

Ötegezegen Araştırmalarında Zaman Duyarlılığı

Ekrem Murat Esmer^{1,2*}, Özgür Baştürk^{1,2}, Selim Osman Selam^{1,2}

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Astrofizik Bölümü, Ankara, Türkiye.

²Atatürk Üniversitesi, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi, Ankara, Türkiye.

Özet: Bu çalışmada ötegezegen keşif yöntemlerinden zamanlama yöntemleri ele alınmıştır. Örtme / örtülme, geçiş, atarca ve zonklama zamanlama yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemler ile keşfedilmiş gezegenlere ve yıldızlarına ilişkin fiziksel parametreler gösterilmiştir. Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nin 35 cm'lik teleskobu, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin 100 cm'lik teleskobu ve Kepler Uzay Teleskobu'nun fotometrik hassasiyeti, bu teleskoplar ile yapılmış olan gözlemler üzerinden karşılaştırılmıştır. Elimizdeki fotometrik gözlem imkanları dahilinde bu tür çalışmaların yapılabileceğine dair değerlendirme yapılmıştır. Örnek bir çalışma olarak T35 Teleskobu ile elde edilen fotometrik veriler kullanılarak bir örten değişen çift yıldızın örtme/örtülme zamanlama analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ötegezegen, zamanlama yöntemi, ışıkölçüm

Abstract: In this study, we investigated the timing methods for detecting exoplanets. We particularly investigated eclipse timing, transit timing, pulsar timing and pulsation timing methods and the exoplanets via these methods also with the physical properties of their host stars. We compared photometrical precision of 35 cm telescope in Ankara University Kreiken Observatory, 100 cm telescope in TUBITAK National Observatory and Kepler Space Telescope, using various photometrical observations. We discussed the ability of the observational instruments in Turkey in the perspective of timing methods. As a case study, we performed an eclipse timing analysis of an eclipsing binary using the observations made with T35 telescope in Ankara University Kreiken Observatory.

Key Words: exoplanets, timing method, photometry

1. Giriş

Ötegezegen keşiflerinde kullanılan yöntemler arasında zamanlama yöntemi toplam keşiflerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Giderek artan fotometrik hassasiyet ile birlikte daha çok sayıda keşif olmakla birlikte, keşfedilen gezegenlerin kütle, yarıçap, yıldızına uzaklık gibi parametrelerinde de daha büyük bir parametre aralığına erişmek mümkün olmaktadır. Tüm keşif yöntemleri, ötegezegen-yıldız sistemlerinde sistem bileşenlerinin parametrelerinde farklı bir aralık uzayı için yanlıdır. Doğrudan görüntüleme yöntemi, yıldızından uzak ve yarıçapı büyük gezegenlerin keşfedilmesi yönünde yanlıyken, dikine hız yöntemi küçük kütleli yıldızların etrafında, yıldızına yakın ve büyük kütleli gezegenlerin keşfi yönünde yanlılık göstermektedir. Zamanlama yöntemleri ise keşiflerin yapıldığı parametre uzayında, görece az keşif yapılan, yani diğer yöntemlerde keşfi kolay olmayan bir bölgede yanlılık gösterme özelliği sebebiyle son derece önemlidir. Fotometrik analiz için gerekli ekipmanların, tayfsal analiz ekipmanlarına nazaran daha ulaşılabilir olması ve elde edilen bilimsel verinin anlamlı hale getirme süreçlerinin daha kolay olması sebebiyle, bilimsel sonuç üretmede daha hızlı olabilmesi yönüyle de avantajlı yöntemlerdir. Zamanlama yöntemlerinin uygulanabilirliğini fotometrik hassasiyet ve zaman ölçüm hassasiyeti belirlemektedir. Bu çalışmada örtme / örtülme zamanlama, geçiş zamanlama, atarca zamanlama, zonklama zamanlama yöntemlerine dair temel bilgiler verilip, bugüne kadar bu yöntemler ile keşfedilmiş ötegezegenlere ve yıldızlarına ilişkin özellikler sunulmuştur. Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR) teleskoplarından 35 cm çaplı T35 teleskobu, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) teleskoplarından fotometrik gözlem yapan T100 teleskobu ve ötegezegen araştırmalarında çok büyük öneme sahip olan Kepler Uzay Teleskobu'nun fotometrik özellikleri karşılaştırılmıştır. Zamanlama yöntemi ile yapılan keşiflerde ilgili fotometrik hassasiyet göz önünde bulundurularak, ülkemizdeki gözlem imkanlarının ötegezegen keşiflerinde zamanlama yöntemi kullanılması konusundaki yeterlilikleri tartışılmıştır. Zamanlama yöntemlerinin ülkemiz gözlem imkanları ile yapılabilirliğine bir örnek teşkil etmesi açısından, HW Vir örten değişen sisteminin AUKR T35 teleskobu ile alınan fotometrik verisi kullanılarak dönem değişim analizi yapılmıştır.

