



Atatürk Üniversitesi  
Anadolu Fizik ve Astronomi Dergisi  
(ISSN: 2791-8718)  
Cilt 2, Sayı 1, 18-27  
Atatürk University  
Journal of Anatolian Physics and Astronomy  
(ISSN: 2791-8718)  
Volume 2, Issue 1, 18-27

**JAPA**

## Spectral Disentangling of Binary Stars: $\epsilon$ Lupi

\*<sup>1</sup>Vildan Dizdaroğlu, <sup>2</sup>Ahmet Dervişoğlu

<sup>1</sup>Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kayseri, Turkey.

<sup>2</sup>Ataturk University, Astronomy and Space Sciences Department, Erzurum, Turkey.

ORCID\*<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-5166-0282>

Research Type: Research Article

Received: 23.03.2022, Accepted: 28.04.2022

\*Corresponding author: [vildan.dizzdar@gmail.com](mailto:vildan.dizzdar@gmail.com) (V. Dizdaroğlu)

### Abstract

In this study, which is based on spectral disentangling in binary systems,  $\epsilon$  Lupi (HD 136504) has been studied.  $\epsilon$  Lupi is a double-lined spectroscopic binary system (SB2) consisting of two early type B stars. A total of 575 spectra of  $\epsilon$  Lupi downloaded from the PolarBase database were used for spectral disentangling. Before spectral disentangling, we cleaned telluric lines, merged orders, normalized the continuum of spectra. To obtain individual spectra of the components, FDBinary code was used. Consequently, the spectra of the components of the  $\epsilon$  Lupi system were separated in the wavelength range 3920 - 8560 Å. The radial velocities and atmospheric parameters of the primary and secondary components will be found using with the resultant normalized spectra of  $\epsilon$  Lupi.

**Key Words:** Binary stars, Spectral disentangling,  $\epsilon$  Lupi, Spectral analysis.

## Çift Yıldızlarda Tayfsal Çözümleme: $\epsilon$ Lupi

### Özet

Çift yıldız sistemlerinde tayfsal çözümleme konusunu ele alan bu çalışmada,  $\epsilon$  Lupi (HD 136504) yıldızı incelenmiştir.  $\epsilon$  Lupi iki erken tür B yıldızından oluşan çift çizgili tayfsal çift (SB2) sistemdir. Tayfsal çözümleme için  $\epsilon$  Lupi'ye ait PolarBase arşivinden indirilen toplam 575 tayf kullanılmıştır. Çift sisteme ait bileşen tayfları ayırmadan önce tellürik çizgileri temizleme, tayf parçalarını(order) birleştirme, süreklilik normalizasyonu vb. işlemler uygulanmıştır.  $\epsilon$  Lupi'ye ait bileşen tayfların ayrı ayrı elde edilmesi için FDBinary kodu kullanılmıştır. Sonuç olarak,  $\epsilon$  Lupi'nin bileşen tayfları 3920 - 8560 Å dalgaboyu aralığında ayrılmıştır. Bu çalışma sonucunda  $\epsilon$  Lupi'nin bileşenlerine ait normalize tayflar kullanılarak dikine hızlar ve atmosferik parametreler bulunabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Çift yıldızlar, Tayfsal çözümleme,  $\epsilon$  Lupi, Tayf analizi.

## 1. Introduction

Son yıllarda çift yıldızların analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. İlk olarak 1994 yılında Simon & Sturm yaptıkları çalışma ile yörünge faz aralığını kapsayan gözlemlerden çift çizgili tayfsal ikiliden bileşen yıldızla ait olan tayfı çıkarabildiği tayfsal çözümleme (SPD) tekniğini bulmuştur [1]. Bu teknik SPD çizgilerinin iç içe geçmesinden etkilenmeyen tayfsal yörüngeleri ölçmek için kullanılmaktadır. Ortaya çıkan ayrık tayflar ayrıca orijinal gözlemlerden çok daha yüksek bir sinyal/ gürültü oranına (S/ N) sahiptir, bu da onları kimyasal bolluk analizi için çok yararlı kılmaktadır [2]. Daha sonra Hadrava tarafından 1995 yılında önerilen ve iç içe geçmiş (kompozit) tayfların ayrılması için DFT (Discrete Fourier Transform) yöntemi kullanılmıştır [3]. Bu çalışmanın ardından Sasa Ilijic (2003) çift yıldızların iç içe geçmiş tayflarının çözümlemesi için FDBinary kodunu geliştirmiştir [4]. Unix işletim sistemi için C programlama dilinde yazılan bu kod, Fourier alanında çalışmaktadır.

