

NN Vir ve V351 Peg'in Fotometrik Analizi

Mesut YILMAZ, Taner TANRIVERDİ, Cem ÇETİNTAŞ, Hakan Volkan ŞENAVCI, Ozan AKSU, Arzu KARA, Aslı ELMASLI, İbrahim ÖZAVCI, Berahitdin ALBAYRAK ve Selim Osman SELAM

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

Özet: Yakın tarihte keşfedilen NN Vir ve V351 Peg örten değişen çift sistemlerinin fotometrik B, V ve B, V, R ışık eğrileri, fiziksel parametrelerini ilk kez belirleyebilmek için analiz edildi. Her iki yıldızın ışık eğrileri sırasıyla Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde elde edildi. Analizler Djurasevic'in programı yardımıyla yapıldı ve NN Vir ve V351 Peg'in bileşenleri arasında düşük sıcaklık farkı bulunan değen çift sistemler olduğu belirlendi. Ayrıca her iki çift sistemde büyük kütleli bileşenden daha küçük kütleli bileşene doğru gerçekleşen enerji ve kütle transferinin var olabileceği görüldü.

Anahtar kelimeler: Örten çift yıldızlar, ışık eğrisi analizi, NN Vir, V351 Peg

Abstract: Photometric BV and BVR light curves of the recently discovered eclipsing binaries NN Vir and V351 Peg were studied for the first time to derive physical parameters of the systems. The light curves of NN Vir and V351 Peg were obtained at the Ankara University Observatory and TÜBİTAK National Observatory, respectively. The solutions made by using Djurasevic's inverse problem method to describe the NN Vir and V351 Peg systems as an overcontact binaries with a relatively small temperature differences between the components. Also, the both solutions were describe a significant mass and energy transfer from the more massive primary onto the less massive secondary.

Key words: Eclipsing binary stars, light curve analysis, NN Vir, V351 Peg

1. Giriş

NN Vir (HD 125488, BD +06 2869) HIPPARCOS uydusu (ESA, 1997) tarafından keşfedilen bir değişen yıldızdır. HIPPARCOS fotometrik gözlemlerine göre sistemin ışık değişim genliği $0^m.41$ 'dir. Woitas'a (1997) göre bu yıldız ~ 0.20 günlük döneme sahip RR Lyrae türü bir değişen yıldızdır. Gomez-Forrellad vd. (1997), V bandında 6 cm'lik teleskopla elde ettikleri ışık eğrisinden sistemin W UMa türü bir örten çift yıldız olduğunu gösterdiler. Ayrıca NN Vir'in dört minimum zamanını da gözlemleyerek sistemin ilk ışık elemanlarını belirlediler. Yakın tarihte Rucinski ve Lu (1999) her iki bileşenin dikine hız eğrisini elde ederek sistemin kütle oranını $q=m_2/m_1=0.491$ olarak hesapladı. Bunun yanısıra Rucinski ve Lu (1999), NN Vir'in F0/F1 V tayf sınıfına sahip A alt sınıfından bir W UMa türü örten değişen olduğuna dikkat çektiler.

V351 Peg'in (HD 220659, BD 14 4990) değişen bir yıldız olduğu ilk kez HIPPARCOS uydusu (ESA, 1997) tarafından belirlendi. HIPPARCOS fotometrik gözlemlerine göre sistem genliği $0^m.31$ olan bir ışık değişimi göstermektedir.

HIPPARCOS sınıflamasına göre bu sistem dönemi ~ 0.30 gün olan RRc türü pulsasyon yapan bir değişen yıldızdır. Gomez-Forrellad vd. (1997) V bandında 6 cm teleskopla elde ettikleri ışık eğrisinden sistemin W UMa türü bir örten çift yıldız olduğunu gösterdiler. Ayrıca ışık eğrisinden elde ettikleri minimum zamanlarını kullanarak V351 Peg'in ilk ışık elemanlarını belirlediler. Rucinski vd. (2001) her iki bileşenin dikine hız eğrilerini elde ederek sistemin kütle oranını $q=m_2/m_1=0.360$ olarak hesapladılar. Rucinski vd. (2001), V351 Peg'in W alt sınıfından bir W UMa türü örten değişen olduğunu ve tayf türünün de A8 V olarak belirlediler.

