

YENİ BİR KÜÇÜK KÜTLELİ ÖRTEN ÇİFT YILDIZ: NSVS 02502726

Ö. ÇAKIRLI¹, C. GÜNGÖR¹, C. İBANOĞLU¹

¹Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova İzmir

Özet

Bu çalışmada, çift çizgili örten çift yıldız olan NSVS 02502726 (2MASS J08441103+5423473)'nın *R* ve *I* renklerinde fark fotometrisini ve optik tayfını sunuyoruz. İki renk ışık eğrileri ve dikine hızlar sisteminde her iki bileşenin de kütle ve yarıçap değerini ayrı ayrı duyarlı bir şekilde belirlemeyi olanaklı kılar. Çözüm sonuçları, NSVS 02502726 dizgesinin baş ve yoldaş bileşenlerinin dairesel yörüngede 0.56 gün yörünge dönemiyle dolandığını gösterir. Bileşenlerin kütlesi $M_1=0.714\pm 0.019 M_{\odot}$ ve $M_2=0.347\pm 0.012 M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir. Bileşenlerin her ikisi de $R_1=0.645\pm 0.006 R_{\odot}$ ve $R_2=0.501\pm 0.005 R_{\odot}$ ile geniş yarıçapa sahiplerdir. Bileşen yıldızların yarıçap ve kütle değerleri sırasıyla %1 ve %3 duyarlılık ile tespit edildi. Yoldaş bileşenin yarıçap değeri, diğer küçük kütleli yıldızlarda da görüldüğü gibi, modellerin tahminlerinden dikkat çekecek derecede fazla çıkmıştır. Güçlü H_{α} salmaları ve *R* ve *I* ışık eğrilerinde tutulmalar dışı dalga benzeri bozulma, muhtemelen her iki bileşen yüzeyindeki geniş leke bölgelerinden kaynaklanmaktadır. Dizgenin uzaklığı *BVRJHK* parlaklıklarından 173 ± 8 pc olarak hesaplandı. Bileşenlerin salt parametreleri her iki bileşenin de sıfır yaş anakoluna çok yakın yıldızlar olduğunu işaret etmiştir. Yıldız evrim modelleriyle yapılan karşılaştırmalar, yıldızların alt-anakol evrelerinin son basamağında ya da hidrojen yakmaya başladıklarına dayanarak yaşı sırasıyla 64 ya da 1860 Myr olarak verir.

Anahtar Kelimeler: yıldızlar:aktivite-yıldızlar:temel parametreler-yıldızlar:

Küçük kütle-yıldızlar:çift yıldızlar:örten çift yıldızlar

Abstract

We present optical spectroscopy and extensive R and I differential photometry of the double-lined eclipsing binary NSVS 02502726 (2MASS J08441103+5423473). Simultaneous solution of two-band light curves and radial velocities that permits determination of precise empirical masses and radii for both components of the system. The analysis indicates that the primary and secondary components of NSVS 02502726 are in a circular orbit with 0.56-day orbital period and have stellar masses of $M_1=0.714\pm 0.019 M_{\odot}$, and $M_2=0.347\pm 0.012 M_{\odot}$. Both of the components have large radii, being $R_1=0.645\pm 0.006 R_{\odot}$, and $R_2=0.501\pm 0.005 R_{\odot}$. The principal parameters of the mass and radius of the component stars are found with an accuracy of 3% and 1%, respectively. The secondary component's radius is significantly larger than model predictions for its mass, similar to what is seen in almost all of the other well-studied lowmass stars which belong to double-lined eclipsing binaries. Strong $H\alpha$ emission cores and considerable distortion at out-of-eclipse light curve in both R and I bandpasses, presumably due to dark spots on both stars, have been taken as an evidence of strong stellar activity. The distance to system was calculated as 173 ± 8 pc from the $BVR IJHK$ magnitudes. The absolute parameters of the components indicate that both components are very close to the zero-age main-sequence. Comparison with current stellar evolution models gives ages of 64 or 1860 Myr, depending on whether the stars are considered to be in the final stages of pre-main-sequence contraction or burning hydrogen on the main-sequence.

Key Words: *stars:activity-stars:fundamental parametersstars: low mass-stars:binaries:eclipsing*

1. GİRİŞ

Örten çift yıldızları kullanarak küçük kütleli yıldızların fiziksel parametrelerini belirleyen birçok çalışma, kuram ve gözlem arasında belirgin bir farklılığa işaret eder. Küçük kütleli yıldızların yarıçap ölçümleri örten çift yıldızlardan ve tek yıldızlar için interferometre ile yapılabilir. Bu ölçümler gözlenen yarıçapların kuramdan daha büyük

olduğunu açık bir şekilde göstermiştir. Diğer yandan gözlenen sıcaklıklar model tahmininden daha küçük çıkmaktadır. Bu farklılık, büyük yarıçap ve düşük sıcaklık, genel olarak güçlü yıldız aktivitesi ile açıklanır.

Küçük kütleli yıldızların fiziksel parametrelerini elde etmek oldukça zordur. En iyi kaynak çift çizgili örten çiftlerdir ancak bu sistemler sadece çok ender olmayıp aynı zamanda çok sönüklerdir. Bu nedenle tespit edilmeleri oldukça zordur. Coughlin & Shaw (2007)'da vurgulandığı gibi 2003'ten önce yalnızca üç tane küçük kütleli çift çizgili örten yıldız biliniyordu: CM Dra (Lacy 1977, Metcalfe ve ark. 1996), YY Gem (Leung & Schneider 1978, Torres & Ribas 2002) ve CU Cnc (Delfosse ve ark. 1999, Ribas 2003). Takip eden altı yıl içinde bu sayı üçe katlandı: BW5 V038 (Maceroni & Montalban 2004), TrES-Her 0-07621 (Creevey ve ark. 2005), GU Boo (Lopez-Morales & Ribas 2005), 2MASS J05162281+2607387 (Bayles & Orosz 2006), NSVS 01031772 (Lopez-Morales ve ark. 2006), UNSW-TR-2 A ve B (Young ve ark.2006) ve NGC 1647 kümesindeki 2MASS J04463285 A ve B (Hebb ve ark. 2006). Hemen ardından, Coughlin & Shaw (2007) tarafından yedi yeni küçük kütleli örten çift yıldız keşfedildi. Lopez-Morales ve ark. (2006)'da 34 yıldız dayanılarak manyetik aktivite seviyesi metal bolluğu ve yarıçaplar arasındaki olası ilişkiler tartışıldı. Ribas ve arkadaşları (Ribas ve ark. 2003, Morales ve ark. 2008) küçük kütleli yıldızların sistematik bir biçimde daha büyük yarıçaplı ve daha soğuk olmasına kuramsal hesaplamalar getirdi. Fakat, küçük kütleli yıldız ışıtmalarında model ve gözlem arasında belirgin bir fark bulunamamıştır.

