





Orion Yıldız Oluşum Bölgesindeki Bazı Erken B Türü Yıldızların Kimyasal Bollukları

Kübra Özge Ünal¹  , Aslı Elmaslı Akçar , Doğuş Özuyar , Şeyma Çalışkan Türksoy 

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

Accepted: March 19, 2023. Revised: December 20, 2022. Received: November 14, 2022.

Özet

Bu çalışmada Orion yıldız oluşum bölgesinde konumlanan ve literatürde detaylı kimyasal bolluk analizleri olmayan HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarının atmosferik kimyasal bileşimi incelendi. Yıldızların yüksek çözünürlüklü tayfları Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathane'sinde bulunan T80 – Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobu ile ve European Southern Observatory arşivinden elde edildi. Ayrıca, HD 43112 yıldızının düşük çözünürlüklü tayfı yine Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T40 – Kreiken Teleskobu ile alındı. Atmosfer parametrelerinin hesabında erken B türü yıldızlar için tasarlanmış olan TLUSTY model atmosfer kodu kullanıldı. Her bir yıldızın etkin sıcaklığı, yüzey çekim ivmesi, dönme ve mikrotürbülans hızlarının belirlenmesi için iyonize Si çizgileri dikkate alındı. HD 34989 ve HD 43112 yıldızlarının her iki gözlemeviden alınan tayflarından belirlenen atmosfer parametrelerinin uyumlu olduğu görüldü. Ayrıca, bu yıldızlar için yapılan kimyasal bolluk analizlerinin sonucunda hesaplanan element bolluklarının da birbirine yakın olduğu tespit edildi. Atmosfer parametreleri sırasıyla, HD 34989 için $T_{\text{et}}=27000\pm 1000$ K, $\log g=4.00\pm 0.25$ cm s^{-2} , $v \sin i=48\pm 2.17$ ve $\xi=1.50\pm 0.10$, HD 43112 için $T_{\text{et}}=27000\pm 1000$ K, $\log g=4.25\pm 0.25$ cm s^{-2} , $v \sin i=3\pm 0.50$ km s^{-1} ve $\xi=3\pm 0.58$ km s^{-1} ve HD 37481 için $T_{\text{et}}=23000\pm 1000$ K, $\log g=4.00\pm 0.25$ cm s^{-2} , $v \sin i=72\pm 5.00$ km s^{-1} ve $\xi=3.43\pm 0.40$ km s^{-1} olarak belirlendi. Yıldızların tayflarından tespit edilen elementlerin bolluk değerleri, sentetik tayf çıkartırma yöntemi ile hesaplandı. Analizler sonucunda hedef yıldızların görsel bölge tayfları üzerinden 13 elementin bolluk değerleri belirlendi. Her bir yıldızın atmosferinde bulunan He, C, N, O, Ne, Mg, Al, Si ve Fe elementlerinin bolluk değerlerinin birbirine göre "homojen bir dağılım" sergilediği görüldü. Ayrıca, He, C, N, O, Ne, Al, Si ve Fe bolluklarının Güneş değerlerine yakın olduğu tespit edildi. HD 34989 ve HD 43112 yıldızlarının tüm tayflarında fosfor elementinin bolluğunun Güneş'e göre 0.50 dex kadar daha fakir olduğu hesaplandı. Sadece HD 43112 yıldızının atmosferinde görülen argon elementinin bolluğunun ise Güneş'e göre 0.36 dex ($\log \epsilon=6.76\pm 0.16$) daha zengin olduğu belirlendi. Yıldız evrim modelleri ve eş yaş eğrileri kullanılarak, HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarının kütleleri ve yaşları, sırasıyla, öngörüldü: $M=10.97\pm 0.98 M_{\odot}$ ve $\tau=6.80\pm 0.60$ milyon yıl; $M=11.11\pm 0.42 M_{\odot}$ ve 6.30 ± 0.50 milyon yıl; $M=8.51\pm 0.32 M_{\odot}$ ve 6.90 ± 0.46 milyon yıl.

Abstract

In this study, the atmospheric chemical compositions of HD 34989, HD 37481 and HD 43112 located in the Orion star formation region and for which detailed chemical abundance analyzes are not available in the literature were investigated. The high-resolution spectra of these stars were obtained from the Ankara University Kreiken Observatory by using the T80 – Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Telescope and from the European Southern Observatory archives. Moreover, low-resolution spectra of HD 43112 were also observed with the T40 – Kreiken Telescope located at the Ankara University Kreiken Observatory. The model atmosphere code TLUSTY, designed for early B-type stars, was used to calculate the atmospheric parameters. Ionized Si lines were taken into account to estimate the effective temperature, surface gravity, rotational and microturbulence velocities of each star. The atmospheric parameters determined from the spectra of HD 34989 and HD 43112 stars taken from both observatories were compatible. In addition, it was found that the element abundances calculated as a result of the analyzes for these stars were close to each other. Atmospheric parameters were found as $T_{\text{et}}=27000\pm 1000$ K, $\log g=4.00\pm 0.25$ cm s^{-2} , $v \sin i=48\pm 2.17$ and $\xi=1.50\pm 0.10$, for HD 34989; as $T_{\text{et}}=27000\pm 1000$ K, $\log g=4.25\pm 0.25$ cm s^{-2} , $v \sin i=3\pm 0.50$ km s^{-1} and $\xi=3\pm 0.58$ km s^{-1} for HD 43112; as $T_{\text{et}}=23000\pm 1000$ K, $\log g=4.00\pm 0.25$ cm s^{-2} , $v \sin i=72\pm 5.00$ km s^{-1} and $\xi=3.43\pm 0.40$ km s^{-1} for HD 37481; respectively. The abundance values of the elements determined from the spectra of the stars were calculated with the synthetic spectrum fitting technique. 13 elements were detected on the visual region spectra of the target stars. The abundance analysis results of He, C, N, O, Ne, Mg, Al, Si, and Fe elements of each star indicated that the stars are chemically homogeneous. The abundance values of He, C, N, O, Ne, Mg, Al, Si, and Fe were found to be close to those of the Sun. The abundance of phosphorus in all of the spectra of HD 43112 and HD 34989 was calculated to be 0.50 dex underabundant. The abundance value of the argon element, which is only seen in the atmosphere of the star HD 43112, was determined to be 0.36 dex ($\log \epsilon=6.76\pm 0.16$) overabundant with respect to the Sun. By using stellar evolution models and isochrone curves, the masses and ages of stars HD 34989, HD 43112 and HD 37481 were predicted respectively: $M=10.97\pm 0.98 M_{\odot}$ and 6.80 ± 0.60 million years, $M=11.11\pm 0.42 M_{\odot}$ and 6.30 ± 0.50 million years; $M=8.51\pm 0.32 M_{\odot}$ and 6.90 ± 0.46 million years.