2. Gözlemler

NN Vir'in ışık eğrisi gözlemleri BV bandlarında Mayıs 2002'de 3 gecede Ankara Üniversitesi Gözlemevi'ndeki 30-cm Maksutov teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile elde edildi. Gözlemlerde BD+06 2864 ve BD+05 2865 yıldızları sırasıyla mukayese ve denet yıldızları olarak kullanıldı. Gözlemler esnasında mukayese ve denet yıldızında herhangi bir ışık değişimi görülmedi. Ayrıca her gece için atmosferik sönmüleme katsayıları da mukayese yıldız gözlemleri kullanılarak hesap edildi. Gözlemlerde

her filtre için toplam 217 nokta elde edildi. B ve V bandlarındaki gözlemlerin olası hataları sırasıyla ± 0.020 ve $\pm 0.026'$ 'dır. Mukayese ve denet yıldızlarına ait katalog bilgileri Tablo 1'de listelendi.

NN Vir'in BV ışık eğrileri Şekil 1'de verildi. Şekil 1'deki ışık eğrileri (1) ifadesinde verilen yeni ışık elamanları ile oluşturuldu. NN Vir'in tüm diferansiyel gözlem verisi Müyesseroğlu (2003) tarafından standart parlaklık sistemine dönüştürüldü. Tablo 2'de sistemin ışık eğrisi özellikleri sunuldu. Tablo 2 ve Şekil 1'den kolayca görülebileceği gibi, B ve V bandlarındaki ışık eğrilerinde birinci minimumlar ikinci minimumlardan daha derin gözükmemektedir. Ayrıca ışık eğrilerinin iki maksimumu arasında önemli bir seviye farkı ve asimetrik yapı gözükmemektedir. NN Vir'in ışık eğrisi iki minimum zamanını da kapsamaktadır. Ayrıca 2002 gözlem programı çerçevesinde NN Vir'e ait üç minimum zamanı daha gözlemlendi ve bu zamanlar Kwee & van Woerden (1956) yöntemi ile hesaplanıp Albayrak vd. (2002) tarafından yayınlandı. NN Vir'in bu minimum zamanları ile birlikte Gomez-Forrellad vd. (1997)'in dört minimum zamanında kullanılarak aşağıdaki yeni ışık elamları elde edildi:

$$\text{HJD MinI}=2450520.5962(5)+0^{\text{e}}.48068667(2)\times\text{E} \quad (1)$$

Tablo 1. NN Vir, mukayese ve denet yıldızlarına ait katalog bilgileri

Parametre	NN Vir	Mukayese	Denet
BD	+06 2869	+06 2864	+05 2865
HD	125488	124970	-
α_{2000}	14 ^h 19 ^m 38 ^s	14 ^h 16 ^m 35 ^s	14 ^h 18 ^m 26 ^s
δ_{2000}	05°53'47''	05°31'55''	05°13'25''
m _v	7 ^m .64	8 ^m .33	9 ^m .95
Tayf Türü	F0/F1 V	F5	F0

Tablo 2. NN Vir' in ışık eğrisi özellikleri

	B	V	HIP
Max (0.25)	7.896±0.012	7.493±0.015	7.609±0.029
Max (0.75)	7.887±0.026	7.502±0.029	7.581±0.012
Min (0.00)	8.351±0.013	7.938±0.022	8.031±0.024
Min (0.50)	8.271±0.011	7.910±0.008	8.026±0.012
Δ_{max}	0.009	-0.009	0.028
Δ_{min}	0.080	0.028	0.005
Min I Derinliği	0.455	0.445	0.417
Min II Derinliği	0.384	0.408	0.445

V351 Peg örten çiftinin BVR bandlarındaki gözlemleri 29, 30 ve 31 Ağustos 2003 tarihlerinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) 40-cm Cassegrain teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile elde edildi. Gözlemlerde BD+15 4830 ve BD+14 4974 yıldızları sırasıyla mukayese ve denet yıldızları olarak kullanıldı. Geceye ait atmosferik sönmüleme katsayıları mukayese yıldız gözlemleri kullanılarak hesap edildi. Gözlemlerde, B, V ve R bandlarında olmak üzere toplam 888 nokta belirlendi. B, V ve R bandlarında yapılan

gözlemlerin olası hataları sırasıyla ± 0.012 , ± 0.010 ve $\pm 0.009'$ 'dur. Mukayese ve denet yıldızlarına ait katalog bilgileri de Tablo 3'te listelendi.