Thackeray'a göre [5],  $\epsilon$  Lupi keşfi, Lick Southern Gözlemeviden 1907-1911 yılları arasında alınan 10 plaka görüntüsü ile Paddock tarafından yapılmıştır [6]. Ancak başkaları tarafından tek hız ölçümleri yapılırken 1907'de H.D. Curtis [7], çift çizgilerin dikine hızlarını (Radial Velocity RV) ölçerek kaydetti. Böylece  $\epsilon$  Lupinin çift çizgili tayfsal çift yıldız olduğu gözlemlendi. 1964 yılında Radcliffe Gözlemevinde tayf gözlemleri kullanılarak  $\epsilon$  Lupinin yörünge parametrelerini elde etmek için çalışmalara başlandı.  $\epsilon$  Lupinin çift çizgili davranışına rağmen üretilen ilk yörüngesi bulunmuştur.  $\epsilon$  Lupinin yörünge parametrelerinin belirlenmesini zorlaştıran üç durum vardı: (i) Alınan iki tayfın farklı akıda olması, (ii) sistemin bir yörünge döneminin çeyreğinden daha az zamanda,  $100 \text{ km s}^{-1}$  daha fazla olması, (iii) bileşenlerin ayrıklığının  $160 \text{ km s}^{-1}$  aşmayan hızlara sahip olması. Bunlara rağmen Thackeray (1970) Radcliffe tayflarını kullanarak  $\epsilon$  Lupi'ye ait yörünge parametrelerini elde etmiş ve bu parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de baş ve yoldaş yıldızla ait P (dönem) değerinin olması sistemin tutulma göstermemesinden ve sadece tayfsal çift sistem olmasından kaynaklanır.

**Tablo 1:**  $\epsilon$  Lupi sisteminin Thackeray (1970) tarafından bulunan yörünge parametreleri.

Parametreler	Baş yıldız	Yoldaş yıldız	Toplam sistem
P	4.559794±0.000013	4.559748±0.000026	4.559783 gün
T <sub>0</sub>			39370.68±0.09
$\gamma$	+7.4±1.94	+6.6±3.7	+7.9±1.4 $\text{km s}^{-1}$
K <sub>1</sub>	56.5±2.3		56.1±1.5 $\text{km s}^{-1}$
K <sub>2</sub>		65.3±2.8	64.8±1.8 $\text{km s}^{-1}$
e	0.28±0.045	0.21±0.06	0.26±0.03
$\omega_1$	324±11		330±10°
$\omega_2$		171±24	
T	2439370.64±0.10	2430370.85±0.24	2439370.68±0.09

## **2. Material and Methods**

Çift sistemlerin bileşenleri optik teleskoplarla doğrudan gözlemlenemez ve çözülemez. Fotometrik olarak ayrılabilen bazı görsel çift yıldızlar bileşen tayflarının ayrı ayrı kaydedilmesine izin vermeyebilir [4]. Çift yıldız sistemlerinin hemen hemen hepsinde bileşen yıldızların parlaklığı çok farklı olmadığı müddetçe gözlenen tayf her iki bileşene ait özellikler barındırır. Yörünge dönemi boyunca düzenli zaman aralıklarında alınan bu tayflar, bileşen yıldızların dikine hızlarının yörünge dönemine bağımlılığı ve tayf özellikleri hakkında bilgi içerir.

Bileşen yıldızların kütlelerinin belirlenmesi için sistemdeki bileşenlerin yörünge hareketi nedeniyle tayf çizgilerindeki kaymalara bakılır. Ölçülen dikine hız profillerine uygulanan Gauss fiti yapılması gibi basit yöntemler ve çapraz korelasyon (cross-corelation) teknikleri gibi o kadar basit olmayan yöntemler standart dikine hız ölçüm araçları olarak kabul edilir [8]. Ancak çizgilerin karışması, bileşen karışıklığı, sinyal/ gürültü oranı gibi zorluklar bu tür ölçümler için engel teşkil eder. Çapraz korelasyon tekniğinin uygulanması ile büyük bir ilerleme yaşanmıştır. Ancak bu tekniğin dahi (üretilen sentetik tayflar veya belirli tayf türüne ait olan bilinen bir yıldızın tayfı gibi şablon tayflara olan ihtiyaç vb.) dezavantajı vardır. Yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi veya yıldız atmosferindeki kimyasal element bolluklarının incelenmesi gibi durumlarda sistemdeki bileşen yıldızların tayflarına ihtiyaç vardır. Elde edilen bu karma karışık bilgiler içeren tayf çizgilerinin ayrılması ve çözülmesi gerekir. Bu zorlukları gidermek için kullanılan bazı yöntemler vardır.

Bunlar; (i) Spektroastrometrik Yarıлма (Spectroastrometric Splitting), (ii) Tayfsal Ayırma (Spectral Separation), (iii) Tayfsal Çözülme (Spectral Disentangling) [9]. Yıldız tayflarını ayrı ayrı elde edebilmek ve yörünge parametrelerini daha doğru bir şekilde hesaplayabilmek adına bu çalışmada tayfsal çözümleme tekniği baz alınmıştır.

