





NGC 436 Açık Yıldız Kümesinin Fotometrik ve Tayfsal Analizi

Yonca Karaca¹ *, İnci Akkaya Oralhan¹ , Ahmet Dervişoğlu² ,
Cenk Kayhan¹ 

¹ Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Ana Bilim Dalı, 38039, Kayseri, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Ana Bilim Dalı, 25100, Erzurum, Türkiye

Accepted: January 23, 2023. Revised: January 14, 2023. Received: November 13, 2022.

Özet

Bu çalışmada, NGC 436 açık yıldız kümesindeki bazı üye yıldızlara ait LAMOST veri arşivinden orta çözünürlüklü mevcut tayf verileri kullanılarak bu yıldızlara ait radyal hız ve T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ gibi temel atmosferik parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tayf verilerinin analizinde Markov Chain Monte Carlo optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Yıldızların üyelik durumları Gaia EDR3 özhareket verileri kullanılarak denetlenmiştir. Kümenin Gaia verileri, San Pedro Martir Gözlemevi'nden alınan UBVRİ CCD gözlem verileri ile eşleştirilerek kümeye ait temel astrofiziksel parametreler bir çok filtrede incelenmiştir. Ayrıca küme üyesi olarak belirlenen yıldızların TESS verileri incelenerek otuz yakın sayıdaki yıldızın değişen olduğu tespit edilmiştir.

Abstract

In this study, we are aimed to determine the radial velocity and stellar atmospheric parameters such as T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ of some member stars of open star cluster NGC 436 by using their medium resolution spectral data from the LAMOST data archive. Markov Chain Monte Carlo optimization technique was used in the analysis of spectral data. The membership status of the stars were determined from the Gaia EDR3 proper motion data. The Gaia photometric data of the cluster members were used together with the UBVRİ CCD data from the San Pedro Martir Observatory, and the basic astrophysical parameters of the cluster were examined in many filters. In addition, by examining the TESS data of the member stars, about thirty variable stars were determined.

Anahtar Kelimeler: open cluster – photometry – spectrum – LAMOST – Gaia

1 Giriş

Açık Yıldız Kümeleri, galaktik düzleme doğru daha belirgin bir şekilde yoğunlaşmış, merkezi yoğunlaşması olmayan sistemlerdir. Galaktik düzlemde oldukları için tozun sönükleştirme etkisine çok fazla maruz kalırlar ve çok sayıda alan yıldızı arasında kolayca görülemezler. Gökadamızdaki açık kümelerin konumu nedeniyle küme üyesi yıldızları alan yıldızlarından ayırt etmek zordur. Bu nedenle üyelik belirleme, küme analizinin en önemli adımlarından biridir. İyi ve hassas bir analiz ile üyelik tespiti, küme için hesaplanacak diğer parametrelerin doğruluğunu da artırır. Gaia EDR3 (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics Data Release 3) verilerinin yayınlaması ile kümelere ait üyelerin tespiti daha hassas bir şekilde yapılabilmektedir. Gaia EDR3'ün yüksek hassasiyetli astrometrik ve fotometrik verileri, küme üyeliği tanımlamasına ve galaktik açık kümeler için daha doğru astrofiziksel parametrelere ulaşılmasına olanak tanır (Riello ve diğ. 2021).

Açık küme üyesi yıldızların çoğu düşük parlaklığa sahip olduğundan, tayf arşivlerinde bulunmaları zordur. İddialı bir tayfsal tarama projesi olan Large sky Area Multi-Object fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST, Cui ve diğ. 2012; Zhao ve diğ. 2012; Luo ve diğ. 2012), altıncı veri yayınında (DR6) yaklaşık 10 milyon tayf sağladı. LAMOST DR6, tayflar için düşük ve orta çözünürlük olmak üzere iki seçenek sunar. Bu

katalogdaki tayflar yıldızın koordinatlarına göre aranabildiği gibi seçilmiş bir merkezi koordinat etrafında sınırlandırılan bir alan içerisinde yer alan yıldızların tespit edilmesine ve tayflarına erişilmesine imkan vermektedir. LAMOST gibi orta veya düşük çözünürlükte daha fazla tayf içeren arşivlerde daha fazla küme üyesi yıldızlara erişileceğinden, küme üyesi yıldızların astrofiziksel parametrelerini belirlemede iyi bir kaynak olacaktır.

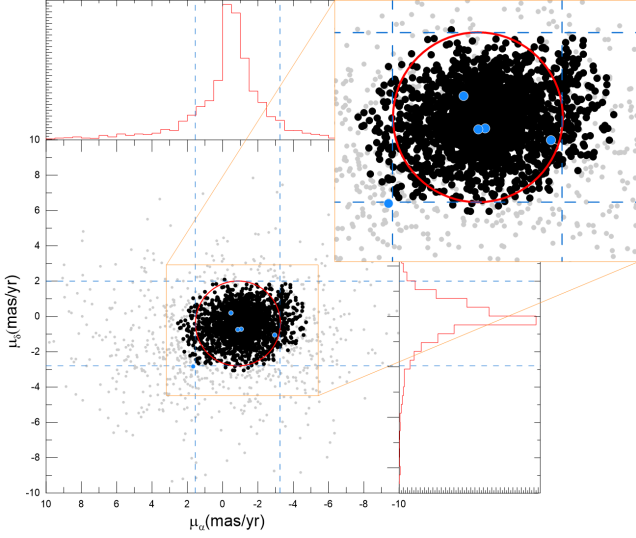
Bu çalışmada, Gaia EDR3 verileri ile San Pedro Martir Gözlemevi'nden alınan UBVRİ CCD ışıkölçüm verileri eşleştirilerek NGC 436 açık yıldız kümesinin üye yıldızları belirlenmiştir. Üye yıldızların tayfsal verileri LAMOST arşivinden alınmış ve atmosferik parametreleri belirlenmiştir. Tayf verilerine uygun olarak Markov Chain Monte Carlo (MCMC) optimizasyon tekniği kullanan bir kod sistemi geliştirilmiş ve analizlerimiz bu çerçevede yapılmıştır (Dervisoglu ve diğ. 2018). Bu çalışmada temel hedeflerimiz Gaia EDR3, UBVRİ ışıkölçüm ve LAMOST tayfsal verilerine dayalı NGC 436 açık yıldız kümesinin özelliklerini üretmek ve seçilmiş bazı küme üyelerinin tayfsal parametrelerini sağlamaktır.