V351 Peg'in diferansiyel BVR ışık eğrileri Şekil 2'deki gibidir. Işık eğrileri (2) ifadesinde verilen yeni ışık elamanları ile oluşturuldu. Işık eğrilerinin minimum ve maksimumlarındaki ışık seviyeleri ve farklarını inceleyen bilgi Tablo 4'te sunuldu. Tablo 4 ve Şekil 2'den kolayca görülebileceği gibi, B, V ve R bandlarındaki ışık eğrilerinde maksimum seviyeler arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Ayrıca ışık eğrilerinde önemli bir asimetrik yapı yoktur.

V351 Peg'in ışık eğrisi gözlemlerinden üç minimum zamanı da elde edildi ve bu minimum zamanları Kwee & van Woerden (1956) yöntemi ile hesaplandı. V351 Peg'in bu minimum zamanları ile birlikte Selam vd. (2003) ait bir minimum zamanı ve Gomez-Forrellad vd. (1999)'ne ait bir minimum zamanı kullanılarak V351 Peg'in yeni ışık elamanları elde edildi:

$$\text{HJD MinI}=2452881.3927(3)+0^{\text{e}}.5932963(1)\times\text{E} \quad (2)$$

Tablo 3. V351 Peg, mukayese ve denet yıldızlarına ait katalog bilgisi

Parametre	V351 Peg	Mukayese	Denet
BD	+14 4990	+15 4830	+14 4974
HD	220659	221114	220078
α_{2000}	23 ^h 25 ^m 25 ^s	23 ^h 29 ^m 02 ^s	23 ^h 20 ^m 45 ^s
δ_{2000}	15°41'19''	16°00'45''	15°02'53''
m _v	8 ^m .03	7 ^m .10	7 ^m .65
Tayf Türü	A8 V	A2	A5

Tablo 4. V351 Peg'in ışık eğrisi özellikleri

	ΔB	ΔV	ΔR
Max (0.25)	1.033±0.003	0.824±0.003	0.665±0.004
Max (0.75)	1.032±0.005	0.820±0.003	0.665±0.004
Min (0.00)	1.370±0.006	1.142±0.006	0.985±0.006
Min (0.50)	1.361±0.003	1.134±0.005	0.980±0.004
Δ_{max}	0.001	0.004	0.000
Δ_{min}	0.009	0.008	0.005
Min I Derinliği	0.336	0.318	0.320
Min II Derinliği	0.328	0.314	0.315

3. Işık Eğrisi Analizi

Bu çalışmada NN Vir ve V351 Peg'e ait fiziksel parametreler Djurasevic'in (1992a, 1992b, 1998) ışık eğrisi analiz programı ile belirlendi. Bu programın temeli Roche modeli ve Wilson-Devinney (1971) programının prensiplerine dayanmaktadır. Işık eğrisi analizleri Djurasevic (1992b) koduna modifiye edilmiş Marquardt (1963) algoritması ile gerçekleştirildi.

Bu programda, yıldızların boyutu Roche lobu doldurma derecesi ile tanımlıdır. Bu da bize sistemdeki yıldızın kritik lobun ne kadarının doldurduğunu gösterir. Roche lobu doldurma faktörü $F_{h,c}$, bileşenlerin kutupsal yarıçaplarının kritik Roche lobunun kutupsal yarı çapları oranı

olarak tanımlanmıştır ($F_{h,c}=R_{h,c}/R_{Roche,h,c}$). Burada h ve c ise sırasıyla sıcak ve soğuk bileşenlerdir. Bu durumda değen çift sistemler için Roche lobu doldurma faktörü $F>1$ olacaktır.

