

# Genç Ayrık Çift Yıldız HD 350731'in Doğası

Fahri Aliçavuş<sup>1\*</sup>, Faruk Soyduğan<sup>1</sup>, Selçuk Bilir<sup>2</sup>, Esin Soyduğan<sup>1</sup>, Çağlar Püsküllü<sup>1</sup>, Tunç Şenyüz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

## Özet

Bu çalışmada, ayrık çift yıldız olan HD 350731'in tayfsal ve fotometrik analizleri yapılarak, eksen dönmesi, bileşenlerinin kütle, yarıçap gibi mutlak parametreleri belirlenmiş ve teorik yıldız evrim modelleri ile karşılaştırılmıştır. Tayfsal ayırma yöntemiyle elde edilen bileşen tayflarından sıcaklık, dönme hızı, yüzey çekim ivmesi bulunarak kimyasal bolluk tahmini yapılmıştır. Sistemin yaşı izokronlar yardımıyla yaklaşık 60 Myıl olarak tahmin edilmiştir. HD 350731'in kinematik analizi yapılarak gökadanın ince-disk popülasyonuna ait olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** stars: fundamental parameters, İkili Yıldızlar

## 1 Giriş

Yıldızlar gökadalardan temel yapılarıdır. Yıldızların salt parametrelerinin (kütle, yarıçap vb.) duyarlı belirlenebilmesi, gökada yapısının ve evriminin iyi anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Örtün çift yıldızlar ise bu parametrelerin duyarlı hesaplanabildiği yegane kaynaklardır. Tayfölçüm ve ışıkölçüm kütle, yarıçap, sıcaklık ve diğer parametrelerin türetilebilmesi için gereklidir. Özellikle, gözlemsel verinin duyarlılığı her iki bileşenin salt parametrelerinin belirlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. HD 350731 (BD+20 4323, GSC 01624-00493,  $V=9^m.60$ , A0) ilk olarak Otero ve diğ. (2015) tarafından basık yörüngeli örtün bir çift sistem olarak tanımlanmıştır. Daha sonra sistemin ilk detaylı fotometrik çalışması Klaidis ve diğ. (2008) tarafından, 2007 ve 2008 yıllarında gözlenen ışık eğrilerinin analizi ile yapılmıştır. Çalışmada ASAS kataloğu ve literatürdeki minimum zamanları toplanarak sisteminin dönemi 1.635135 gün olarak verilmiştir. Klaidis ve diğ. (2008)'nin çalışmasında kütle oranı sonucunda en olası değer  $0.9 \pm 0.2$  olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca bu çalışmadaki çözüm sonucunda sistemin basıklığının 0.078 ve enberiden geçiş boylamının  $348^\circ$  olduğu bulunmuştur.

HD 350731 sisteminin tayf gözlemleri DAO'da (Dominion Astrofizik Gözlemevi) Ağustos-Eylül döneminde 1.85 metrelik Plaskett teleskobuna bağlı cassegrain odağında bulunan yaklaşık 9000 çözümüme gücüne sahip merkezi dalgaboyu  $4500\text{Å}$  olarak ayarlanmış, 4370-4631 Å dalgaboyu aralığında slit tayfçeker ile yapılmıştır. Gözlemler sonunda sistemin evrelere yayılmış 21 adet tayfı alınmıştır. Ortalama poz süresi 1800 s ve 100-300 arasında S/N oranına sahip tayflar ile bileşenlerin dikine hızları ölçülmüş ve tayf analizi yapılmıştır. Ayrıca, tayfsal gözlemlerle eş zamanlı olarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevinde (ÇOMÜG) de 11 gecelik fotometrik gözlemler sonucunda sistemin ışık eğrisi elde edilmiştir.