2 Materyal ve Yöntem

2.1 Küme Seçimi ve Verilerin Elde Edilmesi

Çalışmada hangi kümenin seçileceğine dair yol gösterici olması bakımından, Galaksimiz içerisinde tespit edilmiş kümelere ait birçok bilgileri içeren WEBDA veri tabanı ile birlikte Kharchenko küme kataloğu Kharchenko ve diğ. (2005, 2009,

* k.yonca61@gmail.com



Şekil 1. NGC 436 için $\mu_\alpha - \mu_\delta$ özhareket dağılımı. Noktalar, 5' yarıçap için Gaia fotometrik verilerini, kırmızı çember olası küme üyelerini, siyah noktalar üye olasılığı $P > 0.7$ olan yıldızları, mavi noktalar tayfını incelediğimiz yıldızları temsil eder.

2013) kullanılmıştır. Böylelikle, analizlerde kullanılacak ve küme alanı içerisinde LAMOST tayf verisi olan yıldızlara ait bazı ön bilgilere (uzaklık, uzaklık modülü, renk artışı, kızarma, metal bolluğu, yaş, astrometri ve tayf türleri) ulaşılabilmektedir. NGC 436 açık yıldız kümesine ait Gaia EDR3 verilerinin yanı sıra Meksika UNAM'a bağlı Sierra San Pedro Martir (SPM) Gözlemevindeki 0.84 m'lik f/13 Ritchey-Chretien teleskobu ile yapılan gözlemler sonucu elde edilen UBVR CCD ışık ölçüm verileri de mevcuttur. Bu da her iki veri setinin eşleştirilmesi bakımından önemlidir.

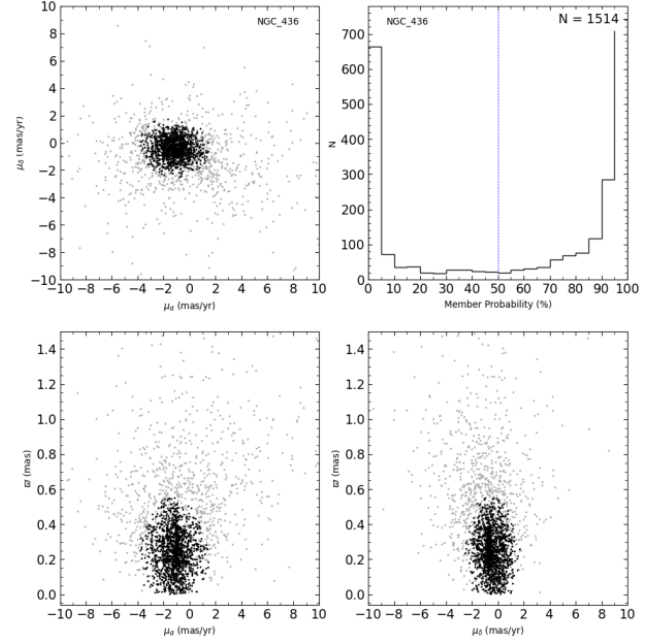
LAMOST DR6'dan kümenin merkezinden ($\alpha_{2000}: 01^h 15^m 58^s$, $\delta_{2000}: +58^\circ 48' 42''$) 5' yarıçaplı alan içerisindeki yıldızların orta çözünürlüklü ($R \sim 7500$) tayflarına ulaşılmıştır. Orta çözünürlüklü tayf için bir pozlama içinde iki farklı bant (mavi: B, kırmızı: R) tayfı elde edilmektedir. B ve R bandının dalga boyu aralıkları sırasıyla [4950 Å, 5350 Å] ve [6300 Å, 6800 Å]'dır.

2.2 Fotometrik Analiz

2.2.1 Üyelik

NGC 436 açık yıldız kümesi için G_{BP} , G_{RP} , G bantlarındaki Gaia arşivi görüntüleri incelenmiştir. Kümeye ait fotometrik veriler, özhareket verileri ile birlikte analiz edilmiş ve kümenin olası üye yıldızları belirlenmiştir. Kümenin sağaçıklık ve dikaçıklığa göre özhareket dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Burada küme merkezinden 5' yarıçaplı alan içindeki özhareket verileri kullanılmıştır. Bu yarıçap dışında kalan yıldızlar muhtemel alan yıldızlarıdır. Kırmızı çember, NGC 436 kümesi içinde benzer özhareket dağılımına sahip olası küme üyesi yıldızları temsil etmektedir. Siyah noktalar, aşağıda tarif edilen Gaussian Mixture Model (GMM) ile hesaplanan üyelik olasılıkları $P > 0.70$ olan yıldızları temsil etmektedir. Dağılımdaki mavi noktalar ise tayfını incelediğimiz yıldızlardır.

Küme üyelikleri belirlenirken Python'ın scikit-learn kütüphanesi (Pedregosa ve diğ. 2011)'den GaussianMixture (GM) fonksiyonu kullanılarak üyelik olasılığı (P) hesabı



Şekil 2. NGC 436 kümesinin GM uygulaması. Sağ üst panel, 1514 örnek yıldızda ait GMM üyelik olasılıklarının histogramıdır, sol üst panel " μ_α " ve " μ_δ ", sol alt panel " μ_α " ve " ω ", alt sağ panel, " μ_δ " ve " ω " özhareket dağılımlarıdır.

yapılmıştır. GMM, tüm örnekleme temsil edecek dağılımın, sonlu sayıda Gaussiyen dağılımlarının bir bileşkesi ile oluştuğu temel varsayımına dayanmaktadır. GMM temel olarak her bir veri noktasının kümenin merkezine ne kadar benzer olduğunu tanımlayan bir üyelik puanı atamaktadır (Gao 2018). Şekil 2, GM ile kümelerin üyelik hesaplamasından elde edilen grafikleri göstermektedir. Burada " μ_α " ve " μ_δ ", " μ_α " ve " ω ", " μ_δ " ve " ω " sırasıyla sağaçıklık ve dikaçıklık, sağaçıklık ve paralaks, dikaçıklık ve paralaks göre özhareket verileridir. Sağ üst panel, örnek grubu yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının sayıca dağılımını göstermektedir. Şekilde siyah noktalar olası $P > 0.70$ olan küme üyelerini temsil ederken, gri noktalar bu olasılık dışında kalan alan yıldızlarını temsil etmektedir.