NN Vir ve V351 Peg'in ışık eğrisi analizinde normal noktalar yerine doğrudan gözlem verileri kullanılarak çözüme gidildi. Çözüm, ışık ve dikine hız eğrilerinin eş zamanlı kullanımı ile gerçekleştirildi. Ayrıca her iki çözümde sistemdeki bileşenlerin eş dönme oranlarına ($f=1.0$) sahip olduğu kabulü yapıldı.

NN Vir'in ışık eğrisi analizinde kütle oranı $q=0.491$ değeri, Rucinski ve Lu (1999)'nun yaptığı dikine hız çalışmasından alınarak ışık eğrisi analizinde sabit parametre olarak dikkate alındı. Yine aynı çalışmadan NN Vir için belirlenen F0/F1 V tayf türüne göre, sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper (1980) sıcaklık kalibrasyon tablolarından $T_h=6900$ K olarak hesaplandı.

V351 Peg'in ışık eğrisi analizinde ise kütle oranı $q=0.36$ değeri, Rucinski vd. (2001)'nin yaptığı dikine hız çalışmalarından alındı ve ışık eğrisi analizinde sabit parametre olarak dikkate alındı. Rucinski vd. (2001), V351 Peg için belirlediği A8 V tayf türüne göre, sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper (1980) sıcaklık kalibrasyon tablolarından $T_h=7580$ K olarak hesaplandı.

Işık eğrisi analizlerinde her iki sisteme ilişkin lineer olmayan kenar kararma katsayıları Claret'in (2000) tablolarından elde edildi. Kenar kararma katsayıları, kimyasal kompozisyona, etkin sıcaklığa ve yüzey çekim ivmesine ($\log g$) bağlı olarak ışık eğrisi analizinde her diferansiyel düzeltme sonrasında Claret'in (2000) tablolarından iterasyonla hesaplanarak analizlere sokuldu. Her iki ışık eğrisi analizinde en iyi çözümler Basel model atmosfer yaklaşımı altında gerçekleştirildi. NN Vir için en iyi çözüm, Güneş kimyasal kompozisyonunda ($Fe/H=0$) elde edildi. V351 Peg için ise en iyi çözüm yakın Güneş kimyasal kompozisyonu ($Fe/H=-1.0$) değerinde elde edildi.

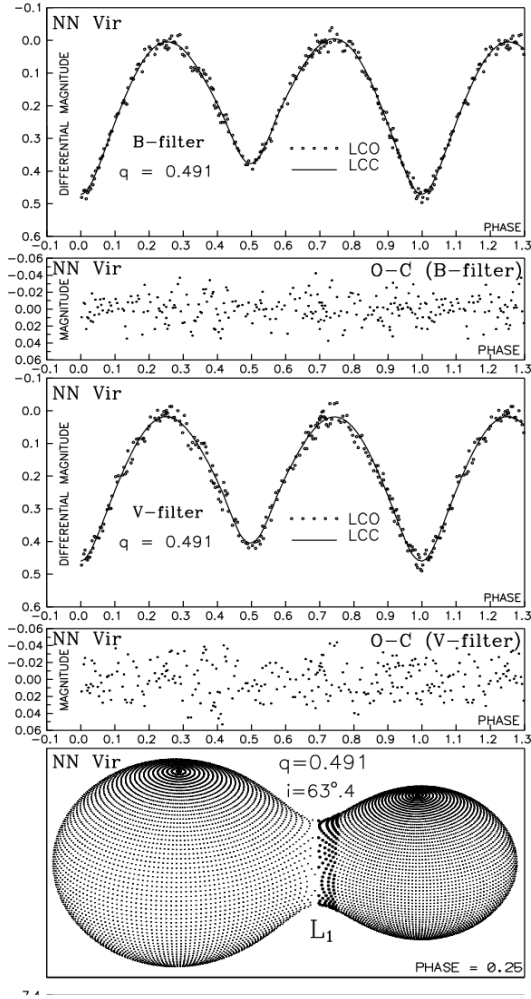
NN Vir'in ışık eğrisi analizinde çekim kararması üssü değerleri ($\beta_{h,c}$), sistemin fiziğine uygun olarak teorik değerleri dikkate alındı. Bileşenlerin kütlelerine, sıcaklığına ve yüzey çekim ivmesine bağlı olarak çekim kararması üssü değerleri Claret (1998) tablolarından $\beta_h=0.06$ ve $\beta_c=0.12$ olarak belirlendi ve buna bağlı olarak da yansıma katsayıları $A_{h,c}=0.5$ olarak belirlendi. V351 Peg sisteminin sıcaklığı $T_{eff}\sim 7600$ K olması nedeniyle ortak zarfında ışımsal ve konvektif enerji taşınım mekanizmalarının bir karışımı beklenmelidir. Bu nedenle V351 Peg'in ışık eğrisi analizinde çekim