Anahtar Kelimeler: early B-type stars – star forming regions – chemical element abundance analysis

1 Giriş

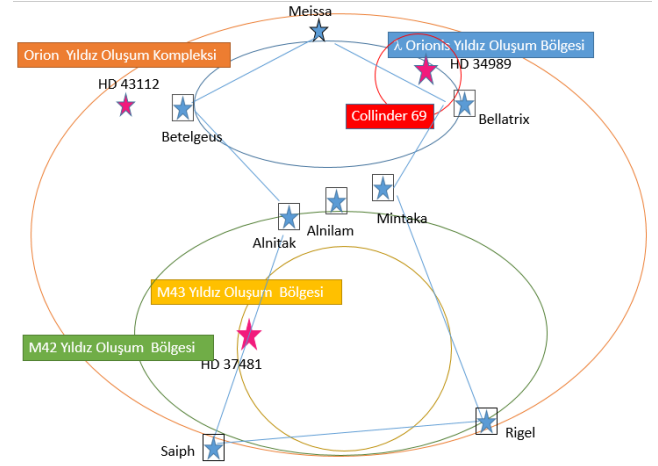
Samanyolu galaksisinde yer alan yıldız oluşum bölgelerine yönelik araştırmaların yapılması, erken yıldız evrim aşamalarının anlaşılması açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Yıldızlar, moleküler bulutların içinde oluşmaktadır. Bir moleküler bulutun başlangıç kimyasal bileşimi; çöken maddenin donukluğunu, yıldız oluşumu sırasında meydana gelen kimyasal süreçleri ve üst kütle sınırını etkilemektedir. Bu yüzden, başlangıç kimyasal bileşimden biridir. Nötr yıldızlararası ortamın var olmasına sebep olan kaynaklar, metalce fakir gazın çöküşü, yıldız rüzgârları veya süpernova patlamalarından ileri gelen metalce zengin ürünlerdir. Bu olgular başlangıçta var olan moleküler bulutun kimyasal bileşimini doğrudan etkilemektedir. Erken B türü genç yıldızların kimyasal bileşimleri, içinde buldukları nötr yıldızlararası ortamın aksine, onları çevreleyen gaz ve toz tanelerinin yapısından etkilenmemektedir. Bu yıldızlar doğduğu ortamın başlangıç kimyasal bileşimlerini koruyabilmelerinden dolayı yıldız oluşum bölgelerinin kimyasal yapısını araştırmak için ideal gök cisimleridir. Dahası, OB oymakları ve erken B türü genç yıldızlar büyük kütleli yıldızlardır. Bu yüzden evrim süreçlerini hızlı geçirirler ve bu sayede başlangıç kimyasal bileşimlerini korurlar. Böylece kendilerine göre daha soğuk, yaşlı, küçük ($M_* < 2 M_\odot$) ya da orta kütleli ($2 M_\odot < M_* < 8 M_\odot$) yıldızlar gibi karışım süreçlerinden etkilenmeden, bir tip II süpernovasına dönüşürler (Nieva & Przybilla 2012).

Samanyolu'nda bulunan Orion yıldız oluşum kompleksi OB oymaklarını, λ Orionis oluşum bölgesini ve dev moleküler bulutları içermektedir. OB oymaklarında bulunan yıldızların çoğu 12 milyon yıl yaşından daha genç ve $4 M_\odot$ 'den daha büyük kütleyle sahiptir (Brown ve diğ. 1995; Warren & Hesser 1977).

60 pc çaplı λ Orionis yıldız oluşum bölgesinin içinde yoğun moleküler gaz ve tozdan oluşan kabarcık yapısının merkezinde Collinder 69 açık kümesi konumlanmıştır. Her bir yıldızın ve Collinder 69 açık kümesinin Orion yıldız oluşum kompleksindeki konumları Şekil 1'de sunulmaktadır. Collinder 69 açık kümesinin 1137 (bkz. Simbad) tane üyesi bulunmaktadır. Bu üyeler arasında sadece 11 OB yıldızı olup, gökyüzünde 50 pc çaplı iyonizasyon alanını kapsamaktadır. Bunlardan en baskın olan ikisi aslında λ Ori ayrık sisteminin üyesi olan λ Ori A (O8III) ve λ Ori B (B0.5V) yıldızlarıdır. Bu iki yıldız, hem nötr hem de moleküler hidrojenle oluşan bir halkanın merkezinde bulunmaktadır. Lang ve diğ. (2000), λ Ori ayrık sisteminin oluşum senaryosu, λ Ori A ve λ Ori B'nin önlerinde bulunan yıldızlararası ortamın gazını süpürmeleri sonucunda bu yıldızların açığa çıktığını göstermektedir.

Orion yıldız oluşum kompleksinin içinde barınan en büyük moleküler bulutlardan ikisi Orion A ve Orion B'dir (diğer moleküler bulutlara örnek olarak M42, M43, λ Orionis, BN-KL bulutsusu, NG 1977, NGC 1981 bölgeleri verilebilir). Bu bölgelerde çeşitli yaşlarda birçok gömülü yıldız kümesi bulunmasının yanı sıra yeni yıldız oluşumu da halen devam etmektedir (örneğin Orion A'da yılda yaklaşık 70 yıldız oluştuğu düşünülmektedir (Genzel & Stutzki 1988)).

Bugüne kadar Orion kompleksinde patlayan süpernovaların sayısı oldukça tartışılan bir konudur. Bu bölgedeki süper kabarcık yapıları, burada gerçekleşen son süpernova patlamalarının bir ürünü olduğunu göstermektedir (Ochsendorf ve diğ. 2015; Brown ve diğ. 1995). Winkler & Reipurth (1992) göre, G203.2-12.3, Orion'da sınıflandırılan tek süpernova kalıntısıdır (muhtemelen milattan sonra 483



Şekil 1. Her bir yıldızın Orion yıldız oluşum kompleksindeki konumları.

tarhinde gözlenmiştir). Dolan & Mathieu (2001) göre, Orion kompleksinde, yıldız oluşum süreci merkez bölgede yaklaşık 810 milyon yıl önce başlamış ve o zamandan beri hızlanmıştır. Ardından 12 milyon yıl önce meydana gelen bir süpernova patlaması nedeniyle Orion bölgesinde yıldız oluşumunda ani bir düşüş gözlenmiştir (Bhat ve diğ. 2022; Bobylev & Bajkova 2009; Hoogerwerf ve diğ. 2001; Cunha & Smith 1996).

Orion kompleksindeki en büyük dağılıma olayının 6 milyon yıl önce meydana geldiği düşünülmektedir (Kounkel 2020; Grobschedl ve diğ. 2021). Dahası 1.12 milyon yıl önce λ Orionis yıldız oluşum bölgesinde bir süpernova patlaması gerçekleşmiştir (Bhat ve diğ. 2022; Bobylev & Bajkova 2009; Hoogerwerf ve diğ. 2001). Kos ve diğ. (2021) Orion kompleksi içinde yer alan yıldız kümelerinin üyelerinin Gaia (konum, özhareket ve paralaks) verileri yardımıyla 3D görüntüsünü oluşturmuştur. Sonuç olarak, Orion kompleksinin oluşum aşamasında ya hiç ya da çok az sayıda süpernova patlaması meydana geldiğini belirlemiştir. Bölgede bugün görünen gaz kabarcıkları aslında genç süpernova (yaklaşık 1 milyon yıl önce patlamış olan) kalıntılarıdır. Yine aynı bölgede yer alan yıldızların yaşlarının 5-7 milyon yıl olduğu dikkate alınırsa, bu yıldızların doğduğu ortamdaki kimyasal kompozisyona 1 milyon yıl önce patlamış olan süpernovanın herhangi bir katkısı olamaz. Yani, bu bölgede bulunan yıldızlar halen doğdukları ortamın kimyasal kompozisyonunu korumaktadır.

2 Hedef Yıldızlar

Hedef yıldızlar olan HD 34989 (B1V), HD 43112 (B1V), ve HD 37481 (B1.5IV) Orion yıldız oluşum kompleksi içinde yer alan erken B türü yıldızlar arasından seçilmiştir. Orion yıldız oluşum kompleksi, M43 yıldız oluşum bölgesi ile λ Orionis yıldız oluşum bölgelerini içermektedir. HD 34989, λ Orionis yıldız oluşum bölgesinin merkezinde bulunan Collinder 69 (Perryman ve diğ. 1997) açık kümesinin bir üyesidir. Kaçak (runaway) bir yıldız olan HD 43112 ise şu anda λ Orionis bölgesinde bulunmamasına rağmen, Bhat ve diğ. (2022), Bobylev & Bajkova (2009) ve Hoogerwerf ve diğ. (2001) tarafından kökeninin (doğduğu yerin) λ Orionis bölgesi olduğuna dair kanıtlar bulunmuştur. Bu çalışmalara göre HD 43112'nin yaklaşık 1 milyon yıl önce bir süpernova patlamasının yarattığı etki sonucunda λ Orionis bölgesinden kaçtığı belirtilmiştir.