2.2.2 Kızarma

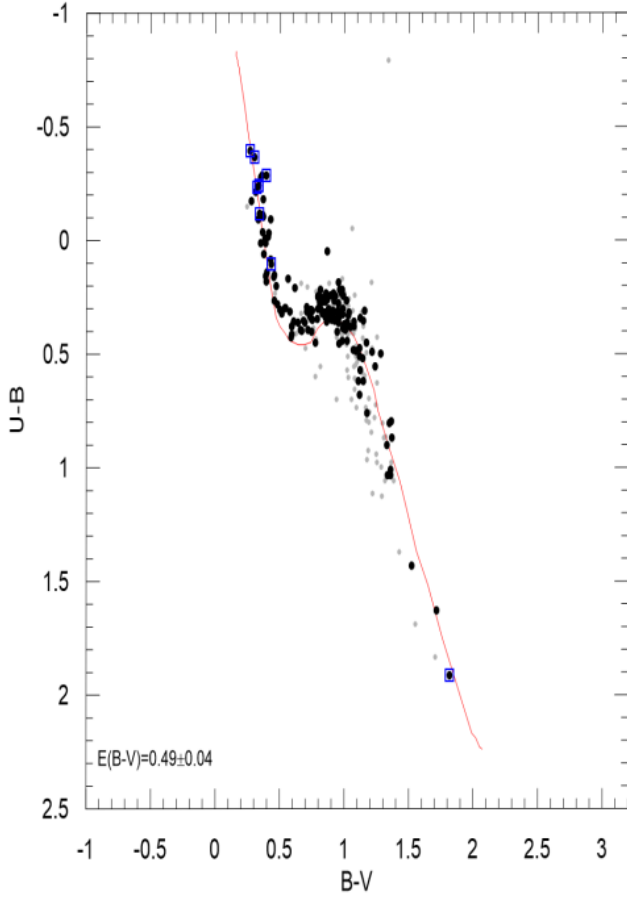
NGC 436 kümesinin $E(B-V)$ kızarma değeri, Şekil 3'deki $(U-B)$, $(B-V)$ renk-renk (CC) diyagramında $V < 15.5$ kadir ve $(U-B) < 0.2$ kadir olan 29 erken tip üyeden belirlenmiştir. $E(B-V)$ tayini için, kızarmalar $E(V-I)$, $E(V-J)$, $E(V-H)$ ve $E(V-K_s)$ Sung ve diğ. (2013) (S13) tarafından verilen erken tip yıldızların renk ilişkisi kullanılarak belirlenmiştir. Burada S13'ün renk artışı oranı

$$E(U-B) = 0.72 E(B-V) + 0.025 E(B-V)^2 \quad (1)$$

kabul edilmiştir. 29 erken tip üyeden ortalama kızarma $E(B-V) = 0.49 \pm 0.04$ olarak belirlenmiştir ve bu değeri dikkate alan Schmidt-Kaler (1982) (SK82) gözlemsel sıfır yaş anakolu (kırmızı eğri) renk renk diyagramına yerleştirilmiştir. 198 üyeden 148 üyenin UBVR verisi mevcuttur. Şekil 3'de mavi kare ile belirtilen sekiz üye, LAMOST verilerine sahip yıldızlardır. IJHK_s fotometrisi için $E(V-\lambda)$ renk artışı değerleri kullanılarak NGC 436 için elde edilen kızarma eğrileri Şekil

Çizelge 1. Dört renk indeksi cinsinden $E(V-\lambda)/E(B-V)$ oranları. R_V , dört rengin ağırlıklı ortalamasıdır. Burada λ parametresi I, J, H ve K_s filtrelerine karşılık gelmektedir. N ise küme yıldız sayısıdır.

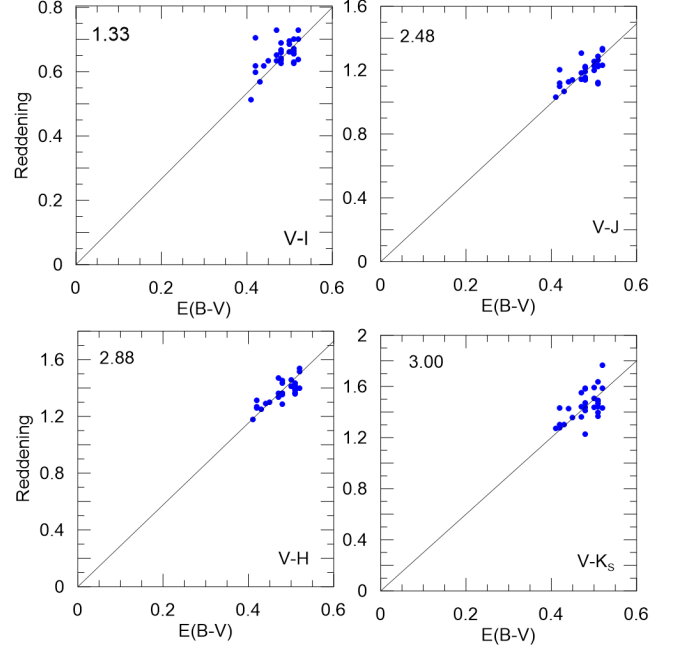
Renk	$E(V-\lambda)/E(B-V)$	N
$V-I$	1.33 ± 0.13	29
$V-J$	2.48 ± 0.21	29
$V-H$	2.88 ± 0.16	29
$V-K_s$	3.00 ± 0.30	29
$R_V = 3.31 \pm 0.05$		



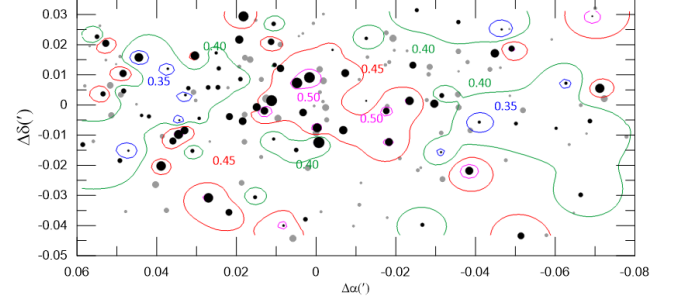
Şekil 3. NGC 436'nın 148 üyesi (siyah noktalar) için $(U-B)$, $(B-V)$ renk-renk diyagramı. Gri semboller, SPM gözlemevi UBV CCD gözlemlerinden elde edilen 119 yıldız karşılık gelmektedir. Kırmızı eğri, kızarmış SK82 ana kolunu göstermektedir.

4'de verilmiştir. Bu diyagramlarda 29 üyenin (mavi noktalar) gösterdikleri dağılım, beklenildiği gibi doğrusaldır.

Toplam-seçici soğurma oranı, $R_V = 3.31 \pm 0.05$ (Çizelge 1) olarak elde edilmiştir. Guetter & Vrba (1989)'a göre, optik-yakın kızılötesi renklerin renk artışı oranı, toplam-seçici soğurma oranıyla ilişkilidir. Şekil 5'de küme üyesi yıldızlara ait kızarma haritasından da görüldüğü gibi üye yıldızların kızarma değerleri yaklaşık 0.2 kadrlık bir farka sahiptir. Bu da küme alanı içerisinde kızarmada ciddi bir değişimin olmadığını göstermektedir.