### **2.1. Tayfsal Çözümleme (Spectral Disentangling, SPD)**

SPD ile iç içe geçmiş tayfların ayrılması, sadece bileşen yıldızların tayflarının yeniden yapılandırılmasına değil, aynı zamanda yıldız sisteminin yörünge parametrelerinin belirlenmesine yönelik bir uygulamadır.

Yörünge elemanlarını elde etmek için ilk uygulamalarda bile, SPD tekniğinin diğer yöntemlerden daha üstün olduğu bulunmuştur [1][10,11]. Sistemin iç içe geçmiş (kompozit) tayflarının her bir bileşen tayfı için doğru ışık faktörleri yani bileşenlerin toplam ışınımına ne kadar katkıda buldukları ve dikine hızları bilinmelidir. Bu bileşenler bilindiği takdirde iç içe geçmiş tayfların yeniden yapılandırılması ve bileşenlerine ayrılması mümkündür. Işık faktörleri, ışık eğrilerinin analizi ile belirlenebilir. Dikine hızlar, Gaussları iyi çözülmüş çizgilere yerleştirilmesi gibi geleneksel teknikler yoluyla veya iki boyutlu çapraz korelasyon yoluyla doğrudan iç içe geçmiş tayfta ölçülebilir.

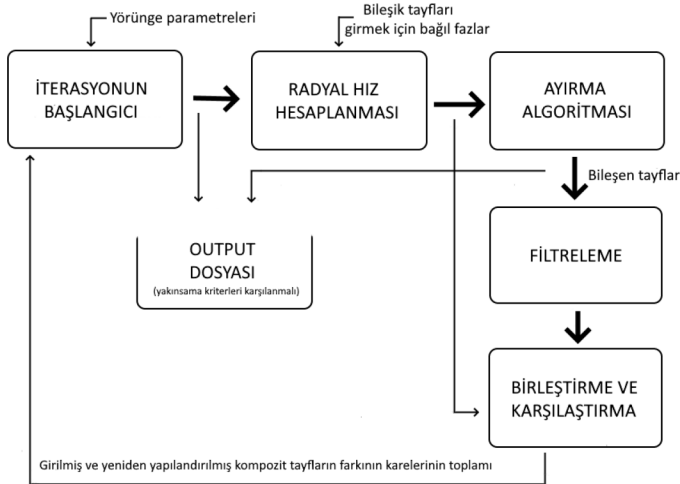
İç içe geçmiş tayfların ayrılması için ışık oranı hakkında önceden bir bilgi sahibi olmamız gerekmez ancak dikine hızların yanlış belirlenmesi bileşen tayfları çözerken büyük bir sorun teşkil eder. Bu nedenle, doğru dikine hızlar, yıldız sisteminin bireysel bileşenlerinin tayflarını yeniden yapılandırmak için gereken iç içe geçmiş tayflar olan verilerin ikinci en kritik kısmı olarak düşünülebilir. SPD ile ölçülen yörüngeler tutarlıdır ve karmaşık çizgiler için herhangi bir düzeltme

gerekmez. Bu bakımdan SPD tekniğinin uygulanması teşvik edicidir. Bu yzden bu çalışmada  $\epsilon$  Lupi sistemine SPD tekniği uygulanmıştır.

## 2.2. FDBinary Kodu

*FDBinary*, ift yıldızların iç içe geçmiş tayflarının ayrılması ve özölmesi için kullanılan açık kaynaklı bir koddur. SPD dikine hızları kullanarak Fourier uzayında uygulanır. Ayrıca Keplerin yörünge elemanlarından beş parametreye bağlıdır: (i) bileşenlere ait dikine hız yarı genliği, (ii) dış merkezlik, (iii) genel bir evre kayması ve (iv) enberi boylamı. Yörünge hareketlerini açıklayan bu parametrelere ek olarak iki parametre kullanılabilir. Bu iki parametre ise Gözlenen girdi tayfları ve yörünge dönemidir. Gözlenen girdi tayfları, dalgaboyunda seçilen aralıklarla logaritmik ölçekte örneklendirilmelidir. Yörünge dönemi, gözlemlenen her bir tayfta belirlenmelidir.

SPD tekniğinin uygulanmasında kullandığımız *FDBinary* kodu hız uzayında ve matris formatında çalışır. Bu kodu farklı zamanlarda ve farklı dalgaboyu aralıklarında alınmış çift yıldız sistemine ait bileşke tayflarını ayrı ayrı elde edilmesini sağlar. *FDBinary* kodunun akış şeması şekil 1’de verilmiştir.