Çizelge 1. Yıldızların gözlemsel özellikleri. Tüm V_r ve $v \sin i$ değerleri km s^{-1} biriminde verilmiştir.

ESO FEROS			
Yıldız Adı	V_r	$v \sin i$	S/G
HD 43112	36.07 ± 2.25	3 ± 0.58	355
HD 43112	36 ± 2.0	10.27 ± 1.61	253
HD 43112	27.5 ± 2.0	18.47 ± 2.22	245
AUKR T80			
Yıldız Adı	V_r	$v \sin i$	S/G
HD 34989	32.99 ± 3.2	48 ± 2.17	335
HD 34989	46.89 ± 2.52	17.6 ± 3.85	154
AUKR T40			
Yıldız Adı	V_r	$v \sin i$	S/G
HD 37481	30 ± 5.0	72 ± 5.0	338

HD 37481 yıldızı, M43 yıldız oluşum bölgesinin bir üyesidir. HD 34989 yıldızına ilişkin He, C, N, O, Mg, Al, Si, S ve Fe elementlerinin bolluk değerleri [Kaufer ve diğ. \(1994\)](#) tarafından ve He, C, N, O, Mg, Al ve Si elementlerinin bolluk değerleri ise [Gummersbach ve diğ. \(1998\)](#) tarafından hesaplanmıştır. [Kaufer ve diğ. \(1994\)](#) yaptığı çalışmada C, Al ve Fe elementlerinin bolluk değerlerini Güneş'e göre fakir bulurken diğer elementlerin bolluk değerlerini ise Güneş benzeri bulmuştur. [Gummersbach ve diğ. \(1998\)](#), tüm elementlerin bolluklarının Güneş bolluğuna yakın değerlere sahip olduğunu göstermiştir. HD 34989 ve HD 37481 yıldızları için [Simón-Díaz & Herrero \(2014\)](#) tarafından hesaplanan $v \sin i$ değerleri ise sırasıyla 48 km s^{-1} ve 74 km s^{-1} 'dir.

3 Gözlemler

Üç yıldızın 3800-7000 Å dalgaboyu aralığındaki yüksek çözünürlüklü (R~48000) echelle tayfları, European Southern Observatory (ESO)'de bulunan 2.2m teleskoba bağlı Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph (FEROS) [arşivinden](#) indirildi. Ayrıca HD 34989 ve HD 43112 yıldızlarının yüksek çözünürlüklü (R~30000) echelle tayfları Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathane'sinde (AUKR) bulunan T80 – Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobuna bağlı Shelyak tayfçakeriyle ve HD 43112 yıldızının düşük çözünürlüklü (R~16000) echelle tayfı ise T40 - Kreiken teleskobuna bağlı eShel tayfçakeri ile elde edildi. HD 34989 yıldızı 05/02/2011, HD 43112 yıldızı 5/11/2011 ve HD 37481 yıldızı ise 08/11/2011 tarihlerinde ESO'da gözlemlendi. Bununla beraber HD 34989 ve HD 43112, 29/10/2021 tarihinde AUKR'de T80 – Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobuna bağlı Shelyak tayfçakeriyle gözlemlendi. Ayrıca HD 43112 yıldızının 11/11/2019 tarihinde T40 - Kreiken teleskobuna bağlı eShel tayfçakeri ile de tayf verisi elde edildi. Tüm tayfların indirgemeleri bağlı buldukları tayfçekere özgü indirgeme kodlarıyla gerçekleştirildi. Bu indirgeme serisinde, dikine hız düzeltmesi, Güneş merkezine indirgeme ve tayf normalizasyonu yer almadığı için bu işlemler ayrıca gerçekleştirildi. Tayfların dikine hız düzeltmesi, yıldızların tayfında belirlenen soğurma çizgilerinin ve bu iyonlara karşılık gelen laboratuvar dalgaboyu değerlerinin belirlenip Doppler kayması formülüne uyarlanması sonucunda gerçekleştirildi.

Tayfların süreklilik seviyesi normalizasyonu işlemi de IRAF programı içindeki 'guiapps' paketinde yer alan 'spectool'

uygulanması ile 'spline' fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirildi. Yıldızların tayfına ilişkin bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

4 Yıldızların atmosfer parametreleri ve element bollukları.

Sıcak erken B türü yıldızların atmosfer parametreleri tayfsal yöntemlerle belirlenmektedir. Bunun için öncelikle erken B türü yıldızlar için tasarlanmış olan yerel termodinamik dengenin olmadığı (NLTE) TLUSTY model atmosfer kodu ([Lanz & Hubeny 2007](#); [Hubeny 1988](#)) kullanılarak atmosfer modelleri üretildi. Güneş bollukları [Asplund ve diğ. \(2009\)](#)'dan alındı.

Tüm yıldızların başlangıç atmosfer parametreleri hidrojen Balmer çizgilerine yapılan sentetik profil fiti ile belirlendi. Ayrıca bu türden yıldızların etkin sıcaklığını belirlemek için Si elementinin SiIII/IV ve/veya SiII/III iyonizasyon dengeleri karşılaştırılarak nihai atmosfer parametreleri belirlendi. Bu süreçte kullanılan sentetik model ile gözlemsel tayfin birbiriyle uyumu dikkate alındı. Bu esnada her bir yıldız için, 1000 K sıcaklık aralığıyla oluşturulan $15000 \text{ K} \leq T_{\text{et}} \leq 30000 \text{ K}$ etkin sıcaklıklarına sahip, yüzey çekim ivmesi $1.75 \leq \log g \leq 4.75$ değerleri için 0.25 dex aralık ile oluşturulan ve 2 km s^{-1} mikrotürbülans hızını dikkate alan model atmosferler kullanıldı. Bu bağlamda, Si çizgilerinin eşdeğer genişlik (EG) oranları (EG(SiIV $\lambda 4116$) / EG(SiIII $\lambda 4552$) ve/veya EG(SiII $\lambda 4128$) / EG(SiIII $\lambda 4552$)) geleneksel olarak sıcaklık (T_{et}) göstergeleri olarak kullanıldı ([Kilian 1992](#)). Bu çizgiler güçlü olması ve çizgi örtüşmesinin olmaması nedeniyle tercih edildi.

Literatürde erken B türü yıldızlar için mikrotürbülans hesaplarırken oksijen elementinin de kullanıldığı görüldü. Fakat oksijen çizgileri NLTE sürecinden etkilenmektedir. Dahası oksijen çizgileri ile hesaplanan mikrotürbülans hızı, Si elementinden hesaplanan mikrotürbülans hızına göre daha yüksek hız değerleri vermektedir ([Simón-Díaz 2010](#)). Dolayısıyla, erken B türü yıldızlarda mikrotürbülans, atmosfer parametresi ve elementlerin kimyasal bolluk değerini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeplerden ötürü, mikrotürbülans hızları oksijen çizgilerinden hesaplanamamaktadır. Si elementi ise NLTE etkilerinden etkilenmez ve bu nedenle T_{et} , yüzey çekim ivmesi ($\log g$), dönme hızı ($v \sin i$) ve mikrotürbülans (ϵ_{Si}) hızlarının hesaplamaları sırasında kullanılır.