kararması üssü değerleri serbest parametre olarak bırakıldı ve en iyi çözüm $\beta_h=0.20$ ve $\beta_c=0.18$ değerleri için elde edildi. Buradan da yansıma katsayıları $A_{h,c}=1.0$ olarak alındı.

Her iki sistemin gözlemsel ışık eğrilerini tüm özelliklerini ortaya koyabilmek için bir çok farklı çözüm denemesi gerçekleştirildi. Yapılan tüm denemelerde her iki teorik eğrinin de gözlemsel eğrilere en iyi uyum sağlayan çözümlerin $A_{h,c}$ yansıma katsayılarının serbest bırakılmasıyla elde edildiği görüldü. Bu çözümlerde her iki sistemin küçük kütleli bileşenlerinin yansıma katsayıları teorik değerlerin çok üzerinde çıkmasından dolayı, küçük kütleli bileşenlerin L_1 Lagrange noktalarına bakan yüzeylerindeki sıcaklık artışının nedeni ancak sıcak leke kabulü ile yapılabildi. Bu nedenle her iki sistemin en iyi ışık eğrisi çözümü küçük kütleli bileşenlerin üzerinde sıcak leke kabulü ve $A_{h,c}$ yansıma katsayılarının teorik değerlerinin girilmesi ile elde edildi. NN Vir'e ait parametrelerin çözüm sonuçları, gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ve farkları ile sistemin 0.25 evresindeki geometrik modeli sırasıyla Tablo 5 ve Şekil 1'de verildi. V351 Peg'e ait parametrelerin çözüm sonuçları, gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ve farkları ile sistemin 0.25 evresindeki geometrik modeli de sırasıyla Tablo 6 ve Şekil 2'de verildi.

Tablo 5. NN Vir'in ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	B Filtresi	V Filtresi
n	217	217
$\sum(O-C)^2$	0.050	0.089
σ	0.0152	0.0202
$q=m_c/m_h$	0.491	
T_h	6900	
β_h	0.06	
β_c	0.12	
$A_h=A_c$	1.0	
$f_h=f_c$	1.0	
T_c	6676 ± 43	6796 ± 66
i [°]	63.3 ± 0.2	63.4 ± 0.2
$A_c=T_c/T_c$	1.22 ± 0.01	1.25 ± 0.02
θ_s [°]	34.1 ± 0.6	32.2 ± 1.0
λ_s [°]	182.2 ± 0.4	179.6 ± 0.7
ϕ_s [°]	0.0	0.0
$\Omega_{h,c}$	2.6906	
Ω_{in}	2.8585	
Ω_{out}	2.5647	
f_{over} [%]	57.15	58.86
$L_h/(L_h+L_c)$	0.657	0.636
$M_h [M_\odot]$	1.34 ± 0.02	
$M_c [M_\odot]$	0.66 ± 0.02	
$R_h [R_\odot]$	1.58 ± 0.02	
$R_c [R_\odot]$	1.19 ± 0.02	
$\log g_h$	4.17 ± 0.02	
$\log g_c$	4.11 ± 0.02	
$a [R_\odot]$	3.248 ± 0.009	



Şekil 1. NN Vir'in teorik ve gözlemsel ışık eğrileri ile farkları, sistemin 0.25 evresindeki geometrik modeli