şekil 1. FDBinary kodunun akış şeması

FDBinary kodu girdi (input) ve çıktı (output) dosyalarından oluşur. Girdi dosyasında verdiğimiz parametrelere göre bu kod iterasyon yaparak çıktı dosyasını oluşturur ve bize bileşen yıldızlara ait ayrılmış tayfaları verir.

eps_lup_master.obs	8.27104	8.28172	eps_lup	1 1 0							
5634.148410	0	0.01	1	1							
5634.149530	0	0.01	1	1							
5634.149120	0	0.01	1	1							
6819.869530	0	0.01	1	1							
6819.870250	0	0.01	1	1							
6819.870950	0	0.01	1	1							
6819.872030	0	0.01	1	1							
6819.871570	0	0.01	1	1							
6819.872390	0	0.01	1	1							
6819.873110	0	0.01	1	1							
6819.873830	0	0.01	1	1							
6819.874910	0	0.01	1	1							
6819.874550	0	0.01	1	1							
6819.875270	0	0.01	1	1							
6819.875900	0	0.01	1	1							
6819.876700	0	0.01	1	1							
6819.877770	0	0.01	1	1							
6824.871160	0	0.01	1	1							
6824.871870	0	0.01	1	1							
6824.872590	0	0.01	1	1							
7121.989940	0	0.01	1	1							
7121.989330	0	0.01	1	1							
7121.990560	0	0.01	1	1							
7121.991800	0	0.01	1	1							
7121.993050	0	0.01	1	1							
7121.994910	0	0.01	1	1							
7235.817390	0	0.01	1	1							
7235.818630	0	0.01	1	1							
7235.819860	0	0.01	1	1							
1 0	0 0	0 0	0 0	0 0							
4.559783	0	5649.26251	0.085001	0.27 0.00	383.712184	0	53.935776	0.0	64.3919179	0.0	0 0
100	1000	0.00001									

Şekil 2.  $\epsilon$  Lupi'ye ait FDBinary için hazırlanan input dosyası.

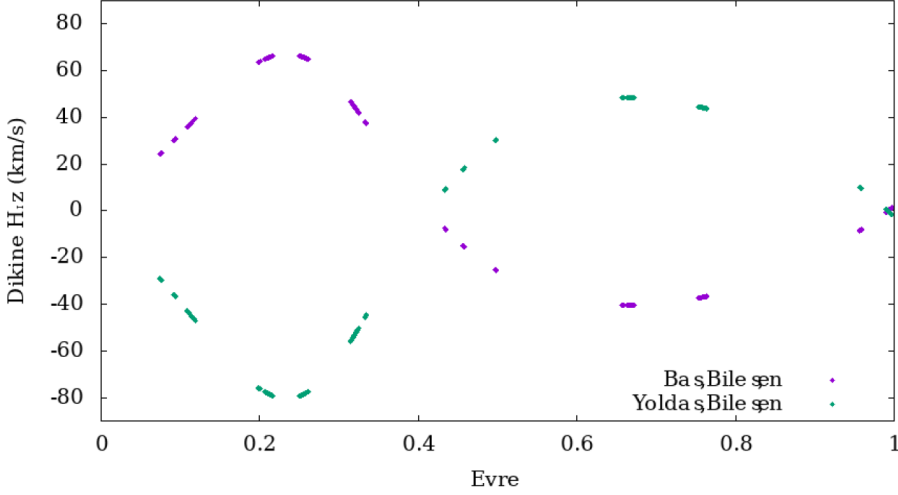
Oluşturulan girdi dosyası, gözlenen tayflar için yörünge parametreleri ve girilen ilk değerler gibi tanımlayıcıları içeren kontrol dosyasıdır. Zamanlar gün, hızlar  $\text{km s}^{-1}$  ve açılar derece cinsindedir. Şekil 2'de verilen örnek girdi dosyasının içinde bulunan 'eps\_lup\_master.obs' isimli dosyada sisteme ait gözlenen tayflar bulunur. Bu dosyada, çift sisteme ait tayfların dalgaboyuna (logaritmik ölçekte) karşılık normalize akı değerlerini içeren matris formatında veriler bulunur. 'eps\_lup' ise çözümleme için kullanılan dalgaboyu aralığındaki gözlemleri içeren çıktı (output) dosyasıdır. Şekil 2'de bulunan pembe kutunun içindeki değerler sırasıyla gözlem tayfları, çözümleme yapılacak dalgaboyu aralığı, çıktı dosyası ve yıldız sistemine ait bileşen değerleridir. Kırmızı kutunun içinde tanımlananlar gözlenen tayfa ait özellikleri içerir. Sırasıyla sütunlarda bulunan değerler: gözlemlere ait Jülyen günü (JD), güneş merkezli dikine hız düzeltmesi, hata payı, baş yıldızın ışık faktörü ve yoldaş yıldızın ışık faktörü. Mavi kutunun içindeki değerler üçüncü bileşene ait değerlerdir. Yeşil kutunun içindeki değerler iç yörüngeye ait parametreleri içerir. Bu değerler; dönem (P), başlangıç zamanı (T0), dış merkezlik/basıklık (e), yıldızın koç noktasından enberi noktasına olan açısı ( $\omega$ ), baş yıldızın dikine hızı (K1) ve yoldaş yıldızın dikine hızı (K2) şeklindedir. Son olarak mor kutunun içindekiler ise sırasıyla kalibre sayısı, iterasyon ve toleranstır.