## 2 Dikine Hızlar ve Yörünge Çözümü

HD 350731'in elde edilen tayfları IRAF yazılımı ve alt paketleri yardımıyla rutin slit tayf indirgeme adımları kullanılarak çıkarılmıştır. Bileşenlere ait dikine hızlar gerekli düzeltmeler

**Çizelge 1.** HD 350731'in yörünge parametreleri. <sup>1</sup>: Kleidis ve ark. (2008)

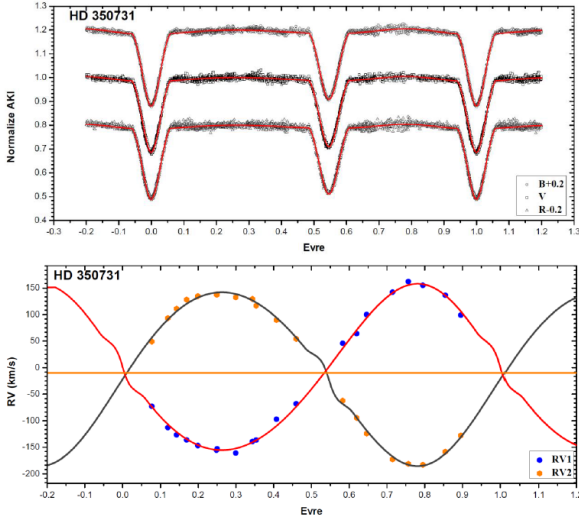
Parametre	Değer
$T_0$ (HJD)	2454631.4603 <sup>1</sup>
$P_{yor}$ (gün)	1.653135 <sup>1</sup>
$V_\gamma$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$-10.4 \pm 0.7$
$K_1$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$157.2 \pm 1.3$
$K_2$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$162.7 \pm 1.3$
$e$	$0.077 \pm 0.007$
$\omega$ (derece)	$23.5 \pm 2.3$
$a_1 \sin i$ ( $10^6$ km)	$3.52 \pm 0.04$
$a_2 \sin i$ ( $10^6$ km)	$3.64 \pm 0.04$
$M_1 \sin^3 i$ ( $M_\odot$ )	$2.79 \pm 0.05$
$M_2 \sin^3 i$ ( $M_\odot$ )	$2.70 \pm 0.05$
$q$ ( $=M_2/M_1$ )	$0.966 \pm 0.015$

yapılarak FXCOR paketi kullanılarak elde edilmiştir. Hız okumaları için dikine hız standardı olarak B9.5 V tayf türünden ve dikine hızı  $-0.2 \text{ km s}^{-1}$  olan 21 Peg yıldızı kullanılmıştır. Ölçülen dikine hızlar kullanılarak yapılan yörünge çözümü sonucunda bulunan parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen tayflardan yararlanılarak bileşenler ayrıştırılıp sıcaklık ve bolluk belirlenmeye çalışılmıştır.

## 3 Işık Eğrisi Analizi

Çift yıldızın ÇOMÜG'de elde edilen ışık eğrileri Wilson-Devinney yazılımı yardımıyla tayf analizinden elde edilen verilerin de kullanılmasıyla eş zamanlı olarak çözülmüş ve bileşenlerin parametreleri belirlenmiştir (Wilson & Devinney 1971). Bu çözümde birinci bileşen için sıcaklık değeri olarak A0 tayf türüne karşılık gelen 9780 K alınmıştır (Cox 2000). Çözümde elde edilen ışık katkıları kullanılarak, daha doğru bir sıcaklık belirlenmesi için, KOREL programı yardımıyla çift sistemin tayf bileşenlerine ayrılmıştır. Ayrıştırılan tayflar için atmosfer modelleri yapılarak sıcaklıkta düzeltmeye gidilmiş ve baş bileşenin sıcaklığını 11840 K alınarak ışık eğrisi tekrar analiz edilmiştir. Işık eğrisi ve dikine hızların eş-zamanlı analizinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de ve çözümde elde edilen teorik eğrilerin gözlem noktaları ile uyumunu Şekil 1'de verilmektedir.

\* fahrialicavus@comu.edu.tr



**Şekil 1.** HD 350731'in elde edilen ışık eğrisi ve dikine hız eğrileri ile çözüm sonucunda elde edilen kuramsal eğrilerin uyumu.

**Çizelge 2.** HD 350731'in çok renk ışık eğrisi ve bileşenlerin dikine hızlarının eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler.  $\alpha$ : Model atmosfer çözümü sonucunda sabit alınmıştır.