5. Sonuçlar

Bu çalışmada NN Vir ve V351 Peg değen çift yıldız sistemlerinin sırası ile B, V ve B, V,R bandları ışık eğrileri elde edilerek Djurasevic'in ışık eğrisi analiz programı ile ilk ayrıntılı fotometrik analizleri gerçekleştirildi ve her iki sistemin fiziksel ve mutlak parametreleri belirlendi. Eşzamnalı gerçekleştirilen çözümlerde tüm bandlarda teorik ışık eğrilerinin gözlemsel eğrilerle oldukça uyumlu olduğu görüldü.

NN Vir için elde edilen fiziksel parametrelere göre sistem, büyük değme oranına sahip ($f \sim \%58$) ve bileşenler arası küçük sıcaklık farkı bulunan ($\Delta T=160$ K) bir çift yıldızdır. Sistem yaklaşık olarak $i \sim 63^\circ$ yörünge eğikliğine sahip tipik bir A türü W UMa değen çift sistem özelliğini göstermektedir. Ayrıca çözümde büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru madde ve

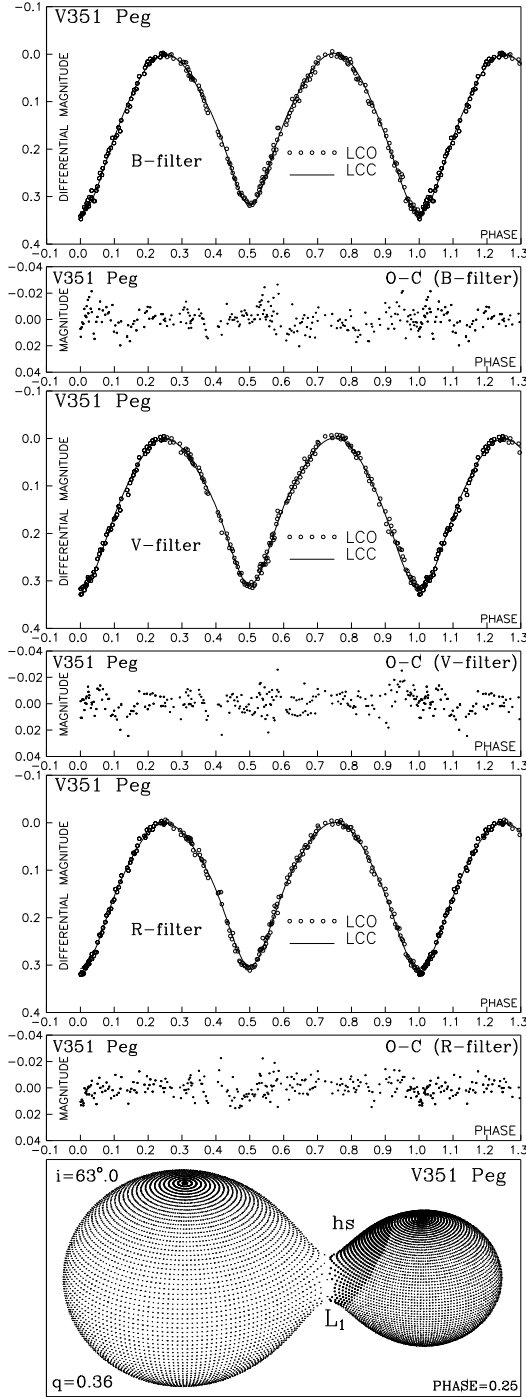
enerji transferinin varlığı belirlendi ve bunun doğal bir sonucu olarak da en iyi çözüm küçük kütleli bileşenin boyun bölgesinde sıcak leke varsayımı ile elde edildi.