SPD yapılacak olan yıldızın ait parametreler ile oluşturulan girdi dosyasının hazırlanmasıyla *FDBinary* kodu çalıştırılır. Bu kod verilen ilk değerleri kullanarak iterasyon yapar ve çift yıldızın ait tayfları ayırır. Bu işlemin tamamlanmasıyla bu kod bize ayrılmış tayflara ait çıktı dosyalarını verir.

### 3. Tartışma ve Bulgular

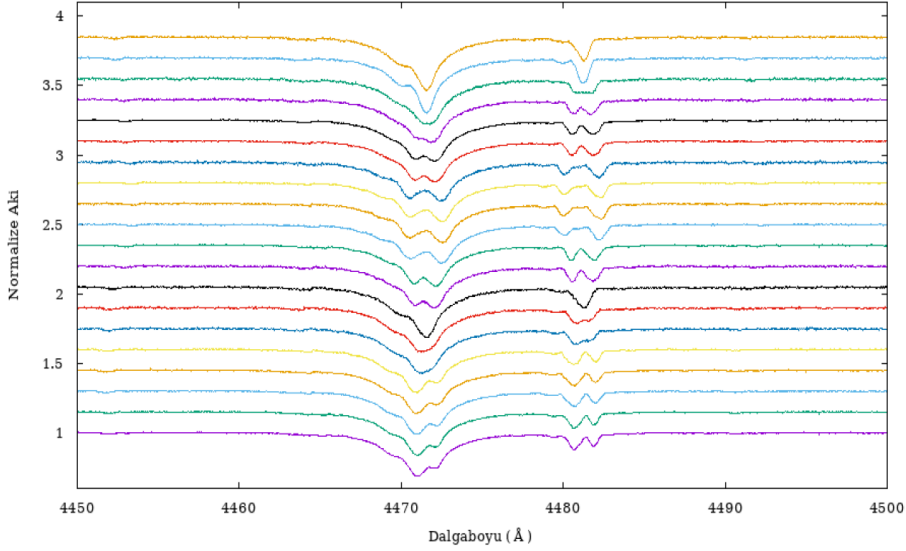
PolarBase yıldız arşivinden sıcaklıkları 10000-40000 K arasındaki çift yıldız sistemlerini incelenmiştir. İncelenen bu yıldızlardan SPD için uygun görülen  $\epsilon$  Lupi çift yıldız sistemi üzerinde çalışmaya karar verilmiştir. PolarBase yıldız arşivinden  $\epsilon$  Lupi'ye ait normalize edilmemiş tayflara ait veriler indirilmiştir. İndirilen verilerden Jülyen günleri ile Tablo 1'deki sonuç sütununda yer alan P ve T0 değerlerini alarak *FDBinary* sonucunda elde ettiğimiz dikine hızlar ile  $\epsilon$  Lupi'ye ait tayfların evre

dağılımına göre dikine hızları hesaplanmıştır (şekil 3). Çift yıldızların iki bileşeninden aynı anda 0.25 ve 0.75 evrelerinde tayf bilgisi alındığından dolayı  $\epsilon$  Lupi'nin bu evreler civarından tayfının olup olmadığını kontrol edilmiştir. Evre dağılımını iyi anlayabilmek için hesaplanan evrelerin dikine hız eğrisi oluşturulmuştur.



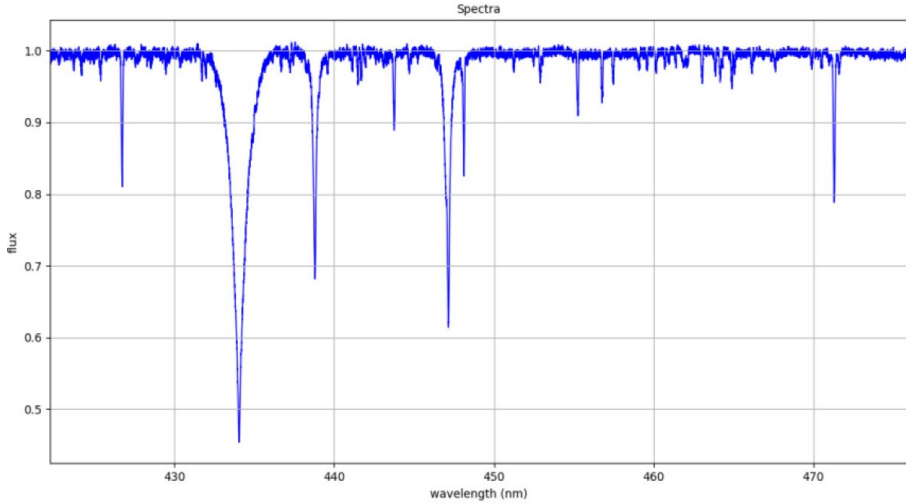
**şekil 3.** PolarBase arşivinden indirilen 575 tane tayf kullanılarak oluşturulan  $\epsilon$  Lupi'ye ait dikine hız eğrisi. Sistemdeki baş(mor) ve yoldaş(yeşil) bileşene ait tayf çizgilerinin dikine hız ölçümleri verilmiştir. x-ekseninde evreye karşı y-ekseninde dikine hız değerleri verilmiştir.