İşlemler yapılırken T_{et} , $\log g$, ϵ_{Si} ve $v \sin i$ parametreleri aynı anda hesaplanmalıdır. İlk olarak, T_{et} ve $\log g$ için bir başlangıç değeri elde etmek adına Hidrojen Balmer çizgilerinin (H_{α} 6563 Å, H_{β} 4861 Å, H_{γ} 4341 Å, H_{δ} 4102 Å, H_{ϵ} 3970 Å, H_{ζ} 3889 Å ve H_{η} 3835 Å) kanatları kullanıldı. Hidrojen Balmer çizgilerinden elde edilen parametreler ile SiIII $\lambda 4552$ Å, $\lambda 4567$ Å ve $\lambda 4574$ Å çizgilerinden dönme hızı ve mikrotürbülans hızı hesaplandı ve SiIII çizgilerinden elde edilen değerlerin ortalama değerleri nihai dönme ve mikrotürbülans hızı olarak kabul edildi. En son adım olarak ise yukarıda bahsedilen Si çizgilerinden nihai sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerleri elde edildi. SiIII $\lambda 4552$ Å, $\lambda 4567$ Å ve $\lambda 4574$ Å dalgaboyundaki çizgilerden hesaplanan dönme hızlarının rastgele hata hesabı ile bir hata değeri elde edildi.

Şekil 2'de her bir yıldızın kimyasal bolluk analizi için uygulanan algoritma adımları sunulmaktadır. Şekil 3'de atmosfer parametreleri hesaplanan yıldızların hidrojen Balmer çizgilerinin ve Si çizgilerinin gözlemsel tayflar ile sentetik tayflarının profil fitleri verilmiştir. Ayrıca Çizelge 2'de ise yıldızların Si ve H_{γ} 4341 Å çizgisinden hesaplanan ve nihai olarak kabul edilen atmosfer parametreleri ve dönme hızı değerleri yer almaktadır.

Çizelge 2. Yıldızların atmosferik parametreleri ve dönme hızları.

Yıldız Adı	$S_{\text{IV-III}}$ T_{et} (K)	$S_{\text{III-II}}$ T_{et} (K)	H_{γ} T_{et} (K)
HD 43112	27000		27000
HD 34989	27000		27000
HD 37481		23000	23000

Nihai değerler					
Yıldız Adı	$\log g$ (cm s^{-2})	T_{et} (K)	$\log g$ (cm s^{-2})	ξ (km s^{-1})	$v \sin i$ (km s^{-1})
HD 43112	4.25	27000 ± 1000	4.25 ± 0.25	3.00 ± 0.58	3 ± 0.5
HD 34989	4.00	27000 ± 1000	4.00 ± 0.25	1.50 ± 0.10	46 ± 2.17
HD 37481	3.75	23000 ± 1000	3.75 ± 0.25	3.43 ± 0.40	72 ± 5

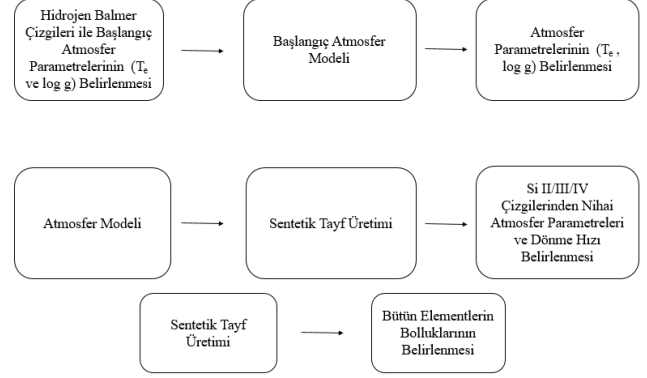
TLUSTY ile üretilen atmosfer modelleri oluşturulduktan sonra yıldızların kimyasal bolluk analizi yapıldı. Yıldızlar için kabul edilen etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerleri kullanılarak tayfın tüm dalgaboyu aralığını (3800-7000 Å) kapsayan kuramsal tayflar oluşturuldu. Ardından bu kuramsal tayfı oluşturan veri noktaları ile gözlenen tayfın veri noktalarının fark kareleri toplamı minimum değer olarak kabul edildi. Kuramsal tayfı oluşturmak için TLUSTY model atmosfer kodu ile uyumlu çalışan sentetik tayf üreten SYNSPEC kodu kullanıldı. SYNSPEC ile üretilen sentetik tayfı grafiğe aktarmak için UNIX/LINUX ortamında çalışan SYNPLLOT programı kullanıldı. Bu şekilde üretilen kuramsal tayf, yıldızın gözlemsel tayfında yer alan soğurma çizgileri ile karşılaştırıldı. En iyi uyumun gözlemlendiği kuramsal tayfın içerdiği element bolluk değerleri ise nihai değer olarak kabul edildi. HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarının atmosferinde tespit edilen HeI, CII/III, NII, OII, NeI/II, MgII, AlIII, SiII/III/IV, PIII, SII/III, ArII, CaI ve FeIII atom ve iyonlarının bollukları sentetik yöntem ile hesaplandı. Bu yüzden her bir yıldızın tayfında çizgi örtüşmesi gözlenmeyen ve çizgi profili temiz görünen bütün elementlerin bolluk değerleri hesaba katıldı.

Çizelge 3'de HD 37481, HD 34989 ve HD 43112 yıldızlarının elde edilen tayflarının element bolluk değerleri sunuldu. Çizelgede yer alan $\log \epsilon$, elementlerin logaritmik bolluk değeri; σ , standart hata değeri; $[X/H]$, elementlerin Güneş'e göre bolluk değeri; N , her bir yıldız için bolluk hesabı yapılan elementin sayısı ve $\log \epsilon_{\odot}$ ise Güneş'in bolluk değeridir. AUKR tayfçekerinin dalgaboyu aralığı 4100 Å ile 7500 Å arasındadır, bu tayflarda 3933 Å dalgaboyunda bulunan kalsiyum çizgisi görülememektedir.

5 Kimyasal Bolluk Değerlerinin Hata Hesaplamaları

Her bir atomik türün bolluk değerinin bünyesel hatası, ilgili atomik türün tüm çizgileri ile hesaplanan ortalama bolluk değerinin standart sapmasına eşittir. Bu çalışmada, hazır modeller kullanıldığı için sıcaklıktaki 1σ belirsizlik aralığı 1000 K ve yüzey çekim ivmesindeki 1σ belirsizliği de 0.25 dex olarak alındı. Mikrotürbülans hızındaki 1σ belirsizliğinde ise, iyonize Si çizgilerinin ionizasyon değerleri arasındaki korelasyonun sonucunda 1σ sapmayla elde edilen değer nihai hata aralık değeri olarak kabul edildi.

Yıldızların atmosferinde tespit edilen atom ve iyonların bolluk hataları hesaplanırken, hem iyonların osilatör şiddetlerinden ve gözlemsel veriye uygulanan normalizasyondan ileri gelen bünyesel hataları (Fossati ve diğ. 2009) hem de ölçüm

**Şekil 2.** Yıldızların kimyasal bolluk analizi boyunca izlenen adımların algoritması.

kaynaklı olan rastgele hataları dikkate alındı. Her bir atomik türün bolluk değerinin bünyesel hatası, ilgili atomik türün tüm çizgileri ile hesaplanan ortalama bolluk değerinin standart sapmasına eşittir. Atmosfer parametrelerinden kaynaklanan sistematik hataları ve elementlerin standart toplam hata değerleri aşağıdaki denklem ile sırasıyla hesaplandı:

$$\sigma_{\text{sis}} = [\sigma_{(T_{\text{et}})^2} + \sigma_{(\log g)^2} + \sigma_{(\epsilon)^2}] \quad (1)$$