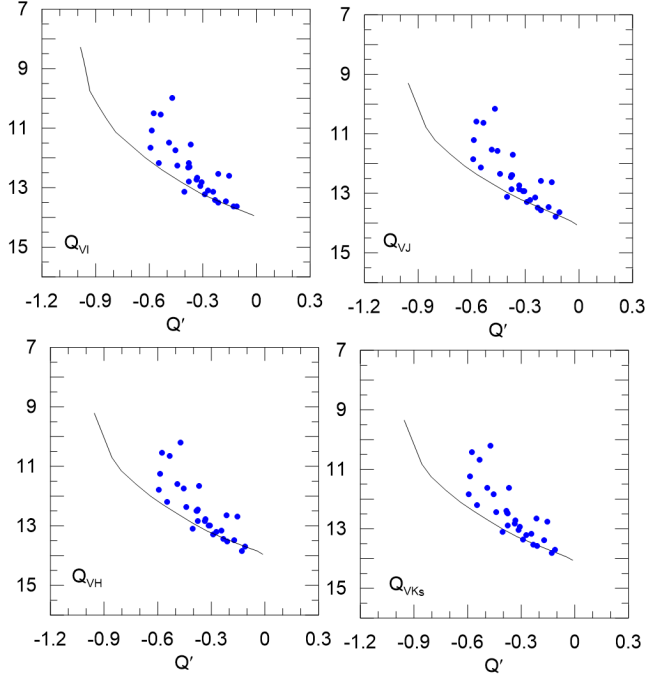
Şekil 4. $E(V-\lambda)$ ve $E(B-V)$ ilişkileri. λ , I, J, H, K_s fotometrisini belirtir. Sürekli çizgi, $R_V = 3.31$ toplam seçici soğurma oranını temsil etmektedir. I, J, H, K_s verilerinden elde edilen renk artışı oranları NGC 436 doğrultusu boyunca beklenen kızarma yasası ile uyumludur.



Şekil 5. NGC 436'nın kızarma haritası.

2.2.3 Uzaklık

NGC 436'nın uzaklık modülü/uzaklığı, kızarmadan arındırılmış renk-kadir diyagramları yerine, kızarmadan bağımsız ZAMS fit yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Sung ve diğ. 2013). Bunun için 29 erken tip yıldızın $UBVRIJK_s$ fotometrisi kullanılmıştır. Buna göre, 29 erken tip üye yıldız için, kızarmadan bağımsız Q' , Q_{VI} , Q_{VI} , Q_{VI} ve Q_{KS} değerleri kullanılarak Şekil 6'daki $Q_{V\lambda} - Q'$ grafikleri oluşturulmuştur. Şekildeki düz çizgiler, S13'ün üyelerle uyumlu ZAMS ilişkisini gösterir. Bu yöntemde Lim ve diğ. (2014) tarafından önerildiği gibi, evrim etkilerinden kaçınmak için Sıfır Yaş Anakolu (ZAMS), anakol (MS) bandının alt sınırına yerleştirilmelidir. Bu yüzden ZAMS çizgisi şekilde anakol bandının alt sınırına uyulanmıştır. Dört renk indeksinden uzaklık modülü $(V_0 - M_V) = 12.45 \pm 0.12$ kadir olarak belirlenmiş ve buna karşılık gelen uzaklık değeri 3.10 ± 0.18 kpc olarak hesaplanmıştır. Ortalama Gaia EDR3 paralaksı $\varpi = 0.281 \pm 0.016$ mas olup karşılık geldiği uzaklık modülü değeri $(V_0 - M_V) = 12.76 \pm 0.20$ kadir ve uzaklık değeri



Şekil 6. NGC 436'nın uzaklık modülünün belirlenmesi için $Q_{V\lambda}$ 'ye karşı Q' diyagramları. Mavi noktalar 29 erken tip üyeyi temsil eder. λ , IJHK_S filtrelerini gösterir. Kızarmadan bağımsız $Q_{V\lambda}-Q'$ diyagramının MS bandının alt sınırına uygun bir ZAMS fit edilmiştir. S13'ün ZAMS ilişkisi, 12.45 ± 0.12 kadar kaydırıldıktan sonra belirlenen uzaklık modülü ile kümeye olan uzaklık hesaplanmıştır.

$d = 3.56 \pm 0.35$ kpc'dir. Bulunan iki uzaklık değeri de hata payları içerisinde birbiri ile uyumludur.

2.2.4 Yaş

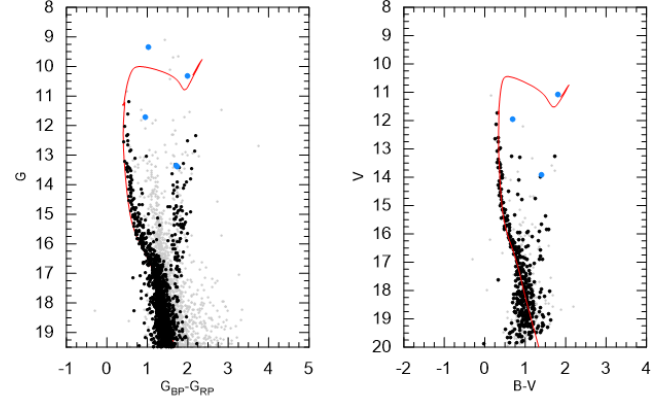
Şekil 7'de görüldüğü gibi NGC 436 kümesinin yaşını belirlemek için üye yıldızlar için Gaia verilerinden oluşturulan $G-(G_{BP}-G_{RP})$ ve UBVR CCD ışıkölçüm verilerinden oluşturulan $V-(B-V)$ renk-kadir diyagramları kullanılmıştır. Burada yaş belirleme, teorik eşyaş çizgilerinin gözlemsel verilere uygun bir çakıştırması yapılarak kızarma doğrultusu boyunca kaydırılmasından elde edilmiştir. Teorik eşyaş çizgileri için, güneş bolluğunda $Z = 0.015$, PARSEC eşyaş çizgileri kullanılmıştır (Bressan ve diğ. 2012). Her bir filtrenin renk artıklarını hesaplamak için kullanılan katsayılar, Gaia EDR3 filtrelerinden elde edilen renkler için $A_G/A_V = 0.8592$ ve $E(G_{BP}-G_{RP}) = (B-V)/0.775$ dönüşümünden faydalanılarak hesaplanmıştır. Şekilde $P > 0.7$ için $G-(G_{BP}-G_{RP})$ ve $V-(B-V)$ renk-kadir diyagramı diyagramları verilmektedir. Her iki diyagram için siyah noktalar $P > 0.7$ olan yıldızları, gri noktalar üye olmayan yıldızları temsil etmektedir. Kızarmadan bağımsız elde ettiğimiz uzaklık modülü kullanarak her iki veri setinden elde edilen parametreler Çizelge 2'de görüldüğü gibi uyum içerisinde.