Tayfsal ayırmanın ilk aşaması olarak,  $\epsilon$  Lupi'ye ait indirdiğimiz tayfların içindeki verilerde eksiklik olup olmadığı incelenmiştir. Bunun sonucunda 568 tayfın kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir. Bu tayfları normalize etmek için yazmış olduğumuz normalizasyon kodu kullanılmıştır. Bu kodu kullanmadan önce iSpec yardımıyla  $\epsilon$  Lupi'ye ait atom çizgilerinin tayf üzerindeki konumlarını dalgaboyuna göre belirleyerek çizgi listesi oluşturulmuştur. Oluşturduğumuz bu çizgi listesini, atom çizgilerinin sürekliliğinin bozulmaması için normalizasyon kodunda kullanılmıştır. Normalizasyon koduyla: (i) Atmosferden kaynaklı etkilerden oluşan tellürik çizgileri tayftan temizledik, (ii) sürekliliği bulmak için tayf parçalarının (order) akı değerinin maksimum ile minimumdaki dalga boyunu ve medyan değerlerini belirledik, (iii) belirli dalgaboyu aralıklarındaki tayf parçalarına sırasına göre normalize ettik. Normalizasyon sonucu elde ettiğimiz tayf parçalarını birleştirilirken bazı sorunlar meydana geldi. Birleşmiş tayfta, tayf parçalarının kenarları üst üste gelerek sürekliliğin akı kalınlaşmasına neden oldu. Bu sorunu giderebilmek için tayf parçalarını dalgaboyuna göre kırıplmıştır. Ardından tayf parçalarının ortalamasını ve medyanını alarak tekrar normalize edilmiştir. En sonunda tüm tayf parçaları birleştirilmiştir. Birleştirdiğimiz tayf parçaları şekil 4'te sunulmuştur.



**Şekil 4.**  $\epsilon$  Lupi'ye ait farklı evrelerde alınmış 20 tayfin dalgaboyuna karşılık normalize akı grafiği. Burada Helyum (4471 Å) ve Magnezyum II (4481 Å) çizgilerinin evreye göre değişimi rahatlıkla fark edilmektedir.

Normalize ettiğimiz tayfları incelediğimizde Balmer Serisinin iyi bir şekilde normalize olmadığını fark ettik. Bu durum Balmer çizgilerinin geniş olmasından kaynaklanır. Bu etkinin sonucunda süreklilik normalizasyonunda kaymalar meydana gelir. Bu sorunun giderilmesi için hidrojen çizgilerine farklı bir normalizasyon işlemi uyguladık. Örnek olarak Şekil 5'te yeniden normalize edilmiş  $H\gamma$  çizgisi iSpec üzerinden gösterdik.

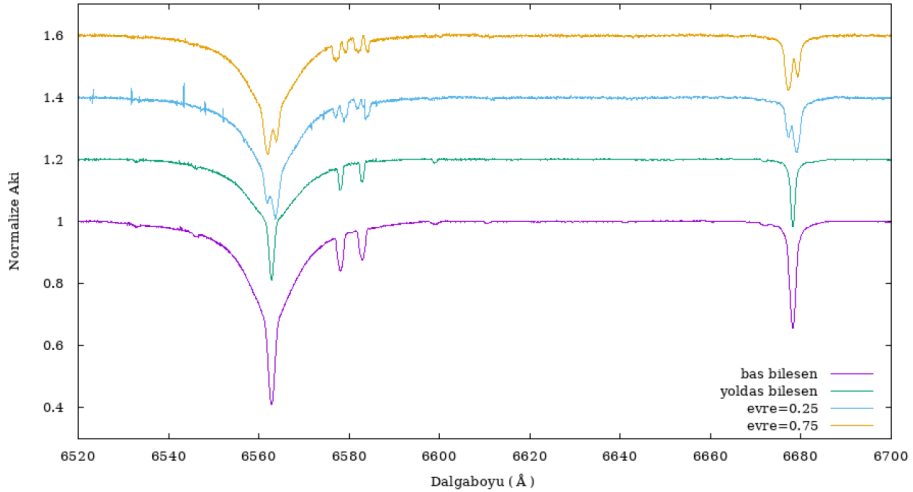


**Şekil 5.** Yeniden normalize edilmiş  $H\gamma$  çizgisinin dalgaboyuna (wavelength) karşılık akı (flux) değerinin iSpec arayüzünde gösterimi. Dalgaboyu nanometre (nm) birimindedir.  $H\gamma$  çizgisi 434.1 nanometreye karşılık gelir.