Kesin bir şey vardır ki o da; iyi çalışılmış küçük kütleli çift yıldız sayısının artmasının gerekliliğidir. Bundan dolayı yeni yıldızların çalışılması çok kullanışlı olacaktır. NSVS 02502726 dizgesindeki ışık değişimi Northern Sky Variability Survey'den alınan verilerle Wozniak ve ark. (2004) tarafından keşfedildi. Ayrıca Coughlin ve Shaw (2007) tarafından bu yıldızın örten çift yıldız olduğu tespit edildi. İlk çalışma iki farklı küçük kütleli yıldızın bu dizgeyi oluşturduğunu göstermektedir ve görsel parlaklığı $V_{rotse}=13^m.41$, dönemi de yaklaşık 0.6 gün olarak belirlenmiştir. Bu çalışma tayfsal bir veri olmadan sadece ışıkölçüme dayanıyordu.

Bu yayında, NSVS 02502726 dizgesinin fotometrik ve tayfsal çalışmasını sunuyoruz. Bileşenlerin temel parametrelerini duyarlı bir

şekilde elde ettik. Elde edilen sonuçları kuramsal evrim modelleriyle karşılaştırdık.

2. GÖZLEMLER

2.1. Fark Fotometrisi

Bu çalışmada NSVS 0250'nin Bessel R ve I renklerinde fotometrisini yaptık. Fotometrik duyarlılık (birkaç milimagnitude) ve evre dağılımı (1000'in üzerinde gözlem noktası ile), ışık eğrisi parametrelerinin elde edilmesini olanaklı kılar. Gözlemler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde Ocak-Şubat 2008 tarihlerinde 40 cm.lik teleskop ile yapıldı. Teleskop, Apogee k^2 CCD ve standart Bessel R ve I filtreleri donanımı ile kullanılmıştır.

Takılı kamera donanımı ile $11'.3 \times 11'.3$ genişliğinde bir görüntü alanı sağlanır. NSVS 0250, çevresindeki yakın tayf türü yıldızlara oranla sönük bir hedeftir. En iyi duyarlılığı elde etmek için, NSVS 0250'yi CCD merkezine yerleştirerek, aynı görüntü içinde benzer parlaklıkta iki yıldız daha gözledik. Mukayese yıldızı olarak GSC 3798-1250 seçildi. Bu yıldız NSVS 0250'den $1'.479$ uzaklıkta bulunmaktadır. Denet yıldızı olarak ise mukayeseden ve değişen yıldızdan uzaklığı sırasıyla $3'.047$ ve $2'.629$ olan GSC 3798-1234 kullanıldı. Her iki yıldızın da gözlemler sırasında parlaklık değişimi olup olmadığı tespit edildi ve sabit oldukları görüldü.

Poz süresi 10s verilerek R filtresinde toplam 1190 ve I filtresinde toplam 1235 gözlem noktası elde edildi. Gözlemler, her filtrede çiftin tüm yörüngesini kapsamaktadır. Standart IRAF programı, elektronik gürültünün çıkartılması ve düz alan düzeltmesi yapılması için kullanıldı. IRAF'ta *imalign* taskı, yıldız görüntülerindeki pikseller arası farkın giderilmesi için kullanıldı ve tüm CCD görüntüleri aynı görelî koordinat sistemine yerleştirildi. Veriler, diğer bir alt program *phot* kullanılarak indirildi.

2.2. Yörünge Dönemi ve Tutulma Zamanı

Coughlin & Shaw (2007), NSVS 0250'nin de olduğu yedi küçük kütleli ayırık dizgeyi, Southern Association For Research in Astronomy (SARA) 0.9 m.lik teleskop ve Johnson V , R ve I filtrelerinde gözledi. NSVS 0250 için yörünge dönemi ve T_0 ilk olarak bu gözlemlerden belirlendi. Yörünge dönemi $P=0.559772 \pm 0.000007$ ve T_0 (HJD)= 2453692.0280 ± 0.0003 olarak en küçük kareler fiti ile

hesaplandı. NSVS 0250'nin dönemini duyarlı bir şekilde elde etmek için, minimum zamanları literatürden toplandı ve elde edilen yeni 8 minimum zamanı da eklenerek bu çalışma yapıldı. Bu 8 minimum zamanının dördü yan dördü de baş minimumdur. Tutulma merkezleri 6. derece polinomal fit uygulanarak hassas bir şekilde belirlendi. En küçük kareler fiti sonucu yörünge dönemini $P=0.559755\pm 0.000001$ olarak elde ettik. Bu Coughlin & Shaw (2007) tarafından bulunan değerden 1.5s kısadır. Yeni referans başlangıç zamanı olarak T_0 (HJD) = 2454497.5502 ± 0.0003 elde edildi. Bu durumda yeni ışık ögeleri; $Min I (HJD) = 2454497.5502(3) + 0.559755(1) \times E$. Bu ışık ögelerini kullanarak baş ve yan minimum arası ortalama evre farkını $\Delta\phi = 0.4992\pm 0.0008$ olarak tespit ettik ki bu dairesel yörüngeye karşılık gelmektedir.