2.2.5 TESS Gözlemleri

NGC 436 (TIC 332045772) Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS, Ricker ve diğ. 2014, 2015) tarafından da gözlenmiştir. Veriler, Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) veritabanından indirilmiştir. NGC

Çizelge 2. NGC 436 açık yıldız kümesinin Gaia ve UBVR CCD ışıkölçüm verilerinden elde edilmiş parametreleri.

Diyagram	Z_{\odot}	$\log(A)$	$V-M_V$	Kızarma
$G-(G_{BP}-G_{RP})$	0.015	7.90	12.45	$E(G_{BP}-G_{RP})=0.63$
$V-(B-V)$	0.015	7.80	12.45	$(B-V)=0.49$



Şekil 7. NGC 436 açık yıldız kümesi $P > 0.7$ için $G-(G_{BP}-G_{RP})$ (sol panel), $V-(B-V)$ (sağ panel) renk-kadir diyagramları. Siyah noktalar üye olasılığı $P > 0.7$ olan yıldızları, mavi noktalar LAMOST tayfını incelediğimiz yıldızları temsil eder.

436'nın TESS tarafından elde edilen Full-Frame Image (FFI) verileri analiz edilmiştir. NGC 436 yıldızları için yalnızca her 30 dakikada bir toplanan uzun kadans verileri mevcuttur. Kadansları nedeniyle veriler kesin dönem analizine izin vermemektedir.

FFI'lerden NGC 436 yıldızlarının ışık eğrilerini elde etmek için LIGHTKURVE (Lightkurve Collaboration ve diğ. 2018) yazılımı kullanılmıştır. FFI'leri kesmek ve yakındaki yıldızlardan gelen kirliliği ortadan kaldırmak için TESScut yazılımı da kullanılmıştır. Hedef parlaklığına bağlı olarak farklı boyutta hedef ve arka plan açıklıkları seçilmiştir. Arka plan ve diğer ışık katkılarını kaldırarak, üye olasılıklarına $P > 0.70$ ile karar verilen her üye yıldızın ışıkölçüm verisi yeniden üretilmiştir. TESS (1 TESS pikseli = ~ 21 yay saniyesi, Ricker ve diğ. 2015) tarafından çözümlenen bu yıldızların toplam sayısı 220'dir. Şekil 8'de bu yıldızlar için çizilen bir HR diyagramı görülmektedir. Bu yıldızların arasında ~ 30 adet değişen yıldız tespit edilmiştir.

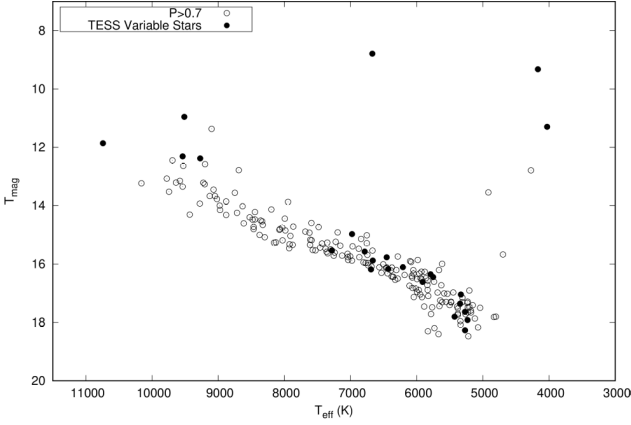
2.3 Tayfsal Analiz

Bu bölümde, açık yıldız kümesi NGC 436'nın tayf verilerinin ön analizleri ve küme üyesi 5 yıldızın atmosferik parametrelerinin hesabı sunulmaktadır. Tayf analizlerinin detayları Karaca ve diğ. (2023) yer almaktadır.

2.3.1 Verilerin Elde Edilmesi

NGC 436 açık yıldız kümesi üyesi yıldızların tayfsal analizinde, küme merkezinden $5'$ yarıçaplı alan içindeki yıldızların orta çözünürlüklü ($R \sim 7500$) LAMOST tayfları taranmıştır. İlk olarak, daha gerçekçi yıldız parametreleri elde etmek için yıldız tayfları aşağıdaki parametre sınırlamasına göre seçilmiştir (Xiang ve diğ. 2021):

- $4000 < T_{\text{eff}} < 8000$



Şekil 8. NGC 436 üyelerinin TESS parlaklıkları ile oluşturulan HR diyagramı. İçi boş ve dolu daire sembolleri sırasıyla, üye olasılığı $P > 0.7$ olan yıldızları ve TESS tarafından tespit edilen değişen yıldızları temsil etmektedir. T_{mag} , TESS'in parlaklığıdır ve yıldızların T_{eff} değerleri, TESS Giriş Kataloğundan alınmıştır (TIC, [Stassun ve diğ., 2019](#)).

- b. $0.5 < \log g < 5.5$
- c. $-2.5 < [Fe/H] < 1.0$

Daha sonra B ve R bantlarında ortalama $S/N < 20$ olan tayflar elenmiştir. Çizelge 3, seçilen yıldızlar için LAMOST tarafından sağlanan bilgileri içermektedir.

2.3.2 Veri Ön İşleme

Tayflar sürekliliğe normalize edilmiştir. Sürekliliği elde etmek için mavi (3900-6000 Å) ve kırmızı bölge (5900-9000 Å) tayfları, *iSpec* içindeki *spline* görevi kullanılarak uyumlanmıştır. Şablon eşleştirme, sürekliliğe normalize edilmiş tayflar kullanılarak gerçekleştirilmiştir ([Blanco-Cuaresma ve diğ., 2014](#); [Blanco-Cuaresma 2019](#)) *iSpec*, çapraz korelasyon tekniği uygulanarak yıldızın radyal hızını üretmek için kullanılacak farklı tayf türleri için çeşitli gözlemsel ve sentetik tayflar ve şablonlar içermektedir ([Allende Prieto 2007](#)).

Şablon tayfın radyal hız yoğunluk profili, yıldız parametrelerinin önceden var olan bilgilerine veya bazı tahminlere dayalı olarak üretilmiştir. Daha sonra tayfa radyal hız düzeltmesi uygulanmıştır. Küme üyesi seçilen beş yıldız için B ve R dalgaboyu aralıklarındaki orta çözünürlüklü tayflarına birer örnek (normalizasyon öncesi ve sonrası) Şekil 9'da verilmiştir.

2.3.3 MCMC Optimizasyon Tekniği

Çalışmanın temel amacı, LAMOST tayflarını kullanarak küme üyesi yıldızların tayfsal parametrelerini elde etmektir. Markov Chain Monte Carlo (MCMC) optimizasyon tekniği, optimum parametreler üzerindeki belirsizlikleri dikkate aldığı için atmosferik parametreleri belirlemek için tercih edilmiştir ([MacKay 2003](#)). MCMC'nin amacı, verilen bir olasılık dağılımından örnekler üretmek ve bu dağılım altındaki fonksiyonların beklentilerini tahmin etmektir.