$\epsilon$  Lupi sistemine ait yıldızların tayflarını ayrı ayrı elde etmek için incelenen tayfların *FDBinary* programında kullanılacak formata dönüştürdük (Ayrıntıları için bkz. bölüm 2.2). *FDBinary* kodu için Şekil 1'deki gibi girdi dosyalarımızı oluşturduk. Bu dosyalar oluşturulurken bileşenlerin ışığa katkı oranları bilinmediğinden ikisi içinde ışık faktörü ( $I_f = 1.0$ ) değerini aldık.  $\epsilon$  Lupi'nin normalize edilmiş

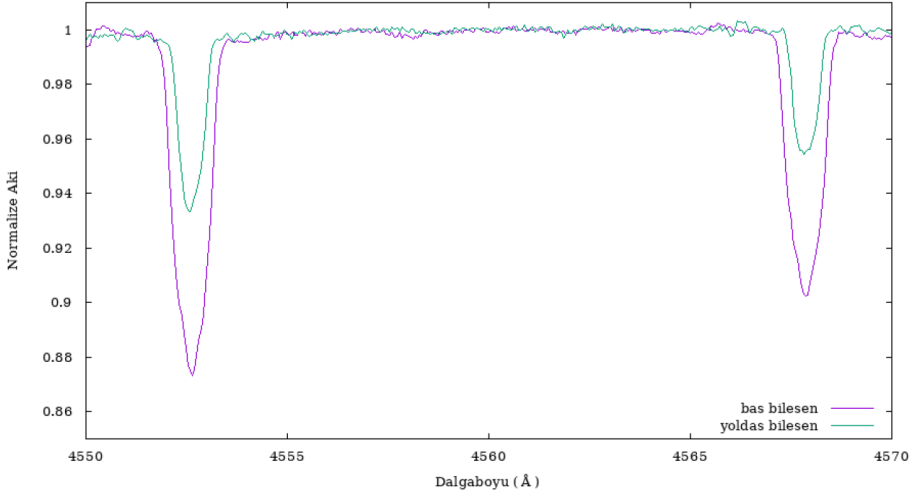
tayfını en fazla 30 Å dalgaboyu aralıklarında bölerek kodu çalıştırdık. Bu işlemi Balmer serisi için de ayrıca yaptık. *FDBinary* kodu ile girilen parametrelere göre belirlediğimiz dalgaboyu aralığında iterasyon yaparak  $\epsilon$  Lupi'nin bileşenlerinin tayfını ayrı ayrı elde ettik. Sonuç olarak *FDBinary* bize beş çıktı dosyası verdi: (i) '.obs' uzantılı bileşik tayfı, (ii) '.mod' uzantılı bileşen yıldızların ayrılmış tayflarını içeren model tayfı, (iii) '.res' uzantılı ayırma işlemi için belirlediğimiz dalgaboyu aralığındaki kalıntısı, (iv) '.rvs' uzantılı bileşenlerin dikine hız verileri ve (v) '.log' uzantılı yapılan işlemlerin kayıtlarının olduğu dosya. Elde edilen bu dosyalardan '.mod' uzantılı dosyadaki bileşenlere ait model tayfları ayırdık. Sürekliliği normalize etmek için öncelikle iSpec koduyla hazırlanmış gridlerden sentetik tayf oluşturduk. Bunun için B yıldızlarına özel hazırlanan BSTAR2006\_TLUSTY sentetik tayf gridlerini kullandık [12]. Ayrıca  $\epsilon$  Lupi'ye ait baş ve yoldaş yıldızın sırasıyla yüzey çekim ivmeleri  $\log g_{Aa} = 3.97$ ,  $\log g_{Ab} = 4.13$  ve etkin sıcaklıkları için sırasıyla  $T_{eff Aa} = 20500$  K,  $T_{eff Ab} = 18500$  K ile tayf çözünürlüğü için de  $R = 85000$  piksel kullandık.

Oluşturulan sentetik tayfı *Java Multipeagle* programında kullanarak, *FDBinary*'den elde edilen tayfların sürekliliğini normalize ettik. Bu işlem sırasında süreklilikteki çakışan kısımların fazlalıklarını atarak birleştirdik. Son olarak baş ve yoldaş yıldızın ait normalize edilmiş ve ayrılmış tayfları Şekil 6 ve Şekil 7'de örnek olarak çizdirdik.



**Şekil 6.**  $\epsilon$  Lupi'ye ait 6520 - 6700 Å dalgaboyu aralığındaki ayrılmış tayfların baş yıldız (mor), yoldaş yıldız (yeşil) ve birleşik tayfın 0.25 (Mavi) ve 0.75 (Sarı) evreden alınan tayfları olmak üzere normalize akıya karşı dalgaboyu grafiği. Grafikte  $H\alpha$  (6563 Å) ile He I (6678 Å) gösterilmektedir.