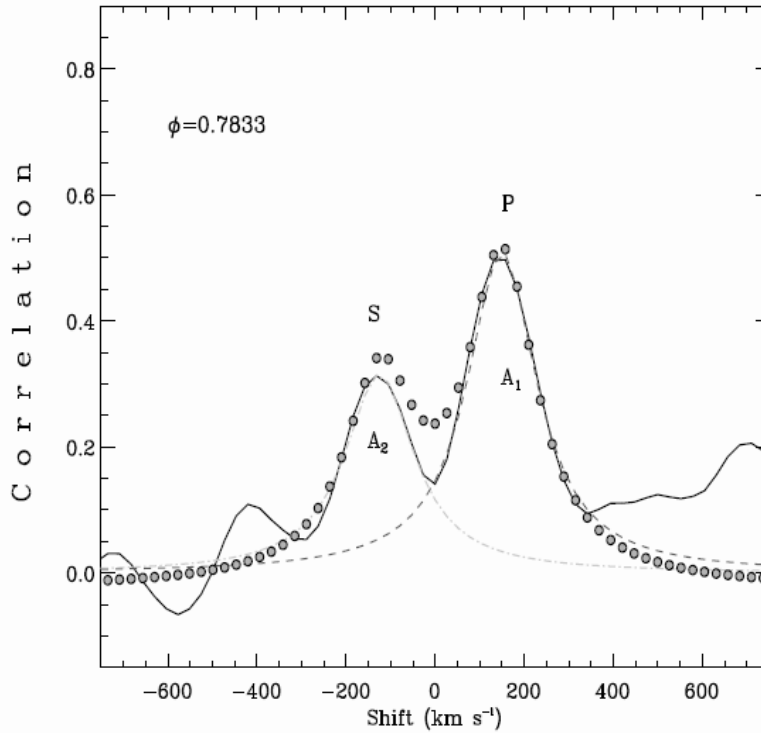
2.3. Echelle Tayfı

NSVS 0250'nin taysal gözlemleri (30 tayf) TFOSC tayfçekeri ile TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde 1.5 m.lik teleskop kullanılarak 21, 22, 23 Şubat 2008 tarihlerinde yapıldı. TFOSC ile birlikte 2048^2 piksellik CCD kullanıldı. Teleskop ve tayfçeker hakkında daha detaylı bilgi <http://www.tug.tubitak.gov.tr> adresinden elde edilebilir. Her tayfin dalgaboyu aralığı 11 order, 4200-8700 Å, çözümleme gücü 6563 Å'de $\lambda/\Delta\lambda$ 6000 ve sinyal/gürültü oranı (S/N) yaklaşık 140'dır. Ayrıca yüksek S/N oranı ile M cücesi GJ 410 (M0V) ve GJ 361 (M1.5V) yıldızlarının da tayflarını elde ettik ve bu yıldızları dikine hızların elde edilmesi için referans yıldız olarak kullandık (Nidever ve ark. 2002). Model olarak gerçek bir yıldızın kullanılması ile, küçük kütleli yıldızlar için oluşturulan yapay tayflardaki cüce atmosferinden kaynaklanan ve tayfta görülen bazı karmaşalardan kurtulmayı başardık.

Her görüntü için elektronik bias çıkarıldı ve kozmik ışıkların temizlenmesi için *crreject* opsiyonu kullanıldı. Sonuçta elde edilen tayflar kozmik ışıklardan büyük oranda temizlendi. Echelle tayfı elde edildi ve Fe-Ar lamba kaynağı kullanılarak IRAF *ECHELLE* paketi ile dalgaboyu kalibrasyonu yapıldı. Standart yıldızlar IRAF *fxcor* taskı kullanılarak birbirleriyle kıyaslandı ve tayfçekerlerin duyarlılığı test edildi. *fxcor* ile ölçülen ve Nidever ve ark. (2002)'den alınan dikine hızlar arasındaki standart sapma yaklaşık 1.1 kms^{-1} 'dir.

Bu çalışmada NSVS 0250'nin bileşenlerinin dikine hızları IRAF fxcor taskı (e.g. Tonry & Davis 1979) ile çapraz korelasyon fonksiyonu (CCFs) kullanılarak elde edildi. Model tayf olarak sentetik tayf yerine M cücesi GJ 410 ve GJ 361'in tayfları kullanıldı. Bunun arkasındaki sebep, atmosfer modelleri kullanılarak hesaplanan sentetik tayfda, $0.60-0.65 M_{\odot}$ kütlelin altındaki yıldızlarda ($T_e \leq 4000$ K) tayfsal çizgi çeşitliliği yerini geniş molekül bandlarına bırakmaktadır. Buna H_2O molekülleri örnek olarak gösterilebilir. Modellerin eksikliğinden uzak durmak için benzer tayf özellikleri gösteren gerçek yıldızları kullandık.

Değişik evrelerdeki CCFs örneklerinden peçelenmemiş iki pik NSVS 0250'nin her bir bileşenine ait çizgiler açıkça görülmektedir. Daha güçlü olan tayfta daha baskın olan yüksek ışıtmalı bileşene aittir. Tayf çizgilerinin ayrı ayrı görüldüğü evrelerde çapraz korelasyon piklerini çözmek için iki Gauss fiti uygulanmıştır.



Şekil 1. NSVS 0250 ve GJ 410'un $\phi=0.7833$ evredeki model tayfi arasındaki içiçe geçmiş çapraz korelasyon fonksiyonu.