Parametre	W-D Çözümü
$a(R_{\odot})$	$10.43 \pm 0.02$
$V_7$ (km s $^{-1}$ )	$-10.1 \pm 0.4$
$e$	$0.077 \pm 0.006$
$\omega$ (derece)	$19.90 \pm 0.12$
$i$ (derece)	$82.16 \pm 0.03$
$T_1$ (K)	$11840^{\alpha}$
$T_2$ (K)	$11575 \pm 20$
$\Omega_1$	$5.920 \pm 0.015$
$\Omega_2$	$6.210 \pm 0.025$
Evre Kayması	$0.0022 \pm 0.0001$
$q$ ( $=M_2/M_1$ )	$0.969 \pm 0.003$
$L_1 / (L_1 + L_2) - B$	$0.552 \pm 0.003$
$L_1 / (L_1 + L_2) - V$	$0.551 \pm 0.002$
$L_1 / (L_1 + L_2) - R$	$0.550 \pm 0.002$
$L_2 / (L_1 + L_2) - B$	$0.448 \pm 0.002$
$L_2 / (L_1 + L_2) - V$	$0.449 \pm 0.002$
$L_2 / (L_1 + L_2) - R$	$0.450 \pm 0.002$
$r_1$ (ort)	$0.2026 \pm 0.0004$
$r_2$ (ort)	$0.1869 \pm 0.0005$

## 4 Tayf Analizi

### 4.1 Bileşenlerin Ayrıştırılması

Çift sistemin bileşenlerinin detaylı bir şekilde çalışılması amacıyla, sistemin bileşik tayfından bileşenlerin tayfları ayrılarak çıkarılmıştır. Bu işlem, FORTRAN tabanlı yazılım olan KOREL ile yapılmıştır (Hadrava 1995). İlgili yazılım ile her iki bileşenin de ayrılmış ortalama tayfları çıktı olarak verilirken yörünge çözümü sonuçları da alınır. Bu çalışmada da, 4450-4500 Å aralığında DAO'da alınan 21 adet tayf, KOREL yazılımı ile bileşenlerin ayrı ayrı tayflarının elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu aralıkta, özellikle He I (4471 Å) ve Mg II (4481 Å) çizgileri her iki bileşen için de açıkça görülmektedir. KOREL analizi sonucu elde edilmiş model tayflar ile gözlenen tayfların uyumu ve bileşenlerin ayrılmış tayfları Şekil 2'de gösterilmektedir.

**Çizelge 3.** HD 350731'in bileşenlerinin model atmosfer parametreleri.

Parametre	Baş Bileşen Değer	Yoldaş Bileşen Değer
$T_{eff}$ (K)	$11840 \pm 270$	$11500 \pm 300$
$\log g$ (cgs)	$4.46 \pm 0.20$	$4.61 \pm 0.25$
$v \sin i$ (km s $^{-1}$ )	$69.3 \pm 0.9$	$60.4 \pm 1.2$
$v_{mik}$ (km s $^{-1}$ )	$3.8 \pm 0.8$	$4.5 \pm 0.9$
Mg II (4481 Å)	-4.52	-4.31
He II (4471 Å)	-1.10	-0.89
Ti I (4489 Å)	-7.27	-7.02
Fe II (4491 Å)	-4.54	-4.54