**şekil 7.**  $\epsilon$  Lupi'ye ait FDBinary kodu ile çözdüğümüz Si III (4553 Å ve 4568 Å) soğurma çizgilerine ait normalize akı değerine karşı dalgalıbyu grafiği. Baş yıldız (mor) ve yoldaş yıldız (yeşil) olarak çizdirdik.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çift yıldız sistemlerinde tayfsal çözümlene konusunu temel alan bu çalışmada, iki erken tip B tayf türünden yıldız içeren  $\epsilon$  Lupi (HD 136504) çift çizgili tayfsal çift sistemi kullanıldı.  $\epsilon$  Lupi'nin evre dağılımlarının iyi olması ve daha önce tayfsal ayırma yapılmamış olması bizim için iyi bir aday olduğunu gösterdi.

$\epsilon$  Lupi'ye ait farklı evrelerdeki gözlemlerden çift çizgili tayfsal çiftin bileşenlerine ait olan tayfı ayırılmak için tayfsal çözümlene (SPD) tekniğini uyguladığ. SPD tekniğini uygularken iSpec programından ve *FDBinary* kodundan yararlandık. Bu çalışma sonucunda  $\epsilon$  Lupi sistemine uyguladığımız çözümlene tekniği ile baş ve yoldaş bileşenlerin ayrı ayrı tayflarını elde ettik. Ayrıca Sisteme ait yörünge parametrelerini  $K_1= 53.8914 \text{ km s}^{-1}$ ,  $K_2= 64.6822 \text{ km s}^{-1}$ ,  $e = 0.2723$ ,  $T_0= 2439370.83 \text{ JD}$  ve  $\omega= 383^\circ.1$  olarak hesapladık.

Çalışma sonucunda elde edilen ayrılmış tayflar kullanılarak yıldızların atmosferik parametreleri belirlenebilir. Ek olarak çalışma sonucunda  $\epsilon$  Lupi'ye ait normalize edilmiş tayflara LSD ve CCF yöntemlerini uygulayarak bileşenlerin dikine hızları hesaplanabilir. Bulunan dikine hızlarla bileşenlere ait kütleler elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

## **Kaynaklar**

- [1] Simon, K. P., Sturm, E., & Fiedler, A. 1994. Spectroscopic Analysis of Hot Binaries. *Astronomy and Astrophysics*, 292, 507.
- [2] Pavlovski, K., Southworth, J., Tamajo, E., 2018. Physical Properties and CNO Abundances for High-Mass Stars in Four Main-Sequence Detached Eclipsing Binaries: V478 Cyg, AHCep, V453Cyg, and V578 Mon. *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 3129-3147.
- [3] Hadrava, P. (1995). Orbital elements of multiple spectroscopic stars. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 114, 393.
- [4] Ilijic, S., 2003. Spectral Disentangling of Close Binary Stars. University of Zagreb Faculty of Sciences, Degree of master, Zagreb, 65 s.
- [5] Thackeray A. D., 1970. The Double-Lined Spectroscopic Binary  $\epsilon$  Lupi (HD 136504). *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 149, 75-80.
- [6] Campbell, W. W. & Moore, J. H., 1928. *PubL Lick Obs.* XVI, 223.
- [7] Moore, J. H., 1910. *Lick Obs. Bull* 6, 151.
- [8] Pavlovski, K., Hensberge, H., 2006. Modern Analysis Techniques for Spectroscopic Binaries. *International Astronomical Union*, 136-147.
- [9] Pavlovski, K., Hensberge, H., 2010. Reconstruction and Analysis of Component Spectra of Binary and Multiple Stars. *Astronomical Society of Pasific*, 207-216.
- [10] Simon, K. P., & Sturm, E. 1995. Disentangling of Composite Spectra. *Astronomy and Astrophysics*, 281, 286.
- [11] Harmanec, P., et al. 1997. The Eclipsing and Spectroscopic Binary V 436 Persei  $\equiv$  1 Persei. *Astronomy and Astrophysics*, 319, 867.
- [12] Lanz, T., Hubeny, I. 2007. A Grid Of Nlte Line-Blanketed Model Atmospheres Of Early B-Type Stars. *ApJS*
- [13] FDBinary Web Adresi: <http://sail.zpf.fer.hr/fdbinary/> (Son erişim tarihi: 16.03.2022)
- [14] PolarBase Web Adresi: <http://polarbase.irap.omp.eu/> (Son erişim tarihi: 16.03.2022)
- [15] iSpec Web Adresi :  
<https://www.blancocuaresma.com/s/iSpec/manual/introduction> (son erişim tarihi: 16.03.2022)
- [16] Blanco-Cuaresma, S., et al. 2014. Determining Stellar Atmospheric Parameters and Chemical Abundances of FGK Stars with iSpec. *Astronomy and Astrophysics*, 569, A111.