2. Zamanlama Yöntemleri

2.1 Örtme / Örtülme Zamanlama

Bu etki çift yıldızların ışık eğrilerindeki minimumların orta zamanlarının ölçülüp, ilgili evreye göre hesaplanan değerlerden farkının alınması ile elde edilen dönem değişim diyagramlarından analiz yöntemi ile hesaplanabilir. Bu etki literatürde ışık-zaman etkisi olarak da bilinir. Dönem değişim eğrilerine gözlenen ile hesaplanan minimum orta değerlerinin farkı (ing. Observed – calculated, kısaca O-C) ile ulaşılır.

$$O - C = \frac{A}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 w}} \left[\frac{1 - e^2}{1 + e \cos v} \sin(v + w) + e \sin w \right]$$

*Sorumlu Yazar E-Posta: esmer@ankara.edu.tr

Burada A, O-C eğrisinin yarı genliği olup

$$A_{LITE} = \frac{1}{2} [(O - C)_{max} - (O - C)_{min}] = \frac{a_{12} \cdot \sin i' \sqrt{(1 - e_3^2 \cos^2 w_3)}}{173.15}$$

a_{12} , ikili sistemin toplam kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu, e_3 , ilave cismin yörünge dışmerkezliği, i' yörünge düzleminin eğimi, w_3 , gerçek yörüngenin enberi noktasının düğümler çizgisinden olan açısız uzaklığı, v , gerçel anomalidir (Irwin, 1959).

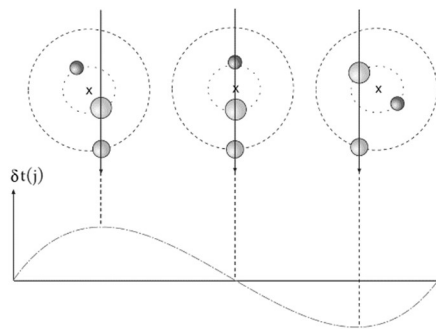
Örtme / örtülme zamanlama yöntemi ile bugüne kadar keşfedilmiş gezegenler ve buldukları çift yıldız sistemine dair özellikler Çizelge 1’de verilmiştir. Görüleceği üzere, yöntemin ulaştığı parametre uzayı diğer yöntemlerden (dikine hız, doğrudan görüntüleme vd.) farklı bir alandır. Yıldızların çoğunluğu ortak zarf sonrası (ing. Post-common envelope) evresindedir. Perets (2010), protoplanetary disk ile oluşan gezegenlere birinci nesil, anakol sonrası atılmış çevresel maddeden oluşan gezegenlere ikinci nesil gezegenler demiştir.

Çizelge 1: Örtme / örtülme zamanlama değişimi ile keşfedilen gezegenler ve buldukları çift yıldızların özellikleri.

Gezegenin Parametreleri						Yıldız Parametreleri			
Adı	Kütlesi (M _J)	YBE (AB)	Dönem (gün)	Dış. m	O-C Genliği (gün)	Dönemi (gün)	Sıcaklığı (K)	Kütlesi (M _☉)	YBE (AB)
NN Ser c	6.91	5.38	5660	0.0	0.00035	0.13	57000 / 3000	0.535 / 0.111	/ 0.0004
NN Ser d	2.28	3.39	2830	0.2	0.000058	0.13	57000 / 3000	0.535 / 0.111	/ 0.0004
HU Aqr b	5.9	6.18	5646	0.29	0.00017	0.087	12500 / 3400	0.88 / 0.2	0.0032
NY Vir c	4.49	7.54	9862	0.0	0.00032	0.101	33000 / 3000	0.466 / 0.122	/ 0.00085
NY Vir b	2.78	3.39	2988	0.44	0.00008	0.101	33000 / 3000	0.466 / 0.122	/ 0.00085
HW Vir b	14.3	4.69	4640	0.4	0.00057	0.117	28500 / 4500	0.485 / 0.142	/ 0.004
DP Leo b	6.05	8.19	10230	0.39	0.00039	0.0624	13500 / 3000	0.6 / 0.09	0.0027

2.2 Geçiş Zamanlama

Gezegenlerin, Dünya’da bakıldığında, etrafında dolandıkları yıldızların önünden geçmeleri olayına geçiş (ing. Transit) denilmektedir. Bu esnada yıldızdan gelen akı bir miktar azalmaktadır. Bu azalmanın orta zamanı da, sistemde bulunan başka bir gezegenin varlığı ile belirli bir zaman değeri genliğinde salınım yapabilir. Bu salınım ile gözlenemeyen gezegene ilişkin parametrelere gidilebilir.



Şekil 1: Geçiş zamanlaması değişimi kaynağı ve değişim diyagramı

Geçiş zamanlama değişimi yaratabilecek bir sistemin çizimi Şekil 1’de görülebilir. Burada geçiş gösteren cisim dış yörüngedeki gezegen olup, iç yörüngedeki gezegen ile yıldızın ortak kütle merkezi etrafındaki hareketi sebebiyle geçişin gerçekleşme dönemi farklılık göstermektedir.