## 4.2 Atmosfer Modellemesi

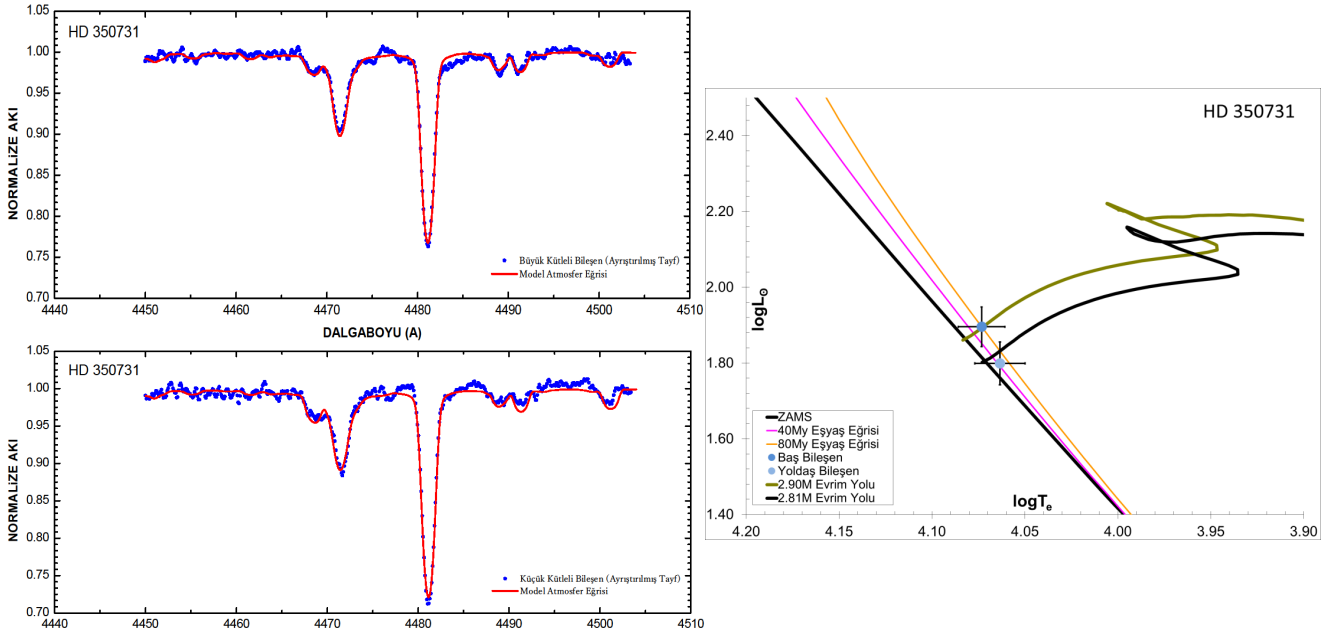
Bileşenlerin ayrı ayrı elde edilen tayflarının modellenmesinde Kurucz atmosfer modelleri kullanılmıştır. Kurucz veri tabanında olmayan sıcaklık,  $\log g$  ve bolluk değerlerinin hesaplanması için ATLAS12 kodunun ADA versiyonu kullanılmıştır (Kurucz 2005). Çift yıldızların ışık eğrisi analizlerinde birinci bileşenlerin sıcaklıkları önemli parametrelerden olup çözüm sırasında sabit alınmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada da, atmosfer analizi birinci bileşen tayfı için yapılmıştır. Burada yapılan modeller ile yıldızda görülen He I (4471.49 Å) çizgisinin varlığının temsil edilebilmesi için başlangıç olarak alınan sıcaklığın çok düşük olduğu ve tayf ile en iyi uyuşan modellerin 12000 K civarında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonraki analizlerde, Kurucz modellerini interpolate ederek modeller oluşturan SME (Spectroscopy Made Easy) yazılımından faydalanılmıştır (Valanti & Piskunov 1996). Bu çözümlerden elde edilen sonuçlar ve çözümlerin ayrıştırılmış tayflarla uyumu Çizelge 3 ve Şekil 2'de verilmiştir.

## 5 Mutlak Parametreler ve Kinematik Özellikler

HD 350731'in ışık eğrisi ve bileşenlerin dikine hızlarının birlikte analizi ile bileşenlerin duyarlı salt parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu sonuçlar ışığında, Yi ve diğ. (2001) tarafından verilen  $Y^2$  eş yaş eğrileri ve evrim yolları kullanılarak sistemin evrim durumu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4 ve Şekil 2'de verilmektedir. Bu parametreler yardımıyla sistemin kinematik özellikleri incelenmiş,  $15.30 \pm 3.84$  km s $^{-1}$ 'lik uzay hızı ve gökada diskinden maksimum ayrılma miktarı olan  $Z=70$  pc ile gökadamızın ince-disk popülasyonunda yer aldığı bulunmuştur.

## 6 Sonuçlar

Ayrık örten çift yıldızlar, yıldızların temel özelliklerinin hassas bir şekilde belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu bağlamda, HD 350731 çift yıldızının ışık eğrisi ve tayfsal verileri elde edilerek bileşenler hakkında önemli bilgilere ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada bileşenlerin tayf türleri B8V+B8V olarak ve kütleleri 2.90 ve 2.81  $M_{\odot}$  olarak belirlenmiştir. Bileşenlerin yaklaşık Güneş kimyasal kompozisyonuna sahip olduğu görülmüştür ancak yoldaş bileşende He, Mg ve Ti bollukları Güneş kompozisyonunun biraz üzerinde kalmaktadır. Bu durumun daha detaylı tartışılabilmesi için sıcaklık-yarıçap dejenarasyonunun detaylı olarak incelenmesine ve daha yüksek çözünürlükte tayflara ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin literatürdeki ve bizim gözlemlerimiz sonucunda elde edilen minimum gözlemleri incelendiğinde açık bir şekilde eksen dönmesinin varlığı gözlenmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda enberi noktasının yıllık değişimi yaklaşık olarak  $3.9^{\circ}$  olduğu gözlenmiştir. Yapılan evrim modeli ve kine-