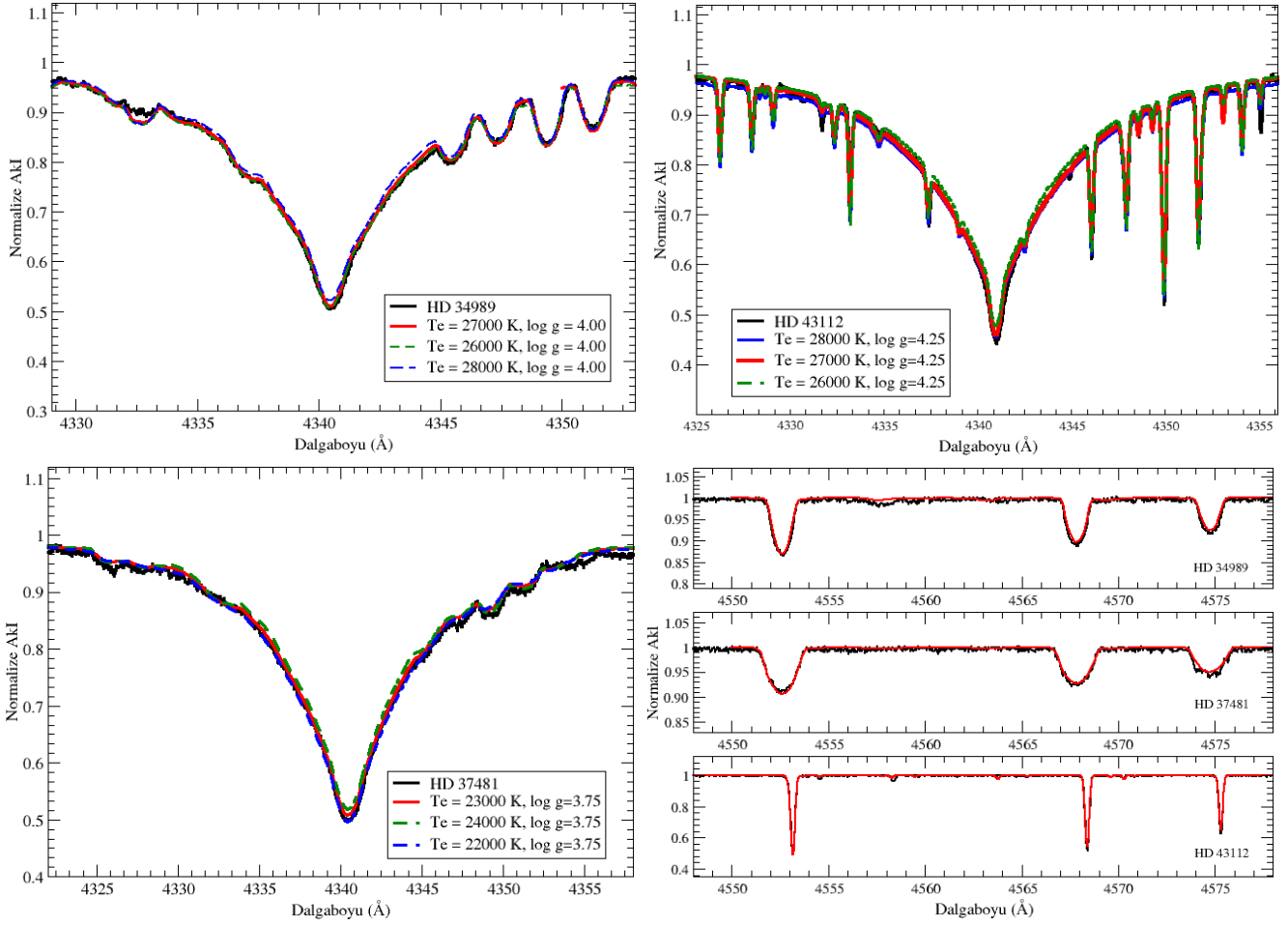
$$\sigma_{\text{top}} = \sqrt{\sigma_{(\text{sis})^2} + \sigma_{(\text{rast})^2}} \quad (2)$$

Yıldızların tayfında atomik türe ait sadece tek çizgi söz konusu ise onun hata değeri ise 0.10 dex olarak kabul edildi.

Dahası, bir yıldızın kimyasal homojenliğini belirleyebilmek için o yıldızın belirsizlik dahilindeki bolluğunun, her bir yıldızdan elde edilen ağırlıklı ortalama bolluğunu merkez alan ve yarı genişliği ise geleneksel olarak ağırlıklı ortalamadaki belirsizliğin üç katı (3σ) olarak kabul edilen bir metalik band içinde kalması gerekmektedir (Bubar & King 2010). Buna göre, HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarında bolluğu belirlenen her bir element için ortak bir bolluk aralığı belirlendi. Şekil 4'te, $[X/H]$ 'ye karşı T_{et} için bolluk bandı aralığının örnekleri verilmektedir. Siyah düz çizgi ağırlıklı bolluk ortalamasını $[X/H]$ verirken, siyah noktalı çizgiler bu ortalamadaki 3σ belirsizliğini, yani bolluk bandının aralığını vermektedir. Sonuç olarak, yıldız grup üyeleri "homojen bir dağılım" sergiliyorsa tüm üyelerin konumu (hataları ile birlikte) bu bolluk bandı aralığının içinde bulunmalıdır.

6 Yıldızların Evrim Durumları

Bir yıldızın H-R diyagramındaki konumunu o yıldızın etkin sıcaklık ve ışınım gücü değerleri belirlemektedir. Yıldızların etkin sıcaklık hesaplamaları Ş4'de sunuldu. Işınım gücünün elde edilmesi adına öncelikle görünen parlaklık (m_v), paralaks (π) ve renk artığı $E(B-V)$ kullanılarak mutlak parlaklık, M_v , hesaplandı. Ardından bolometrik düzeltme (BC) gerçekleştirildi ve bolometrik mutlak parlaklık değeri belirlendi. Bolometrik düzeltme için Nieva (2013) tarafından erken B tayf türü yıldızlar için oluşturulan düzeltmeden yararlanıldı. Böylece T_{et} ve ışınım gücü değerlerine göre yıldızların H-R diyagramındaki konumları belirlendi. Yıldızların H-R diyagramındaki konumları Şekil 5'da gösterilmektedir. Bu şekil üzerinden üç yıldızın da anakol evresinde olduğu görülmektedir. Yıldızların kütleleri ve yaşları Ekström ve diğ. (2012)'nin evrim modelleri ve eş yaş eğrileri yardımıyla belirlendi. Her bir yıldızın kütlesi, yaşı ve H-



Şekil 3. TLUSTY model atmosfer kodu ile H γ 4341 Å profil fiti: HD 34989 (üst sol panel), HD 43112 (üst sağ panel), HD 37481 (alt sol panel). (alt sağ panel) Her bir yıldızın için parametre hesabı sırasında dikkate alınan Si III çizgisi için λ 4552/4567/4574 Å dalgaboyunlarında bulunan profil fitleri.

R diyagramındaki konumunu belirlemek için hesaplanan mutlak parametreleri de Çizelge 4'te sunulmaktadır.

7 Tartışma

Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde konuşlanan T80 - Prof. Dr. Berahitdin Albayrak ve T40 - Kreiken Teleskoplarına bağlı bulunan tayfçekerler ile iki hedef yıldızın gözlemi gerçekleştirildi. AUKR verilerinin, ESO verileri ile uyumunu belirlemek için tüm tayfçekerlerden hesaplanan element bolluk değerlerinin karşılaştırması Şekil 6'da yapıldı. Şeklin üst panelinde, HD 34989 yıldızının ESO ve T80 verilerinin, azot elementi dışında, diğer tüm elementlerin hata sınırları içinde uyumlu olduğu görülmektedir. Şeklin orta panelinde ise HD 43112 yıldızının ESO, T80 ve T40 verilerinden hesaplanan bollukları görülmektedir. Burada, üç tayfçekerden hesaplanan bollukların uyumunu belirleyebilmek için Ş5'de anlatılan 3σ belirsizliği sadece Mg, Al, Si, ve Ar elementleri için hesaplanarak, band aralığı kesikli çizgiler ile Şekil 4 alt panelde gösterildi. Şekilde üç ayrı tayfçekerden elde edilen bolluk değerlerinin 3σ bandı içinde kaldığı görülmektedir.