Ara evrelere yakın evrelerde, baş ve yoldaş bileşene ait soğurma çizgileri $4200 - 6800 \text{ \AA}$ arasında kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Çözümlerimizi çok sayıda soğurma çizgilerini kapsayan $4200 - 6800 \text{ \AA}$ aralığında sınırladık. Hataları çok yüksek

olacağından H_α , H_β ve H_γ gibi genişlemiş çizgilerden uzak durduk. CCF piklerini ayırmak için, IRAF *splot* rutininde ayrı ayrı iki Gauss fiti kullanıldı ve her bileşene ilişkin dikine hızlar elde edildi. FWHM'a fit yapılmış ortalama hızlar, sırasıyla baş ve yoldaş bileşen için $200 \pm 12 \text{ km s}^{-1}$ ve 190 km s^{-1} olarak bulunmuştur. Şekil 1'de çift Gauss fitine örnek verilmiştir. Gerçekten de, CCFs piklerinin şekilleri ve hızları evreye göre yavaş değişmektedir. Baş ve yoldaş yıldızlara ait çizelgelerin Lorentian profillerindeki alanlar (A_1 ve A_2) ölçülerek, baş ve yoldaş yıldız arasındaki ısıtma oranını 1.613 olarak bulduk. Bu oran kullanılarak $L_1/(L_1+L_2)=0.617$ elde edildi.

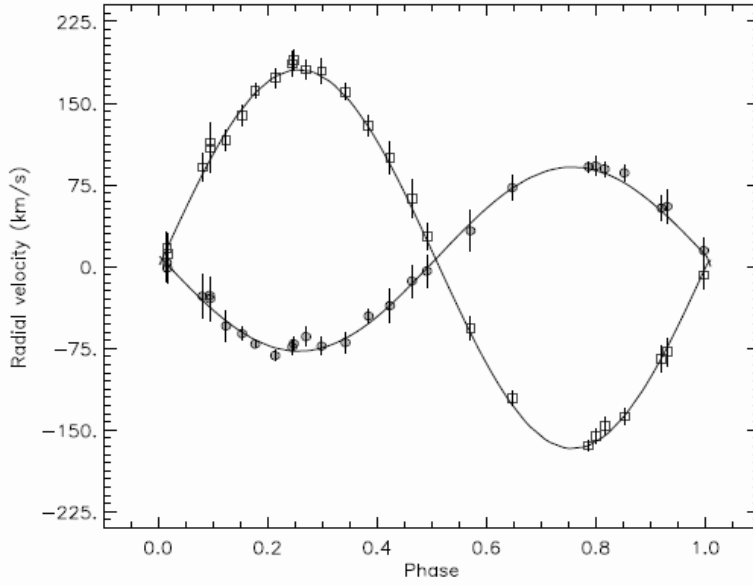
Baş ve yoldaş bileşenin Güneş merkezine indirgenmiş dikine hızları (V_p , V_s) ve yörünge evreleri Bölüm 2.2'de verilen yeni ışık öğeleri kullanılarak hesaplanan evrelerdir. Dikine hız standart yıldızları GJ 410 için -13.9 km s^{-1} (Giese 1991) olan hız değeri kullanılarak Güneş merkezli koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dikine hızlar standart yıldızında orderlarına karşılık gelen hedef yıldızın tayfinin #4, #5, #6 ve #7 orderlarından çapraz korelasyon yöntemiyle elde edilen değerlerin ağırlıklı ortalamasıdır. Her ölçümde ağırlık $W_i=1 / \sigma_i^2$ olarak alınmıştır. Standart ağırlıklı hatalar, geleneksel formüle göre (e.g. Topping 1972) her order için dikine hızlardaki hatalara (σ_i) dayanılarak hesaplandı. σ_i değerleri, Tonry & Davis (1979) tarafından tanımlandığı gibi fit uygulanmış pik genişliğine göre $fxcor$ tarafından hesaplandı. Gözlem noktaları hata barlarıyla birlikte Şekil 2'te yörünge evresinin bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Yarı büyük eksen uzunluğunu $a=2.939 \pm 0.027 R_\odot$ ve kütleli baş yıldızın ve daha küçük kütleli yoldaş yıldızın yarı genlikleri sırasıyla $K_1=86 \pm 3 \text{ km s}^{-1}$ ve $K_2=177 \pm 4 \text{ km s}^{-1}$ olarak ölçüldü.

3. ÇÖZÜM

3.1 Sistem Değişkenliği

I ve R filtrelerinde elde ettiğimiz ışık eğrileri, Coughlin & Shaw (2007) tarafından aynı filtrelerde elde edilen ışık eğrilerinden belirgin bir şekilde farklıdır. Coughlin & Shaw (2007)'ın ışık eğrileri, ikinci çeyrekte ilk çeyrekte biraz daha parlak olacak şekilde yaklaşık olarak simetriktir. Asimetri kısa dalgaboylarında daha iyi ayırt edilebilir. Baş ve yan minimumlar I renginde, sırasıyla $0^m.88$ ve $0^m.41$ olmak üzere daha derindir. Bizim elde ettiğimiz ışık eğrilerinde ise,

her iki yıldızında üzerinde leke olabileceğini gösteren, tutulmalar dışında $0^m.07$ genlikli değişim bulunmuştur. Işık eğrilerindeki asimetri küçük kütleli örten çift yıldızlar için sıradan bir olgu sayılabilir (e.g. GU Boo'nun ışık eğrisi, Lopez-Morales & Ribas 2005). NSVS 0250'nin aktivite seviyesi, diğer iyi çalışılmış küçük kütleli örten çift yıldızlarla benzerdir. Eğer, tutulmalar dışı ışık değişimi lekelerden kaynaklanıyorsa, bir ya da her iki yıldızın yüzeyinin bir kısmı soğuk lekelerle kaplı olması gerekmektedir.



Şekil 2. Elde edilen dikine hız eğrisi.