Tablo 6. V351 Peg'in ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Değer
n	888
$\sum(O-C)^2$	0.0511
σ	0.0076
$q=m_2/m_1$	0.36
T_h	7580
β_h	0.20 ± 0.01
β_c	0.18 ± 0.01
$A_h=A_c$	1.0
$f_h=f_c$	1.0
T_c	7559 ± 15
i [$^\circ$]	63.0 ± 0.1
$A_s=T_h/T_c$	1.066 ± 0.005
θ_s [$^\circ$]	41.3 ± 0.9
λ_{ss} [$^\circ$]	182.7 ± 0.8
ϕ_s [$^\circ$]	23.8 ± 2.2
$\Omega_{h,c}$	2.5496
Ω_{in}	2.5953
Ω_{out}	2.3738
f_{over} [%]	20.64
$L_p/(L_h+L_c)$	0.700 (B); 0.702 (V); 0.703 (R)
$M_h [M_\odot]$	1.63 ± 0.05
$M_c [M_\odot]$	0.59 ± 0.02
$R_h [R_\odot]$	1.87 ± 0.03
$R_c [R_\odot]$	1.19 ± 0.03
$\log g_h$	4.11 ± 0.03
$\log g_c$	4.05 ± 0.03
$a [R_\odot]$	3.868 ± 0.005

V351 Peg için elde edilen fiziksel parametrelere göre sistem, NN Vir'e göre daha az değme oranına sahip ($f \sim \%21$) ve bileşenler arası sıcaklık farkı oldukça düşük ($\Delta T=21$ K) bir çift yıldızdır. Sistem yaklaşık olarak $i \sim 63^\circ$ yörünge eğikliğine sahip ve W türü W UMa değen çift sistemlerin özelliklerine nazaran A türü W UMa değen çift sistemlerin özelliklerini göstermektedir. Ayrıca çözümde büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru madde ve enerji transferinin varlığı belirlendi ve bunun doğal bir sonucu olarak da en iyi çözüm küçük kütleli bileşenin boyun bölgesinde sıcak leke varsayımı ile elde edildi. Bileşenlerin sıcaklıkları (yaklaşık olarak $T \sim 7600$ K) ve çekim karması üssü değerlerine ($\beta_h=0.20$ ve $\beta_c=0.18$) bakıldığında, ortak zarfta ışımsal ve konvektif enerji taşınım mekanizmalarının bir karışımı olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimler Akademisi (BA/TÜBA-GEBİP/2001-2-2) ve 20040705090 proje numarasıyla Ankara Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.



Şekil 2. V351 Peg'in teorik ile gözlemsel ışık eğrileri ve farkları, sistemin 0.25 evresindeki geometrik model

6. Kaynaklar

- Albayrak, B., Tanrıverdi, T., ve Aydın, C. 2002, IBVS, No. 5300 .
- Claret, A., 1998, A&A, 131, 395 .
- Claret, A., 2000, A&A, 363, 1081.
- Djurasevic, G., 1992a, Ap&SS, 196, 241.
- Djurasevic, G., 1992b, Ap&SS, 197, 17.
- Djurasevic, G., Zakirov, M., Hojaev, A., Arzumanyants, G., 1998, A&AS, 131, 17.
- ESA, 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogs, SP-1200.
- Gomez-Forrellad, J. M., ve Garcia-Melendo, E., 1997, IBVS, No. 4469.
- Gomez-Forrellad, J. M., Garcia-Melendo, E., Guarro-Flo, J., 1999, IBVS, No. 4702.
- Kwee, K. K., van Woerden, H., 1956, Bull. Astr. Inst. Neth., 12, 327.
- Marquardt, D. W., 1963, J. Soc. Ind. Appl. Math., 11(2), 431.
- Popper, D. M., 1980, ARA&A, 18, 115.
- Rucinski, S. M., ve Lu, W., 1999, AJ, 118, 2451.
- Rucinski, S. M., Lu, W., Mochnacki, S. W., 2001, AJ, 122, 1974.
- Selam, S. O., Albayrak, B., Şenavcı, H. V., Tanrıverdi, T., Elmashı, A., Kara, A., Aksu, O., Yılmaz, M., Karakaş, T., Çınar, D., Demirhan, M., Şahin, S., Çeviker, S., Gözler, A. P., IBVS, No. 5471.
- Wilson, R. E., Devinney, E. J., 1971, ApJ, 166, 605
- Woitak, J., 1997, IBVS, No. 4444