Üç yıldızın ESO tayfçekerinin kimyasal element bolluk dağılım grafiği Şekil 6 alt panelinde verildi. HD 34989 ve HD 43112 yıldızları için O, Mg, Al, Si ve S elementlerinin Güneş'e göre bolluk değerleri mükemmel bir uyum gösterirken

C, N, Ne, P, ve Fe elementlerinin ise Güneş'e göre bolluk değerleri hata sınırları içinde uyumlu olduğu bu grafikte görülmektedir. Yine aynı panelde, HD 34989 ve HD 37481 yıldızları için He, N, ve Ne elementlerinin Güneş'e göre bolluk değerleri mükemmel bir uyum gösterirken C, O, Al, Si ve Fe'nin ise Güneş'e göre bolluk değerleri hata sınırları içinde uyumludur. Fakat bu iki yıldız için Mg, Al, Si, P, ve S bollukları maksimum 0.3 dex (magnezyum ve kükürte göre) kadar farklılık göstermektedir. Bu üç yıldızın kimyasal olarak homojen dağılıma sahip olup olmadığını belirlemek için Şekil 4'te (üst ve orta panel) elementlerin kimyasal bolluk band aralığı incelendi. Bu iki şekle göre, tüm yıldızların C, N, Ne, Mg, P ve Si bolluk değerlerinin hataları da dikkate alındığında homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. HD 43112 yıldızının O ve Fe, HD 37481 yıldızı için ise S ve Al elementleri diğer iki yıldız göre kimyasal bolluk band aralığının dışında kalmaktadır.

HD 34989 yıldızının P ve S dışındaki elementlerin bolluk değerleri, Güneş değerine göre ± 0.2 dex aralığından hesaplandığından, bu elementlerin bolluklarının Güneş benzeri olduğu söylenebilir. Bu yıldız için **Kaufer ve diğ. (1994)**'nin yaptığı bolluk çalışmasında C, Al ve Fe elementlerinin bolluk değerleri Güneş'e göre fakir bulunurken diğer elementlerin bolluk değerleri ise Güneş benzeri bulunmuştur. Dahası, HD 34989 yıldızının **Gummersbach ve diğ. (1998)**

Çizelge 3. HD 37481 (üst panel), HD 34989 (orta panel) ve HD 43112 (alt panel) yıldızlarının ESO ve AUKR gözlemlerinden elde edilen tayflarının element bolluğu karşılaştırması

ESO FEROS					
Tür	$\log \epsilon_{\odot}$	$\log \epsilon$	σ	[X/H]	N
He	10.93	10.95	0.09	0.016	15
C	8.43	8.41	0.06	-0.02	6
N	7.83	7.85	0.07	0.02	16
O	8.69	8.85	0.09	0.16	38
Ne	7.93	8.08	0.10	0.15	1
Mg	7.60	7.31	0.10	-0.29	1
Al	6.45	6.23	0.04	-0.22	7
Si	7.51	7.65	0.10	0.14	8
P	5.41	5.21	0.10	-0.22	1
S	7.12	7.17	0.08	0.05	4
Ar	6.40				
Ca	6.34				
Fe	7.50	7.58	0.10	0.08	9

ESO FEROS						AUKR T80			
Tür	$\log \epsilon_{\odot}$	$\log \epsilon$	σ	[X/H]	N	$\log \epsilon$	σ	[X/H]	N
He	10.93	10.96	0.06	0.03	14	10.96	0.09	0.03	7
C	8.43	8.48	0.14	0.05	12	8.41	0.08	-0.02	1
N	7.83	7.86	0.01	0.03	35	7.96	0.06	0.13	17
O	8.69	8.72	0.10	0.03	61	8.66	0.02	-0.03	29
Ne	7.93	8.08	0.03	0.15	4	-	-	-	-
Mg	7.60	7.60	0.10	0.00	1	7.70	0.10	0.10	1
Al	6.45	6.33	0.04	-0.13	5	6.35	0.09	-0.10	3
Si	7.51	7.45	0.10	-0.06	12	.51	0.05	0.00	7
P	5.41	4.96	0.15	-0.45	1	-	-	-	-
S	7.12	6.82	0.15	-0.30	2	6.82	0.15	-0.30	1
Ar	6.40	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	6.34	6.24	0.15	-0.10	1	-	-	-	-
Fe	7.50	7.65	0.13	0.15	12	7.59	0.06	0.09	10

ESO FEROS						AUKR T80				AUKR T40			
Tür	$\log \epsilon_{\odot}$	$\log \epsilon$	σ	[X/H]	N	$\log \epsilon$	σ	[X/H]	N	$\log \epsilon$	σ	[X/H]	N
He	10.93	11.06	0.03	0.13	12	10.98	0.05	0.05	6	10.96	0.02	0.03	7
C	8.43	8.36	0.09	-0.07	15	8.18	0.08	-0.25	3	8.41	0.15	-0.02	1
N	7.83	7.92	0.11	0.09	42	7.95	0.05	0.12	24	7.93	0.10	0.10	7
O	8.69	8.67	0.01	-0.02	115	8.62	0.03	-0.07	46	8.76	0.10	0.07	26
Ne	7.93	7.98	0.10	0.05	13	-	-	-	-	-	-	-	...
Mg	7.60	7.65	0.04	0.05	3	7.65	0.10	0.05	1	7.70	0.15	0.10	1
Al	6.45	6.32	0.08	-0.13	6	6.33	0.13	-0.12	3	6.27	0.15	-0.18	5
Si	7.51	7.45	0.14	-0.05	20	7.42	0.07	-0.09	7	7.51	0.10	0.00	7
P	5.41	5.09	0.06	-0.32	4	-	-	-	-	-	-	-	-
S	7.12	6.84	0.12	-0.28	4	6.94	0.14	-0.18	3	-	-	-	-
Ar	6.40	6.76	0.16	0.36	3	6.90	0.15	0.50	1	-	-	-	-
Ca	6.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	7.50	7.58	0.05	0.08	33	7.67	0.09	0.17	4	-	-	-	-

çalışmasındaki sonuçlarının, bu çalışma ile uyum gösterdiği görülmüştür.

HD 43112 yıldızının oldukça düşük bir dönme hızına sahip olması nedeniyle tayfindan argon bolluğu (+0.36 dex) hesaplanmıştır. Diğer iki yıldızın dönme hızları HD 43112'ye göre oldukça yüksektir. Böylece, HD 43112 yıldızının tayfinda argon çizgisi blend değil ve tek çizgi olarak görünürken diğer yıldızların tayfinda görünmemektedir.