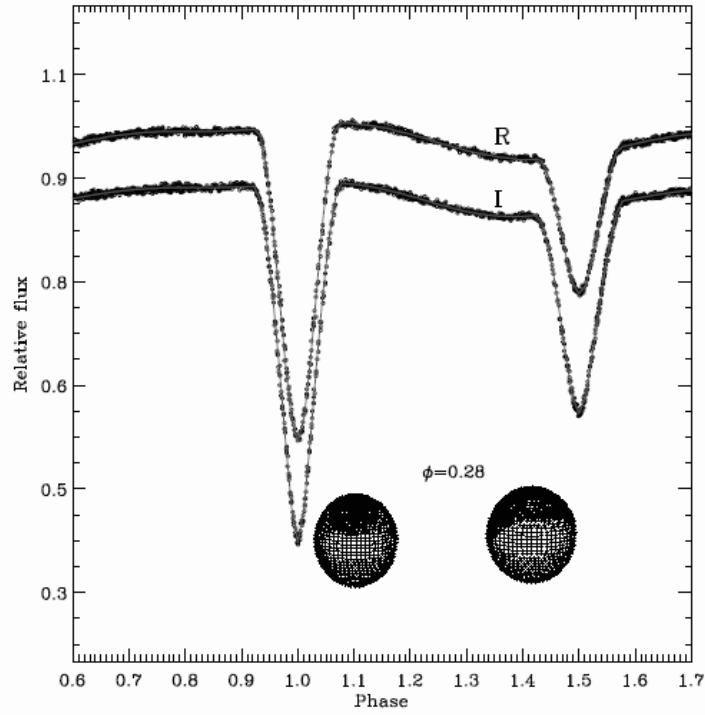
3.2 Işık Eğrisi Modelleme

Işık eğrilerini ve dikine hızları Wilson-Devinney (WD) kodlarını kullanan PHOEBE programı (Prsa & Zwitter 2005) ile modelledik. Bu programın son versiyonu, hem dairesel hem de basık yörüngeli sistemler için ışık eğrilerini ve dikine hızları aynı anda analiz etmeye olanak sağlar. Model oluşturulurken ayırık çiftler için tasarlanmış Mode-2 kullanıldı. Yıldız modellerindeki en basit kabuller yapıldı: Yıldızlar karacisim gibi düşünüldü ve yaklaşık yansıma modeli (MREF=1) uygulandı. Çekimsel kararma katsayıları, Claret (2000) tarafından verilen sıcaklıklara uygun olarak, 0.32 kabul edildi. Her yıldız için bolometrik albedolar, konvektif zarflı yıldızlar için uygun değer olan 0.5 kabul edilerek çözüm yapıldı.

Eğer ışık eğrisi biçiminde asimetri varsa bu, bir yıldızın ya da her iki yıldızın da üzerindeki, sıcak ya da soğuk lekenin varlığına atfedilir. PHOEBE’de lekeler, Wilson-Devinney (1971) kodu ile aynı yöntemle belirlenir. Lekeler daire şeklindedir ve dört parametre ile tanımlanır: Sıcaklık faktörü (T_f), leke merkezinin enlemi, leke merkezinin boylamı ve lekenin açılmal yarıçapı. Parlak lekeler için $T_f > 1$, soğuk lekeler için $T_f < 1$ alınır.

Çiftin baş bileşeninin etkin sıcaklığı, yıldızın kütlesini kullanan Drilling & Landolt (2000) kalibrasyonlarından belirlendi. Baş bileşen K3 tayf türüne ve etkin sıcaklığı 4650 K olan $0.71 M_{\odot}$ kütleli bir yıldız olarak görülüyordu. Diğer yandan NSVS 0250’nin 2MASS kataloğunda (Skrutskie 1999) verilen kızıl ötesi renkleri, $H-K=0^m.154$ ve $J-H=0^m.584$, Tokunaga (2000) tarafından verilen renk-etkin sıcaklık ilişkisinden sıcaklık 4300 K belirlenmektedir. Bu nedenle ışık eğrisi analizine sıcak bileşeni 4300 K kabul ederek başladık. Işık eğrisi analizi sonucunda elde edilen sıcaklık oranı ile yoldaş yıldızın sıcaklığı $T_2=3620 \pm 120$ K olarak belirlendi. Çift yıldızın parametrelerini elde edebilmek için iki adım izledik. Bunlardan birincisi, yörünge eğiminin, yoldaş yıldızın etkin sıcaklığının (T_2) ve potansiyellerin (yarıçaplar), sentetik ışık eğrilerinin tutulma derinlikleri ve biçimleri R ve I filtrelerinin her ikisine de uyum gösterecek şekilde PHOEBE’de adım adım iterasyonu yapıldı. İterasyon, parametrelerin değerlerinin iki iterasyon arasındaki farkı hatalardan küçük olana dek sürdürüldü. Işık eğrisi analizi sonuçlarında ikinci yıldızın etkin sıcaklığı $T_2=3620 \pm 120$ K olarak elde edildi. Daha küçük kütleli olan yoldaş bileşene ait bu sıcaklık onun bir M2 yıldızı olduğunu göstermektedir.

Son adımda yüzeydeki lekeleri tanımladık. Önce tutulmalardaki ışık seviyesine uyum sağlayan sentetik eğriler oluşturuldu. Hemen ardından ışık eğrilerinin seviyesinin tutulmalar dışına da uyum göstermesi sağlandı ve lekeler eklenerek tutulmalar dışındaki dalga benzeri bozulma tanımlanmış oldu. Işık eğrisi modelleri R ve I filtrelerinde yaptığımız fotometri sonucu elde ettiğimiz tutulma geometrisiyle karşılaştırıldı.



Şekil 3. *I ve R renklerindeki ışık eğrileriyle model sonuçlarından elde edilen sentetik ışık eğrisinin karşılaştırılması.*

Elde ettiğimiz fotometrik veriyi, Tablo 1’te verilen parametreler ile elde edilen sentetik ışık eğrileriyle karşılaştırdık. Leke kullanmadan tatmin edici bir sonuca ulaşamadı. Sıcaklık faktörü,

$$T_f = \frac{T_{spot}}{T_{fotosfer}} = 0.85$$

lekeler eklenerek ışık eğrisi modeli tamamlandı.

Şekil 3’te, oluşturulan sentetik ışık eğrileriyle gözlemsel *R* ve *I* ışık eğrilerinin karşılaştırılmasını veriyoruz.

4. ÖZET ve TARTIŞMA

4.1 Bileşenlerin Salt Parametreleri

Fotometrik ve tayfsal sonuçları birleştirerek yıldızların salt parametrelerini elde ettik değerlerin standart sapmaları, bolometrik düzeltmenin pek çok farklı kaynağını kullanarak uzaklık ve diğer fiziksel parametreleri hesaplayan JKTABSDIM⁴ tarafından bulundu (Soutworth ve ark. 2005a). Elde edilen en uyumlu modelin parametreleri hataları ile birlikte Tablo 1’te verilmektedir.