MCMC optimizasyonu öncelikle başlangıç parametrelerine ihtiyaç duymaktadır. Bu parametreler, yıldızın özelliklerine bağlı olarak bazı tahminlere veya literatürde mevcut olan bilgilere dayanmaktadır. Program, başlangıç değerlerini belirli yönlerde

Çizelge 3. NGC 436 kümesi üyesi seçilen beş yıldızın bazı LAMOST arşiv bilgileri. Burada Obs ID, RA, DEC, SNR sırasıyla gözlem kimliği, sağaçlık, dikaçıklık, sinyal-gürültü oranıdır. P, GMM yöntemine göre üye olasılığını temsil etmektedir.

Yıldız	Obs ID	RA	DEC	SNR	P(%)
BD+58 206	591615004	18.9909	58.7992	170	93
BD+58 204	591515004	19.0807	58.7797	324	92
CI*NGC436BOD48	595415006	18.9556	58.8622	30	86
CI*NGC436BOD19	595515009	18.9446	58.7860	30	62
CI*NGC436BOD59	595415009	18.9663	58.8011	84	60

değiştirerek gözlemlerle en iyi uyumu sağlayan bir modele karşılık gelen T_{eff} , $\log(g)$ ve $[Fe/H]$, v_{mic} , v_{sini} , Doppler kayması (*dopp*) parametrelerini belirlemektedir. Şekil 10, örnek olarak seçilmiş bir yıldızın (CI*NGC436BOD48) MCMC optimizasyonu sonucunda elde edilen parametrelerinin, hata paylarıyla birlikte posterior olasılık dağılımını göstermektedir.

2.3.4 Sonuç Parametreleri

LAMOST'un mavi (3900-6000 Å) ve kırmızı (5900-9000 Å) bölge tayfları eş-zamanlı olarak ATLAS9 ([Castelli & Kurucz 2001](#)) model atmosfer tayfları ile uyumlanmıştır. Bu uyumlama sırasında MCMC optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Şekil 10'da en iyi uyumu sağlayan modele ilişkin her bir parametrenin posterior olasılık dağılımı görülmektedir. Şekil 11'de ise en iyi model tayf ile gözlenen tayfların uyumu görülmektedir. Bu analiz sonucunda elde edilen en iyi modellere ait atmosferik parametreler Çizelge 4'de yer almaktadır.

3 Sonuçlar

NGC 436 açık yıldız kümesinin, hem Gaia hemde SPM gözleminde elde edilmiş CCD UBVR fotometrik verileri kullanılarak detaylı fotometrik analizi gerçekleştirilmiştir. GMM yöntemi ile 1514 yıldızın %70'den büyük olasılıkla küme üyesi olduğu saptanmıştır. Kümeye ait kızarma, yaş ve uzaklık bilgileri elde edilmiştir (Çizelge 2). NGC 436 açık yıldız kümesine ait seçilmiş 5 üye yıldızın orta çözünürlüklü LAMOST arşiv tayfları incelenmiştir. Yıldızların temel astrofizik parametreleri, ATLAS9 model atmosfer tayflarının MCMC optimizasyon tekniği ile gözlenmiş tayflara uyumlanması sonucu elde edilmiştir (Çizelge 4). Ayrıca NGC 436, üyelikleri doğrulanan küme yıldızlarının TESS fotometrik verileri incelenerek 29 adet değişen yıldız belirlenmiştir. Bu yıldızların güncel parametrelerinin belirlenmesi, gelecekte yapacağımız bir çalışmanın konusu olacaktır.

Teşekkür

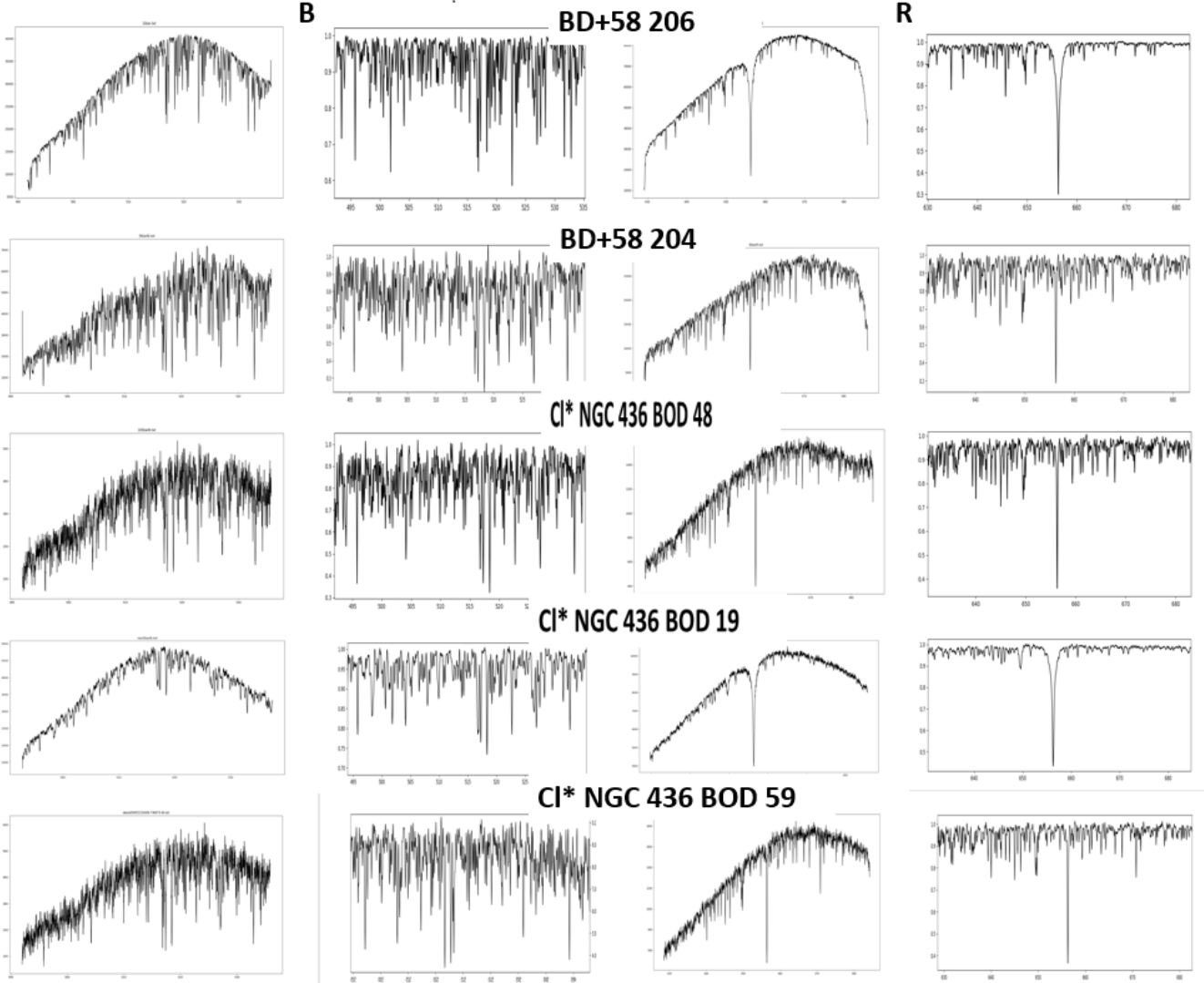
Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi BAP tarafından FDK-2021-11208 proje numarası ile desteklenmektedir..