**Şekil 2.** HD 350731'in bileşenlerinin model atmosferi ile ayrıştırılmış tayflarının uyumu(sol) ve bileşenlerin H-R diyagramındaki konumu(sağ). Sağdaki şekilde, noktalar baş ve yoldaş bileşen, eğriler ise sırasıyla; ZAMS, 40 Myl ve 80 Myl eş-yaş eğrileri ile 2.90 ve 2.81  $M_{\odot}$  evrim yollarını göstermektedir.

**Çizelge 4.** HD 350731'in temel astrofiziksel parametreleri.

Parametre	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle ( $M_{\odot}$ )	$2.90 \pm 0.10$	$2.81 \pm 0.11$
Yarıçap ( $R_{\odot}$ )	$2.11 \pm 0.02$	$1.95 \pm 0.03$
Sıcaklık (K)	$11840 \pm 270$	$11575 \pm 300$
$\log L$ ( $L_{\odot}$ )	$1.90 \pm 0.5$	$1.79 \pm 0.06$
$\log g$ (cgs)	$4.25 \pm 0.02$	$4.30 \pm 0.01$
Yörünge Dönemi (gün)	$1.65313 \pm 2 \times 10^{-5}$	
Yarı büyük eksen uzunluğu ( $R_{\odot}$ )	$10.43 \pm 0.02$	
Kütle oranı	$0.969 \pm 0.003$	
$V\gamma$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$-10.1 \pm 0.4$	
Uzaklık (pc)	$578 \pm 30$	
$V$ (mag)	$9.60^a$	
$B-V$ (mag)	$0.03^a$	
$M_{bol}$ (mag)	$0.01 \pm 0.04$	$0.29 \pm 0.05$
$BC$ (mag)	$-0.63^b$	$-0.57^b$
$M_v$ (mag)	$0.64 \pm 0.11$	$0.86 \pm 0.12$
Ölçülen $v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$69.3 \pm 0.9$	$60.4 \pm 1.2$
Senkronize $v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$64.5 \pm 0.1$	$59.8 \pm 0.1$
Yaş (Myıl)	$60 \pm 40$	

<sup>a</sup>: SIMBAD Veritabanı, <sup>b</sup>: Sung ve diğ. (2013)

matik çalışmalar sonucunda sistemin yaklaşık 60 Myıl yaşında ve genç ince-disk üyesi olduğu sonucuna varılmıştır. İlgili sistemin detaylı analizi ve elde edilen sonuçlar Soydugan ve diğ. (2015) çalışmasında verilmiştir.

### Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK-MFAG 111T224 numaralı proje ile desteklenmiştir. Ayrıca, tayfsal gözlemler için gözlem zamanı sağlayan NRC Herzberg Astrofizik Enstitüsü ve Dominion Astrofizik Gözlemevi'ne teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Cox, A. N. 2000, Allen's astrophysical quantities, Springer, ISBN: 0387987460  
 Hadrava, P. 1995, A&AS, 114, 393  
 Kleidis, S., Robertson, C. W., Wils, P. 2008, IBVS 5860  
 Kurucz, R. L. 2005, MSAIS, 8, 14  
 Otero, S. A., Wils, P., Dubovsky, P., A. 2004, IBVS, 5570  
 Soydugan, F., Aliçavuş, F., Bilir, S. ve diğ., 2015, AJ, 150, 55  
 Sung, H., Lim, B., Bessel, M. S. ve diğ., 2013, JKAS, 46, 103  
 Valenti, J. A., Piskunov, N. 1996, A&AS, 118, 595  
 Wilson, R.E., & Devinney, R.J. 1971, ApJ, 166, 605  
 Yi, S., Demarque, P., Kim, Y. C. ve diğ., 2001, ApJS, 136, 417

### Erişim:

034-1700: UAK-2015 Program --- UAK Bildiri --- Turkish J.A&A.