⁴ <http://www.astro.keele.ac.uk/~jkt/codes.html>’den elde edilebilir.

Tablo 1. *NSVS 02502726'nin bileşenlerinin özellikleri.*

Parametreler	Değer
P(gün)	0.559755
T0	24 54497.5502
γ	3.15±0.04
q	0.4857±0.0105
i	86.2±0.9
a	2.939±0.027
K_1	86±3
K_2	177±4
$L_1/(L_1+L_2)_R$	0.6017±0.0009
$L_1/(L_1+L_2)_I$	0.5858±0.0008
Ω_1	4.9405±0.0018
Ω_2	4.1333±0.0024
r_1	0.2212±0.0002
r_2	0.1719±0.0003
T_1	4 300[FIX]
T_2	3620±120

İki yıldızın sıcaklığındaki göreceli fark ($T_2/T_1=0.84$) kütleleri ve yarıçapları arasındaki farklarla uyumludur. Fakat hala NSVS 0250'nin sıcaklığının daha duyarlı ölçümlerine ihtiyaç vardır. Baş yıldızın çözüm başlangıcında sabitlenmiş etkin sıcaklığı ve yoldaş yıldızın hesaplanmış olan etkin sıcaklıklarındaki belirsizliğin, elde edilen salt boyutların hassasiyetine etkisi yoktur. Örneğin ışık eğrisi modelinden elde edilen yarıçaplar, sabit tutulan etkin sıcaklıktaki belirsizliklere izin vermektedir. Tablo 2'te verilen ışınım ve yıldızların salt bolometrik parlaklıkları M_{bol} , etkin sıcaklıkları ve yarıçaplar kullanılarak hesaplanmıştır. Küçük kütleli yıldızlar daha uzun dalgalarda daha yüksek ışınımına sahip olduklarından Coughlin & Shaw (2007) tarafından verilen *RIJHK* parlaklıklarını kullandık. Kervella ve ark. (2004) tarafından verilen *UBVRIJHKL* parlaklık- T_{eff} ilişkisi kullanılarak NSVS 0250'nin uzaklığını $d=173\pm 8$ pc bulduk.

Baş yıldız için, *R* ve *I* renklerindeki ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen toplam ışınım katkı, $L_1/(L_1+L_2)=0.60$, FWHM olan 0.62'den hesaplanandan %3 daha küçüktür. Ancak FWHM'den elde

edilen oranın standart sapması ile iyi bir uyum içerisindedir. Diğer yandan, Tablo 2’de verilen salt parametreleri kullanarak baş bileşenin toplam ışınımına katkısını 0.77 olarak bulduk. Bu, örten çiftlerdeki lekeli bileşenlerin toplam ışınımına katkılarının dalgaboyuna bağlı olduğunu göstermektedir.

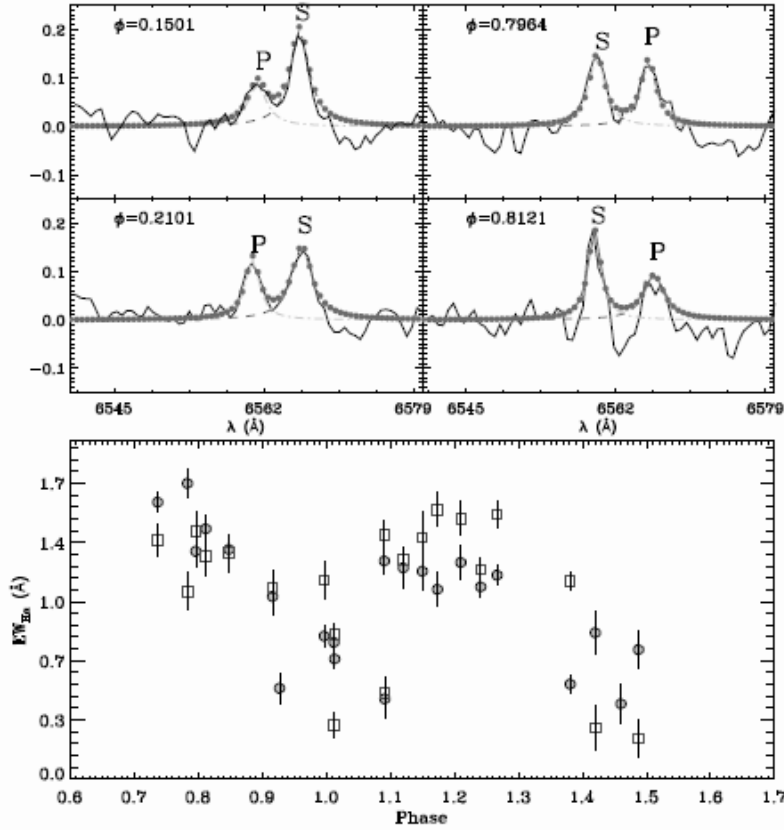
Tablo 2. *NSVS 02502726’nın bileşenlerinin salt öğeleri.*

Parametre	Baş yıldız	Yoldaş yıldız
M (M_{\odot})	0.714±0.019	0.347±0.012
R (R_{\odot})	0.645±0.006	0.501±0.05
T(K)	4 300±200	3 620±120
L (L_{\odot})	0.128±0.013	0.038±0.004
log g (cgs)	4.673±0.004	4.579±0.008
Mbol (mag.)	6.97±0.11	8.29±0.12
Mv (mag.)	7.82±0.11	10.05±0.12
D (pc)	173±8	