Kaynaklar

- Allende Prieto C., 2007, The Astronomical Journal, 134, 1843
- Blanco-Cuaresma S., 2019, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 486, 2075
- Blanco-Cuaresma S., Soubiran C., Heiter U., Jofré P., 2014, Astronomy and Astrophysics, 569, 14
- Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Dal Cero C., Rubele S., Nanni A., 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427, 127

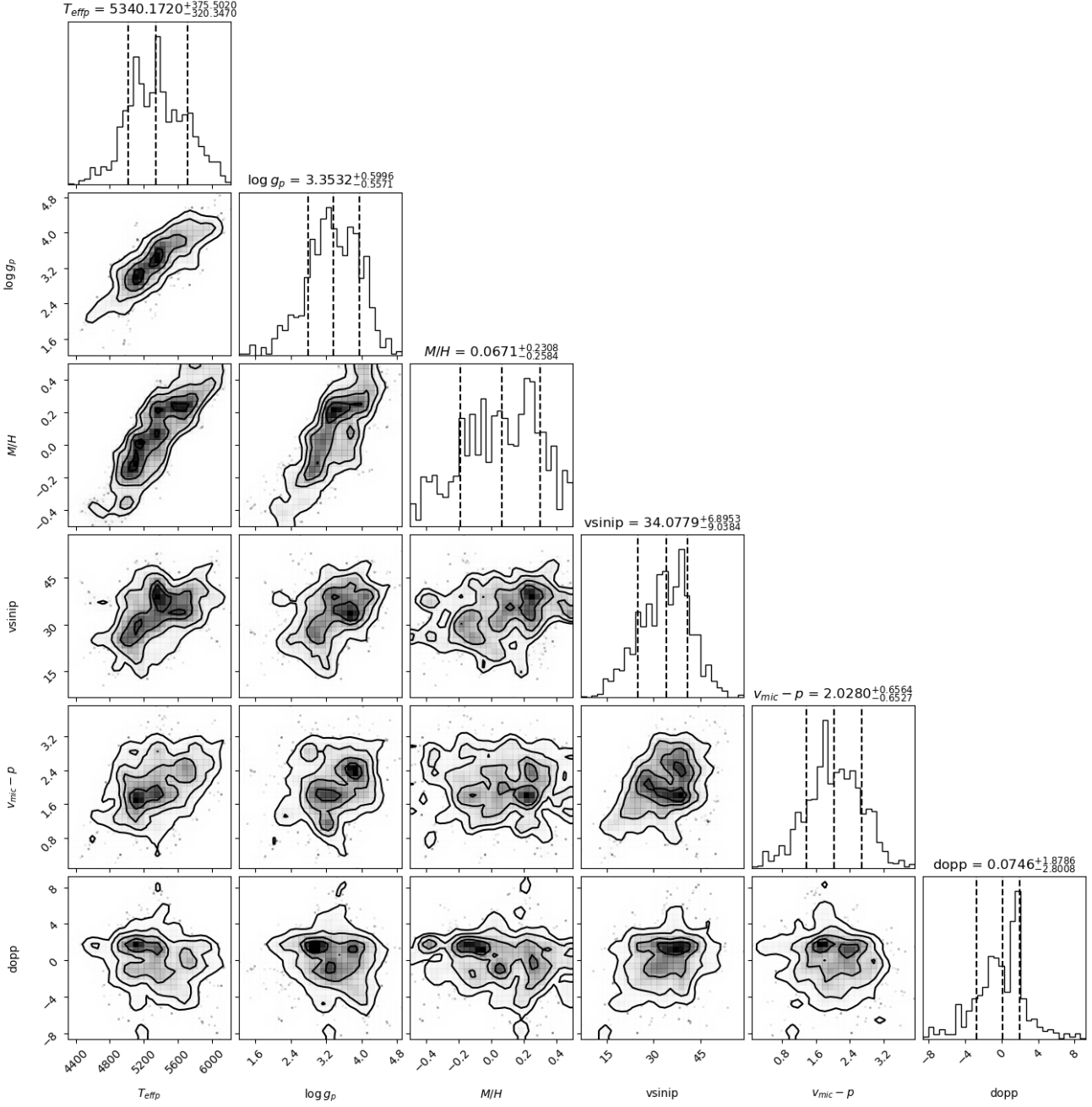
Çizelge 4. NGC 436 kümesi üyesi beş yıldızın hesaplanan atmosferik parametreleri. *dopp*: Doppler Kayması.

Yıldız	T_{eff} (K)	$\log g$	[M/H]	$v_{\text{sin}i}$ (km ⁻¹)	v_{mic} (km ⁻¹)	<i>dopp</i>
BD+58 206	7227.07±293.07	3.04±0.64	0.09±0.17	20.52±0.91	2.36±0.67	5.66±2.6
BD+58 204	4628.33±75.88	2.61±0.25	-0.19±0.08	19.99±1.40	2.07±0.27	2.29±1.48
CI*NGC436 BOD 48	5340.17±347.92	3.35±0.57	0.07±0.24	34.07±5.96	2.02±0.65	3.56±1.33
CI*NGC436 BOD 19	6745.16±271.88	3.92±0.55	-0.27±0.18	28.41±5.30	1.70±0.63	2.42±1.58
CI*NGC436 BOD 59	5349.42±376.23	3.70±0.69	-0.25±0.23	24.30±3.25	1.95±0.56	7.78±2.11

**Şekil 9.** NGC 436 küme üyesi yıldızların B (sol panel) ve R (sağ panel) bantlarındaki LAMOST tayfları ve normalize edilmiş tayfları. Yatay eksen dalga boyunu, dikey eksen ise akıyı temsil etmektedir.