λ Orionis bölgesinin üyesi olduğu bilinen HD 34989 yıldızının ve 1 milyon yıl önce bu bölgenin üyesi olduğu düşünülen HD 43112 yıldızının fosfor ve kükürt bolluk değerleri Güneş'e göre 0.30 dex daha fakirdir. HD 37481 yıldızının kükürt bolluğu ise Güneş benzeridir. Çizelge 5'de üç yıldızda

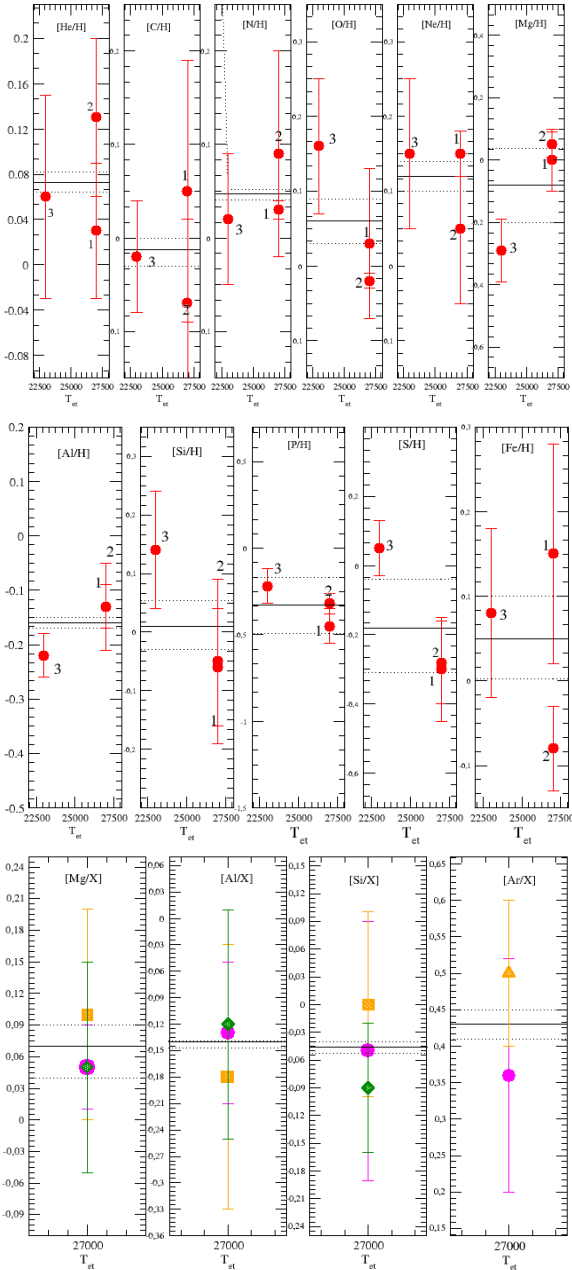
da hesaplanan fosfor, kükürt ve argon elementlerinin NIST (National Institute of Standards and Technology) **atomik veri tabanından** alınan laboratuvar dalgaboyu ve $\log gf$ osilatör şiddeti değerlerinin bir listesi sunulmaktadır. Ayrıca bu çalışmada, HD 34989 ($46 \pm 2.17 \text{ km s}^{-1}$) ve HD 37481 ($72 \pm 5.00 \text{ km s}^{-1}$) için hesaplanan $v \sin i$ değerleri **Simón-Díaz & Herrero (2014)** tarafından hesaplanan $v \sin i$ değerleri (HD 34989, 48 km s^{-1} ve HD 37481, 74 km s^{-1}) ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

8 Sonuç

Bu çalışmada, Orion yıldız oluşum kompleksi içinde yer alan yıldızların kimyasal element bolluk dağılımları araştırıldı.

Çizelge 4. H-R diyagramında yıldızların konumunu çizmek için kullanılan parametreler. Verilen referanslar: (a):Høg ve diğ. (2000), (b):Gaia Collaboration (2020), (c):Nieva (2013), (d):Melnik & Dambis (2020), (e):Ducati (2002), (f):Swihart ve diğ. (2017), (g):Kervella ve diğ. (2019).

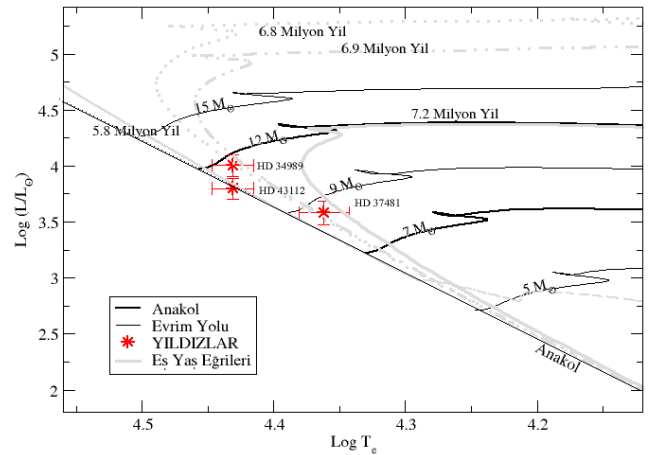
Yıldız Adı	m_v (kadir)	π^e (mas)	M_V (kadir)	$(B-V)$ (kadir)	A_V (kadir)	BC	$\log L$ (L_\odot)	$\log(T_{\text{et}})$ (K)	M (M_\odot)	yaş ($\times 10^6$ yıl)
HD 43112	5.89 (a)	2.56 ± 0.08 (b)	-2.087	0.000 (g)	0.000 (g)	-2.663 (c)	3.800 ± 0.093	4.431 ± 0.016	10.87 ± 1.54	5.8 ± 0.22
HD 34989	5.80 (e)	2.55 ± 0.16 (b)	-2.623	0.132 (f)	0.461 (f)	-2.663 (c)	4.003 ± 0.098	4.431 ± 0.016	10.97 ± 0.98	6.8 ± 0.60
HD 37481	5.95 (d)	2.74 ± 0.07 (b)	-3.517	0.032 (g)	0.166	-2.292 (c)	4.211 ± 0.107	4.361 ± 0.019	8.51 ± 0.32	6.9 ± 0.46



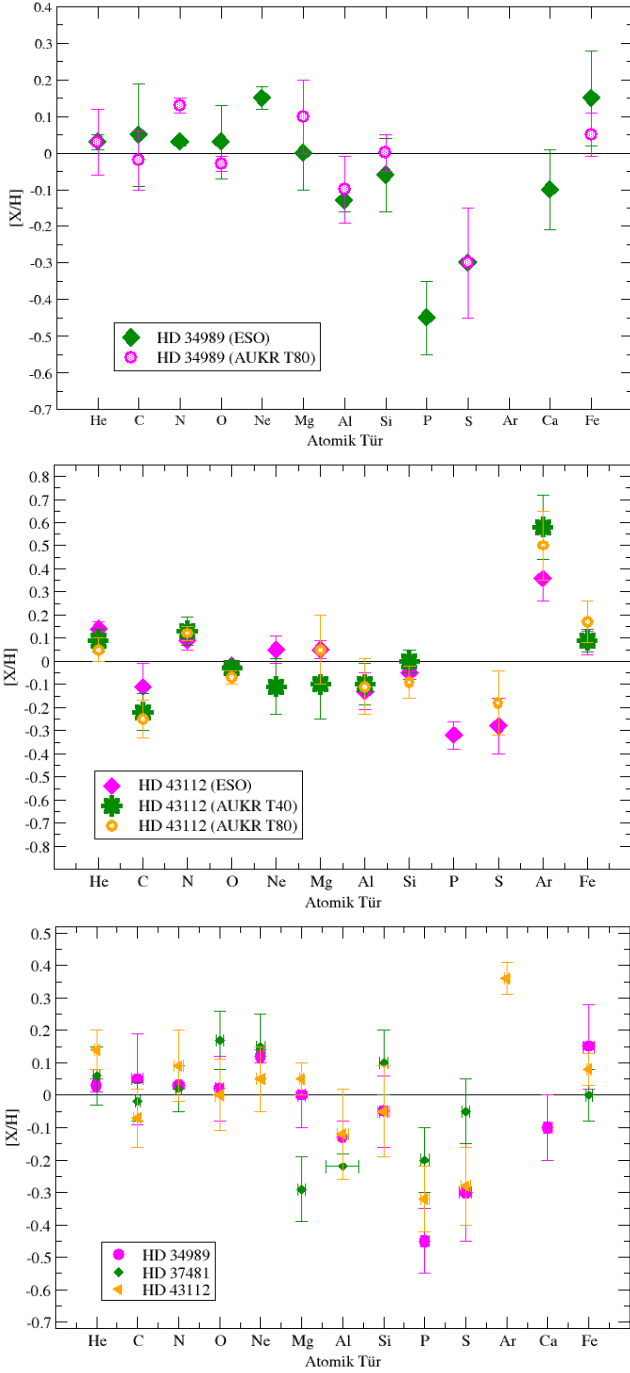
Şekil 4. Yıldızların (1: HD 34989, 2: HD 43112, 3: HD 37481) He, C, N, O, Ne, Mg (üst panel) Al, Si, P, S, Fe (orta panel) elementlerinin kimyasal bolluklarının hata sınırındaki dağılımı. (alt panel) HD 43112 yıldızının Mg, Al, Si ve Ar elementlerinin kimyasal bolluklarının hata sınırındaki dağılımı (pembe çember: ESO bolluk değerleri, yeşil elmas: AUKR - T80 bolluk değerleri ve turuncu kare : AUKR - T40 bolluk değerleri).