4.2 H_{α} Salma Profilleri

H_{α} çizgisi, küçük kütleli yıldızlarda fotosferik ve kromosferik aktivitenin önemli bir kanıtıdır. Çok aktif çift yıldızlar süreklilik üzerinde H_{α} salması gösterirler (e.g. SDSS-MEB-1, Blake ve ark. 2007); daha az aktif yıldızlarda sığ soğurma çizgisi görülür. YY Gem’de görüldüğü gibi (Young ve ark. 1989), bazı nesnelere flare olayı sırasında H_{α} çizgi profili sığ soğurma çizgisinden salma çizgisine döner. NSVS 0250’nin elde ettiğimiz tayflarında, bazı evrelerde her iki bileşene de ait güçlü H_{α} salmaları gördük. Fakat bazı yörünge evrelerinde H_{α} çizgisi çok sığ soğurma olarak görülmektedir. Şekil 4’de bazı evrelerdeki H_{α} salma profillerini, çizgi genişliğinin evrenin fonksiyonu olarak gösterimi (alt panel) ile birlikte sunuyoruz. H_{α} çizgisi eşdeğer genişliğinin (EW) yörünge evresiyle değiştiğinin net kanıtlarını bulduk. Ayrıca, lekeli bölge görünür olduğunda H_{α} çizgi genişliğinin arttığını bu grafikte görmekteyiz. H_{α} çizgisinin eşdeğer genişliği ve yörünge evresi arasındaki ilişki kromosferik aktif yıldızlar olan RS CVn tipi yıldızlarda uzun zamandır bilinmektedir.

NSVS 0250'nin gözlemleri tüm yörünge evrelerine iyi bir şekilde yayılmıştır ve tayfsal çözünürlüğü 0.9 \AA olarak elde edilmiştir. Her iki bileşen de H_α salma çekirdeği göstermektedir ve daha büyük kütleli olan bileşen genellikle daha zayıf salmaya sahiptir.



Şekil 4. NSVS 0250'nin H_α salmasının farklı evrelerdeki durumu (üst panel). Evreye göre H_α çizgisinin eşdeğer genişliğindeki değişim.

Çift H_α salması görülen dört tayfta her iki bileşenden de yeğinlikleri kıyaslanabilir ölçüde salma çizgileri görülmektedir.

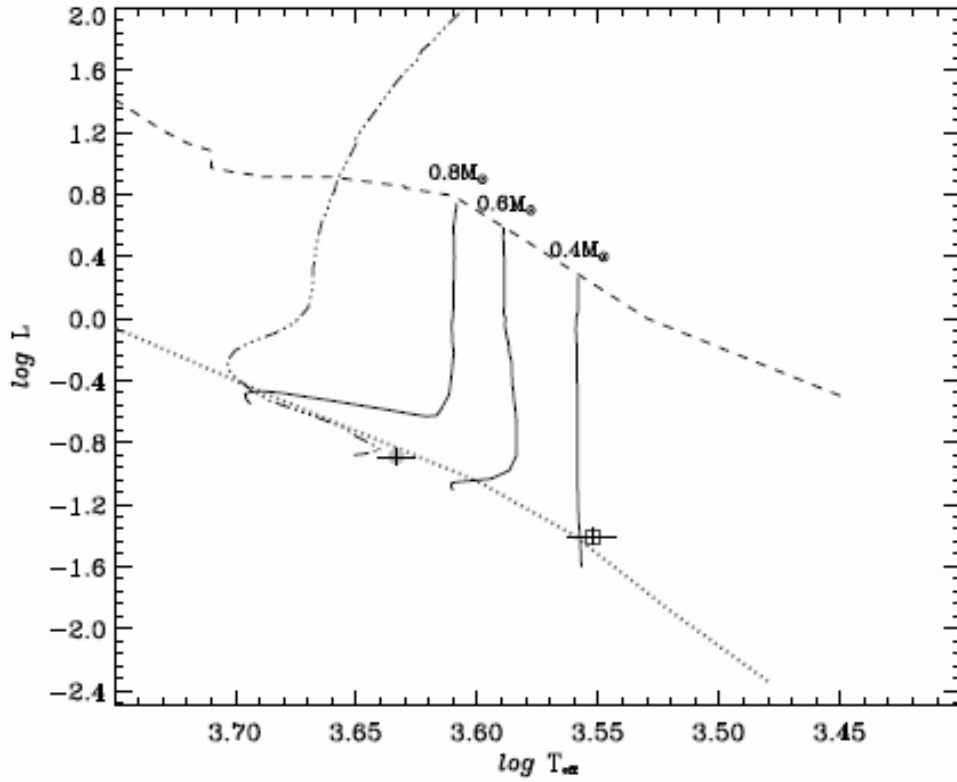
Baş minimumda daha geniş EW görülmesiyle, fotometrik ve H_α çalışmaları sonucu, küçük kütleli ve daha soğuk olan bileşenin daha yüksek seviyede aktivite olayı gösterdiği söylenebilir. Bundan dolayı yoldaş yıldız daha geniş leke bölgelerine sahip olmalıdır.

4.3 H-R Diyagramı

Çözüm sonuçlarını elde ettikten sonra artık, sonuçlarımızla kuramsal evrim modellerini karşılaştırabiliriz. Örnek olarak Şekil 5'da baş ve yoldaş yıldızın HR diyagramındaki yerleri gösterilmiştir. Palla & Stahler (1999)'dan alınan 0.8 , 0.6 ve $0.4 M_\odot$ kütleli alt-anakol