Castelli F., Kurucz R., 2001, *Astronomy and Astrophysics*, 372, 260
 Cui X. Q., ve diğ., 2012, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 1197
 Dervisoglu A., Pavlovski K., Lehmann H., Southworth J., Bewsher D., 2018, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 481, 5660–5674
 Gao X., 2018, *The Astronomical Journal*, 156:121, 13
 Guetter H., Vrba F., 1989, *The Astronomical Journal*, 98, 611
 Karaca Y., Akkaya Oralhan I., Dervişoğlu A., Kayhan C., 2023, (hazırlık aşamasında)

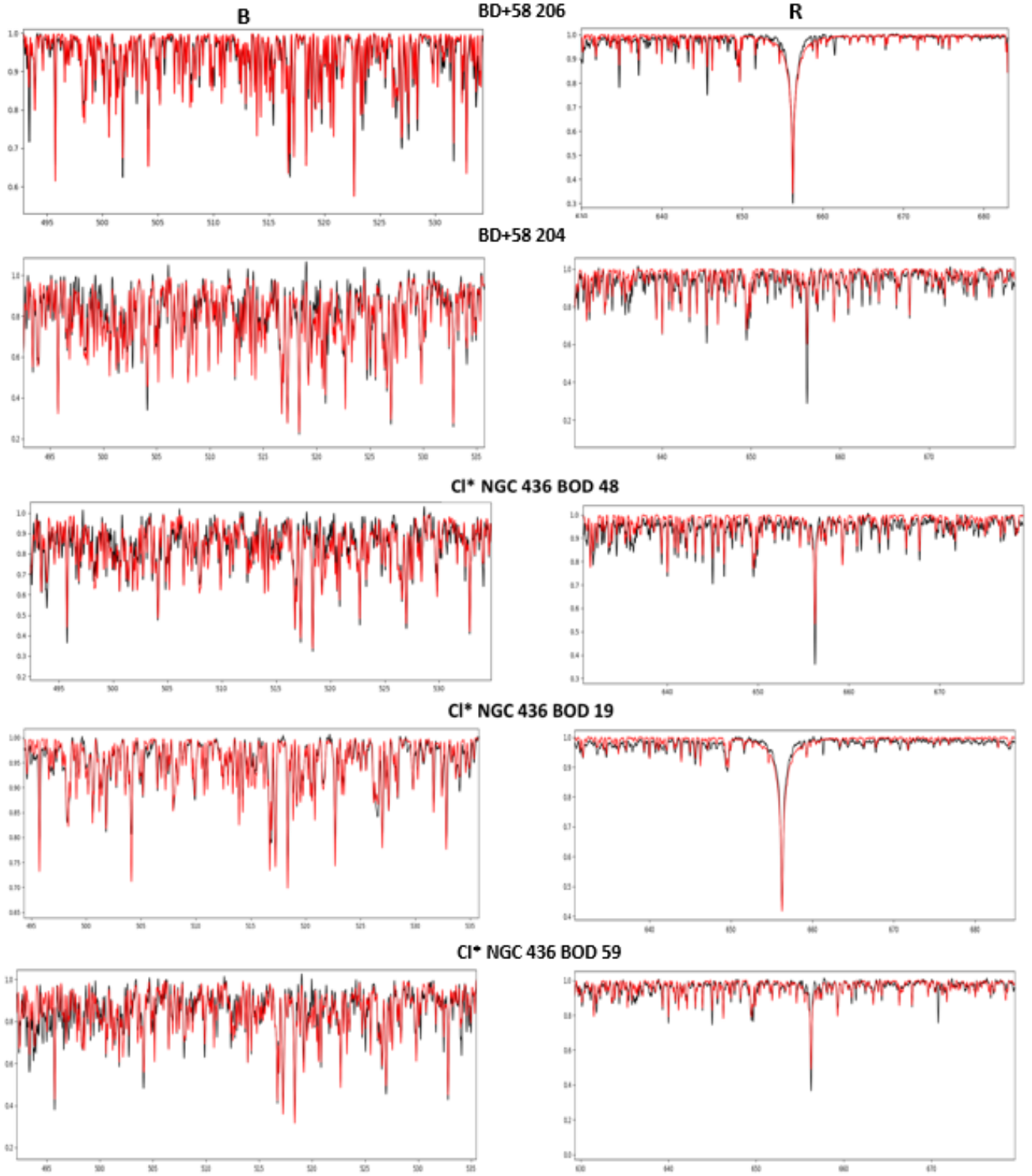
Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röser S., Schilbach E., Scholz R. D., 2005, *Astronomy and Astrophysics*, 438, 1163
 Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röser S., Schilbach E., Scholz R. D., Zinnecker H., 2009, *Astronomy and Astrophysics*, 504, 681
 Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Schilbach E., Röser S., Scholz R. D., 2013, *Astronomy and Astrophysics*, 558, 8
 Lightkurve Collaboration ve diğ., 2018, *Lightkurve: Kepler and TESS time series analysis in Python*, *Astrophysics Source Code Library* (ascl:1812.013)



Şekil 10. CI*NGC436BOD48 yıldızının MCMC optimizasyonu sonunda elde edilen parametrelerinin posterior olasılık dağılımları.

Lim B., Sung H., Kim J., Bessell M., Park B.-G., 2014, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 443, 454
 Luo A. L., ve diğ., 2012, Research in Astronomy and Astrophysics, 12, 1243
 MacKay D., 2003, Information Theory, Inference, and Learning Algorithms. Copyright Cambridge University Press, <http://www.cambridge.org/0521642981>
 Pedregosa F., ve diğ., 2011, Journal of Machine Learning Research, 12, 2825
 Ricker G. R., ve diğ., 2014, in Oschmann Jacobus M. J., Clampin M., Fazio G. G., MacEwen H. A., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series

Vol. 9143, Space Telescopes and Instrumentation 2014: Optical, Infrared, and Millimeter Wave. p. 914320 ([arXiv:1406.0151](https://arxiv.org/abs/1406.0151)), [doi:10.1117/12.2063489](https://doi.org/10.1117/12.2063489)
 Ricker G. R., ve diğ., 2015, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003
 Riello M., ve diğ., 2021, *Astronomy and Astrophysics*, 649, 33
 Schmidt-Kaler T., 1982, *Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology*, 2, 14
 Stassun K. G., ve diğ., 2019, *The Astronomical Journal*, 158, 138
 Sung H., Lim B., Bessell M., Kim J., Hur H., Chun M.-Y., Park B.-G., 2013, *JKAS*, 46, 97
 Xiang G., Chen J., Qiu B., Lu Y., 2021, *Publications of the*



Şekil 11. NGC 436 açık yıldız kümesi için üye olarak seçilen beş yıldızın LAMOST B ve R bölge tayflarının, Model atmosfer tayfları ile uyumlamaları. Siyah eğri gözlenen, kırmızı eğri model tayfı göstermektedir.

Astronomical Society of the Pacific, 133, 12
Zhao G., Zhao Y. H., Chu Y. Q., Jing Y. P., Deng L. C., 2012,
Research in Astronomy and Astrophysics, 12, 723

Access:

M23-0357: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.