve dev yıldız olduklarını göstermektedir, $[\alpha/\text{Fe}] = \frac{1}{3}([\text{Mg}/\text{Fe}] + [\text{Si}/\text{Fe}] + [\text{Ca}/\text{Fe}]) = 0.06 \pm 0.07$.

Bu çalışmada ayrıca EG yada sentetik analiz yöntemleri ile hafif tek-atom numaralı (Na, Al), Fe-grubu (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn) ve de nötron-yakalama elementlerinin (La, Nd, Eu) bollukları elde edilmiştir. Şekil 5'te NGC 6940 üyesi 12 KD yıldızın 21 elementine ait Güneş bolluklarına göre hesaplanan fark bollukları noktalanmıştır.



Şekil 5: NGC 6940 üyesi 12 KD yıldızın hesaplanan $[X/\text{Fe}]$ değerleri.

5. Sonuçlar

-Bu projede, NGC 6940 küme üyesi 12 ve Hyades küme üyesi dört KD yıldızın yüksek-çözünürlüklü tayfları elde edilmiş ve bu yıldızların model atmosferleri (T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, v_t) ile seçilmiş bazı elementlerin kimyasal bollukları hesaplanmıştır. Yıldızların fark bolluklarını ($[X/\text{Fe}]$) hesaplamak için aynı yöntemler ile Güneş tayfı analiz edilmiştir. NGC 6940 kümesinin



XX. ULUSAL ASTRONOMİ KONGRESİ IX. ULUSAL ASTRONOMİ ÖĞRENCİ KONGRESİ

UAK
2016

hesaplanan ortalama metal bolluğu $[Fe/H] = 0.04 \pm 0.02$ 'dir. Yüksek çözünürlüklü tayflardan dikine hız ölçümü yapılmış ve literatürden alınan fotoğrafik parlaklıklara uygulanan Yonsei-Yale izokronları yardımı ile NGC 6940 kümesinin yaş ve dönme noktası kütlesi belirlenmiştir.

-NGC 6940 kümesi üyesi cüce ya da dev yıldızlarına ilişkin ilk geniş kapsamlı kimyasal bolluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı yöntemler ile analiz edilen Hyades küme üyesi dört KD yıldızın model atmosfer ve kimyasal bolluk sonuçları literature ile genel bir uyum içerisinde. Hyades devlerinin $^{12}C/^{13}C$ oranları yaklaşık 25'tir ve evrim belirteci diğer element bollukları da literatürde olduğu gibi ilk çıkış dev olduklarını göstermektedir. NGC 6940 KD yıldızların ise altı tanesi 20'den düşük izotop oranı göstermektedir (MMU 30, 69, 105, 138, 139 ve 152), dört tanesi Li göstermemektedir (MMU 30, 105, 108 ve 152). Tüm kimyasal analiz sonuçları özellikle LiCNO, $^{12}C/^{13}C$ oranı, $[N/C]$ ve Na bollukları Charbonnel ve Lagarde (2010) ve de Karakas ve Lattanzio (2014) çalışmalarındaki teorik tahminler ile değerlendirildiğinde bazı program yıldızlarının farklı miktar ve türlerde ekstra karışıma uğramış olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. NGC 6940 KD yıldızlarının salt parlaklık ve $(B-V)_0$ değerleri Cannon (1970) ve Kaempfer vd. (2005) çalışmalarının sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde muhtemelen He yakan Kırmızı Yatay Kol yıldızları oldukları sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın yöntem ve sonuçları daha kapsamlı bir şekilde Böcek Topcu vd. 2016'da yer almaktadır.

6. Kaynaklar

- Afşar, M., Sneden, C., For, B-Q. 2012, AJ, 144, 20
Böcek Topcu, G., Afşar, M., Sneden, C., 2016, MNRAS, 463, 580B
Cannon R. D., 1970, MNRAS, 150, 111
Castelli F., Kurucz R. L., in N. Piskunov, W.W. Weiss, D.F. Gray, eds, 2003, IAU Symposium, Vol. 210, p. 20P
Charbonnel C., 1994, A&A, 282, 811
Charbonnel C., Lagarde N., 2010, A&A, 522, A10
Day R. W., Lambert D. L., Sneden C., 1973, ApJ, 185, 213
Dearborn D. S. P., Eggleton P. P., Schramm D. N., 1976, ApJ, 203, 455
Gilroy K. K., 1989, ApJ, 347, 835
Gratton, R. G., Sneden, C., Carretta, E., and Bragaglia, A., 2000, A&A, 354, 169
Gratton, R., Sneden, C., and Carretta, E., 2004, A&A, 42, 385
Gray, D. F., Brown, K. 2001, PASP, 113, 723
Iben Jr. I., 1967, ApJ, 147, 624
Karakas A. I., Lattanzio J. C., 2014, PASA, 31, e030
Kaempfer T. A., de Boer K. S., Altmann M., 2005, A&A, 432, 879
Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röser S., Schilbach E., Scholz R. D., 2005, A&A, 438, 1163
Kurucz, R. L., Furenlid, I., Brault, J., & Testerman, L., 1984, Solar flux atlas from 296 to 1300 nm
Larsson-Leander G., 1964, ApJ, 140, 144
Luck R. E., 1994, ApJS, 91, 309
Loktin A. V., Gerasimenko T. P., Malysheva L. K., 2001, Astronomical and Astrophysical Transactions., 20, 607
Malysheva L. K., 1997, Astronomy Letters., 23, 585
Mermilliod J. C., Mayor M., Udry S., 2008, A&A, 485, 303
Pilachowski, C. A., Sneden, C., and Booth, J., 1993, AJ, 407, 699
Ramírez, I., Meléndez, J., 2005, ApJ, 626, 465
Roederer I. U., Sneden C., Thompson I. B., Preston G. W., Shectman S. A., 2010, ApJ, 711, 573
Shectman S. A., 2010, ApJ, 711, 573
Smiljanic R., Gauderon R., North P., Barbuy B., Charbonnel C., Mowlavi N., 2009, A&A, 502, 267
Sneden C., 1973, PhD (doktora tezi), 180S
Sneden C., Pilachowski C. A., 1986, ApJ, 301, 860
Sneden, C., Kraft, R. P., Langer, G. E., Prosser, C. F., and Shetrone, M. D., 1994, AJ, 107, 1773
Sneden, C., Kraft, R. P., Shetrone, M. D., Smith, G. H., Langer, G. E., and Prosser, C. F., 1997, AJ, 114, 1964
Tomkin J., Luck R. E., Lambert D. L., 1976, ApJ, 210, 694
Torres G., 2010, AJ, 140, 1158
Weidemann V., Jordan S., Iben Jr. I., Casertano S., 1992, AJ, 104, 1876