Çizelge 5. HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarının ESO tayf verileri ile elde edilen tayflardan bolluk değerleri hesaplanan fosfor, kükürt ve argon elementlerinin listesi

	Element	λ_{lab} (Å)	$\log gf$
HD 34989	P III	4222.195	0.210
	S III	4364.682	-0.805
	S III	4361.476	-0.606
HD 43112	P III	4059.312	-0.050
	P III	4080.084	-0.310
	P III	4222.195	0.210
	P III	4246.720	-0.120
	S III	3928.537	-0.294
	S III	3983.722	-0.590
	S III	3985.921	-0.856
	S III	4284.885	-0.233
	S III	4332.644	-0.564
	S III	4361.476	-0.606
	S III	4364.682	-0.805
	S II	5014.069	0.046
	S II	5432.815	0.205
	Ar II	4426.0008	0.158
Ar II	4806.0202	0.210	
HD 37481	P III	4222.195	0.210
	S III	4253.473	0.107
	S II	4294.398	0.580
	S II	5639.972	0.258
	S III	5647.033	0.021



Şekil 5. HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarının HR diyagramındaki konumları.



Şekil 6. HD 34989 (üst panel) ve HD 43112 (orta panel) yıldızlarından elde edilen tayfların kimyasal bolluk değerleri. (alt panel) Her bir yıldızın ESO arşivinden alınan tayflarının kimyasal bolluk değerleri.

HD 34989, HD 43112 ve HD 37481 yıldızlarının her iki gözlemevinden alınan tayflarıyla hesaplanan atmosfer parametrelerinin birebir uyum gösterdiği görüldü. HD 43112 yıldızının yaşı 5.8 milyon yıl olarak Şekil 5'da yer alan yaş eğrileri üzerinden belirlendi. Ayrıca, bu yıldızın λ Orionis bölgesinden yaklaşık 1 milyon yıl önce bir süpernova patlaması sonucunda kaçtığı (Bhat ve diğ. 2022; Bobylev & Bajkova 2009; Hoogerwerf ve diğ. 2001) bilinmektedir. Bu bilgiler

ışığında HD 34989 ve HD 43112'nin aynı bölgede doğduğu söylenebilir. Bu çalışmada, HD 34989 ve HD 43112 yıldızları için elde edilen bolluk değerlerinin (Şekil 4, üst ve orta panel; Şekil 6 alt panel) uyumu da bu iki yıldızın aynı kökenden geldiğine dair bir işarettir. Ayrıca, her üç yıldızın He, C, N, O, Ne, Al, Si ve Fe bolluklarının hata sınırları içerisinde homojen bir bolluk dağılımı sergilediği görülmüştür. Bu çalışmada incelenen yıldız sayısının az olması özellikle homojenliği belirleyen bolluk bandı aralığını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, Orion yıldız oluşum bölgesinde konumlanan daha fazla genç erken B türü yıldızların kimyasal bolluk analizlerinin gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Yazarlar, 3501-121F426 projesi aracılığıyla Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) desteğini kabul etmektedir. Yıldızların tayf verileri ESO arşivinden ve 23A.T80.02, 22C.T80.01, 22B.T80.01, 22A.T80.01, nolu projeler ile Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde bulunan T80 – Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobuna bağlı Shelyak tayfçeriyle ve 20A.T40.04 nolu proje ile de T40-Kreiken teleskobuna bağlı eShel tayfçeri ile elde edildi. Bu çalışmada aynı zamanda CDS, Strasbourg, Fransa'da işletilen SIMBAD veri tabanından ve NASA'nın Astrofizik Veri Sisteminden yararlanıldı.

Kaynaklar

- Asplund M., Grevesse N., Sauval A. J., Scott P., 2009, *ARA&A*, 47, 481
- Bhat A., Irrgang A., Heber U., 2022, *A&A*, 663, A39
- Bobylev V. V., Bajkova A. T., 2009, *Astronomy Letters*, 35, 396
- Brown A. G. A., Hartmann D., Burton W. B., 1995, *A&A*, 300, 903, *ADS*
- Bubar E. J., King J. R., 2010, *AJ*, 140, 293
- Cunha K., Smith V. V., 1996, *A&A*, 309, 892, *ADS*
- Dolan C. J., Mathieu R. D., 2001, *AJ*, 121, 2124
- Ducati J. R., 2002, *VizieR Online Data Catalog*, , *ADS*
- Ekström S., ve diğ., 2012, *A&A*, 537, A146
- Fossati L., Ryabchikova T., Bagnulo S., Alecian E., Grunhut J., Kochukhov O., Wade G., 2009, *A&A*, 503, 945
- Gaia Collaboration 2020, *VizieR Online Data Catalog*, p. I/350, *ADS*
- Genzel R., Stutzki J., 1988, *The Orion molecular cloud and star forming region*
- Großschedl J. E., Alves J., Meingast S., Herbst-Kiss G., 2021, *A&A*, 647, A91
- Gummersbach C. A., Kaufer A., Schaefer D. R., Szeifert T., Wolf B., 1998, *A&A*, 338, 881, *ADS*
- Høg E., ve diğ., 2000, *A&A*, 355, L27, *ADS*
- Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J., de Zeeuw P. T., 2001, *A&A*, 365, 49
- Hubeny I., 1988, *Computer Physics Communications*, 52, 103
- Kaufer A., Szeifert T., Krenzin R., Baschek B., Wolf B., 1994, *A&A*, 289, 740, *ADS*
- Kervella P., Arenou F., Mignard F., Thévenin F., 2019, *A&A*, 623, A72
- Kilian J., 1992, *A&A*, 262, 171, *ADS*
- Kos J., ve diğ., 2021, *MNRAS*, 506, 4232
- Kounkel M., 2020, *ApJ*, 902, 122
- Lang W. J., Masheder M. R. W., Dame T. M., Thaddeus P., 2000, *A&A*, 357, 1001, *ADS*
- Lanz T., Hubeny I., 2007, *ApJS*, 169, 83
- Melnik A. M., Dambis A. K., 2020, *MNRAS*, 493, 2339
- Nieva M. F., 2013, *A&A*, 550, A26
- Nieva M. F., Przybilla N., 2012, *A&A*, 539, A143

- Ochsendorf B. B., Brown A. G. A., Bally J., Tielens A. G. G. M., 2015, *ApJ*, 808, 111
- Perryman M. A. C., ve diğ., 1997, *A&A*, 323, L49, *ADS*
- Simón-Díaz S., 2010, *A&A*, 510, A22
- Simón-Díaz S., Herrero A., 2014, *A&A*, 562, A135
- Swihart S. J., Garcia E. V., Stassun K. G., van Belle G., Mutterspaugh M. W., Elias N., 2017, *AJ*, 153, 16
- Warren W. H. J., Hesser J. E., 1977, *ApJS*, 34, 115
- Winkler P. F., Reipurth B., 1992, *ApJ*, 389, L25

Access:

M23-0388: *Turkish J.A&A* — Vol.4, Issue 3.