yıldızlarının evrim yolları da bi diyagramda işaretlenmiştir. Baş bileşenin $\log T_e - \log L$ diyagramındaki yeri kuramın tahminleriyle iyi bir uyum içerisinde. Eğer yıldızlar hala alt-anakol evresinde ise yaş 64 Myr olarak hesaplanır. İkinci bileşen $\log T_e - \log L$ diyagramında kuramla uyum gösteriyor gibi görünse de bu uyum, etkin sıcaklığı için olması gereken çekim ivmesinden daha düşük çekim ivmesi değeriyle, $\log T_e - \log g$ diyagramında bozulur. Bu da daha büyük yarıçapın işaretçisidir. Ribas ve ark. (2003) ve Morales ve ark. (2008), $1 M_{\odot}$ 'in altında kütleyle sahip ayırık çiftler için gözlemsel veriler ve model tahminleri ile, kütle-yarıçap ve kütle etkin sıcaklık ilişkilerini incelemişlerdir. Vurguladıkları nokta, günümüz yıldız modellerinin yarıçapları ölçülenden %10 mertebesinde düşük tahmin edebildiğidir. Ayrıca ısıtımalar modellerle uyum içindeyken etkin sıcaklık %5 daha büyüktür. Büyük kütleli bileşenin yarıçapı aynı kütledeki yıldızlarıkiyle uyumlu olsa da, yoldaş bileşen kuramın öngörüsünden %50 daha büyük görülmektedir. Yoldaş yıldızın $\log T_e - \log g$ diyagramında tahminlerden sapmasının asıl nedeni budur. Morales ve ark. (2008), kromosferik aktif yıldızların benzer ışınımına sahip aktif olmayan yıldızlardan daha büyük yarıçapa sahip ve daha soğuk olduğunu göstermiştir. Daha düşük sıcaklık genç yaşın sonucu olarak $\log T_e - \log L$ diyagramında ortaya çıkacaktır.

Şekil 5'de ayrıca Girardi ve ark. (2002)'den alınan $0.7 M_{\odot}$ anakol yıldızları için evrim yolunu da gösterdik. Eğer NSVS 0250 anakol evresinde bir yıldız olarak varsaydığımızda olası yaşını 1.86 Gyr olarak belirledik. Bu durumda baş yıldız anakoldan evrimleşmiş bir yıldız olarak görülmektedir. NSVS 0250'nin bileşenlerinin Güneş merkezine indirgenmiş uzay hızları; pozisyonları, dikine hızları (γ), uzaklıkları (d) ve öz hareketlerinden hesaplandı. Geriye kalanlar 2MASS kataloğundan alındı (μ_{α} , μ_{δ}). Uzay hızı bileşenleri (U , V , W) sonuç olarak; $U=-1.7\pm 0.2 \text{ kms}^{-1}$, $V=1.6\pm 0.3 \text{ kms}^{-1}$ ve $W=2.6\pm 0.1 \text{ kms}^{-1}$ olarak bulundu ki buradan dizgenin toplam hızı $S=4.1\pm 0.9 \text{ kms}^{-1}$ olarak bulunur. Sonuç olarak NSVS 02502726'nın yaşlı bir yıldız olmadığını söyleyebiliriz. Bu dizge 64 Myr'lik yaşı ile çok genç bir dizgedir.



Şekil 5. Baş (daire) ve yoldaş (kare) yıldızın H-R diyagramındaki yerleri. Sürekli çizgiler 0.4 0.6 ve 0.8 M_{\odot} kütleli yıldızlar için evrim yollarını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Bayless, A. J. and Orosz, J. A., 2006, ApJ, 651, 1155
 Blake, C. H., Torres, G., Bloom, J. S., and Gaudi, B. S., 2007, arXiv0707.3604v1
 Claret, A., 2000, A&A, 359, 289
 Coughlin, J. L., and Shaw, J. S., 2007, JSARA, 1, 7C
 Creevey, O. L., Benedict, G. F., Brown, T. R., et al. 2005, ApJL, 625, 127
 Delfosse, X., Forveille, T., Mayor, M., Burnet, M., and Perier, C., 1999, A&A, 341, 63
 Drilling J. S., Landolt A.U., 2000, Allen's Astrophysical Quantities, Fourth Edition, ed.
 A.N.Cox (Springer), p.388
 Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., and Chiosi, C., 2002, A&AS, 141, 371
 Hebb, L., Wyse, R. F. G., Gilmore, G. and Holtzman, J., 2006, AJ, 131, 555
 Kervella, P., Segransan, D., Coude du Foresto, V., 2004, A&A, 425, 116
 Lacy, C. H., 1977, ApJ, 218, 444

- Leung, K. C. and Schneider, D. P., 1978, *AJ*, 83, 618
- Lopez-Morales, M., Orosz, J. A., Shaw, J. S., et al., 2006, *ApJ*, submitted, [arXiv:astroph/0610225]
- Lopez-Morales, M., and Ribas, I., 2005, *ApJ*, 631, 1120
- Maceroni, C. and Montalbán, J., 2004, *A&A*, 426, 577
- Metcalf, T., S., Mathieu, R. D., Latham, D. W., and Torres, G., 1996, *ApJ*, 456, 356
- Morales, J. C., Ribas, I., and Jordi, C., 2008, *A&A*, 478, 507
- Nidever, D. L., Marcy, G. W., Butler, R. P., Fischer, D. A., and Vogt, S. S., 2002, *ApJS*, 141, 503
- Penny, R. L., et al., 2001, *ApJ*, 548, 889
- Palla, F., and Stahler, S. W., 1999, *ApJ*, 525, 772
- Prsa, A., and Zwitter, T., 2005, *ApJ* 628, 426
- Ribas, I., 2003, *A&A*, 398, 239
- Southworth, J., Clausen, J. V., 2005, *A&A*, 461, 1077
- Skrutskie, M. F., et al. 1999, *AJ*, 131, 1163
- Torres, G., and Ribas, I., 2002, *ApJ*, 567, 1140
- Tonry, J., Davis, M., 1979, *AJ* 84, 1511
- Topping, J., 1972, "Errors of Observation and Their Treatment", (Chapman and Hall Ltd.), 89
- Tokunaga, A. T., 2000, *Allen's astrophysical quantities*, Fourth Edition, ed. A.N.Cox (Springer), p.143
- Wozniak, P. R., et al. 2004, *AJ*, 127, 2436
- Wilson R.E., Devinney E.J., 1971, *ApJ*, 166, 605
- Young, T. B., Hidas, M. G., Webb, J. K., Ashley, M. C. B., Christiansen, J. L., Derekas, A., and Nutto, C., 2006, *MNRAS*, 370, 1529
- Young, A., Skumanich, A., Stauffer, J. R., Harlan, E., Bopp, B. W., 1989, *ApJ*, 344, 427