Geçiş yöntemi ile bugüne kadar keşfedilmiş ötegezegenlere ve yıldızların ilişkin bilgiler Çizelge 2’de görülebilir. Burada geçiş zamanlama değişimi (ing. Transit timing variation, kısaca TTV) genliklerinin, yer tabanlı küçük çaplı teleskopların fotometrik hassasiyetinden büyük genliklerde olduğuna dikkat edilmelidir.

Çizelge 2: Geçiş zamanlama yöntemi ile keşfedilmiş gezegenler ve yıldızları

Gezegenin adı	Kütlesi (M _J)	YBE (AB)	Dönemi (gün)	Dış.m	TTV Genliği (gün)	Yıldızın kütlesi (M _☉)
KOI-620.02	0.024	0.509	130.2	0.008	0.0059	1.04
WASP-47 d	0.027	0.088	9.03	-	0.0007	1.084
WASP-47 e	0.028	0.0173	0.79	-	0.0104	1.084
Kepler-539 c	2.4	1.91–2.92	963-1784	0.432 – 0.605	0.0129	1.048
Kepler-46 c	0.376	0.28	57	0.0145	0.042	0.902
Kepler-419 c	7.3	1.68	675	0.184	0.1042	1.22
Kepler-338 e	0.027	0.091	9.34	0.05	~0.02	1.142

2.3 Atarca Zamanlama

Atarcaların düzenli gönderdiği sinyallerin zamanları, etraflarında bulunabilecek bir gezegen ile ortak kütle merkezi etrafındaki hareket sebebiyle salınım gösterecektir. Bu salınımın analiziyle gezegene ilişkin parametrelere gidilebilir. Bu yöntem ile bulunan gezegenlerin yıldızların son aşamalarında geçirdiği şiddetli süreçler ile dış ortama attığı maddeden tekrar birikerek oluştuğu düşünülmektedir. Zamanlama yöntemleri içerisinde görünür bölgede ışıkölçüm gözlemlerine dayanmaması sebebiyle atarca zamanlama yöntemine, sadece zamanlama yöntemlerinin bir türü olması sebebiyle değinilmiştir. Takip eden bölümlerdeki tartışmalarda bu yöntem ve bulguları ihmal edilmiştir.

Çizelge 3: Atarca zamanlama yöntemi ile keşfedilmiş gezegenler

Gezegen	Kütle (M _J)	Dönemi (gün)	YBE (AB)	Dış.m	Keşif Yılı	Yıldız Kütleli (M _☉)
PSR 1257 12 b	7.00E-05	25.262	0.19	0	1992	-
PSR 1257 12 c	0.013	66.5419	0.36	0.0186	1992	-
PSR 1257 12 d	0.012	98.2114	0.46	0.0252	1992	-
PSR 1719-14 b	1	0.090706293	0.0044	0.06	2011	1.4
PSR B1620-26 b	2.5	36525	23	-	2003	1.35
PSR B1957+20 b	22	9.1	-	-	1988	1.4
PSR J1807-2459 A b	9.4	0.07	-	0	2000	1.4
PSR J2051-0827 b	28.3	0.099110266	-	0	1996	1.4
PSR J2241-5236 b	12	0.14567224	-	0	2011	1.35

2.4 Zonklama Zamanlama

Yıldız zonklaması zamanlarını hesaplayıp, buradaki değişimden gezegenlerin keşfinin yapılmaya çalışıldığı yöntemdir. Zonklama hesabının daha kolay olması (güçlü tek frekans) sebebiyle evrimleşmiş yıldızlarda (sdB, WD) gezegen araştırmaları yapılmaktadır. sdB yıldızlarının tekli sistemlerde olamayacağı, ya çift yıldız sistemi ya da gezegen barındırma gerekliliğine dair tartışmalar (Soker 1998), bugüne kadar sdB bulunan sistemlerde zamanlama yöntemi ile gezegen keşfedilmesi sebebiyle önemli bir araştırma alanıdır. Güneş sisteminin geleceğinde de geçerli olacağı düşünülen senaryolarda, yıldızın evriminin son aşamalarında gezegenlerin akıbeti ile ilgili çalışmalar da önem kazanmaktadır. Bu yöntem ile keşfedilmiş tek gezegen V391 Peg b’dir (bkz. Çizelge 4). Başka yöntemlerle keşfedilmiş gezegenlerin zonklama zamanlama yöntemi ile analiz edildiği çalışmalar literatürde mevcuttur.

Çizelge 4: Zonklama zamanlama yöntemi ile keşfedilmiş tek gezegen olan V391 Peg'in özellikleri

Gezegen	Kütlesi (M _J)	YBE (AB)	Dönem (g)	Yıldız Kütlesi (M _☉)	Yıldız Sıcaklığı (K)
V391 Peg b	3.2	1.7	1170	0.5	29300

3. Fotometrik Hassasiyet Karşılaştırması

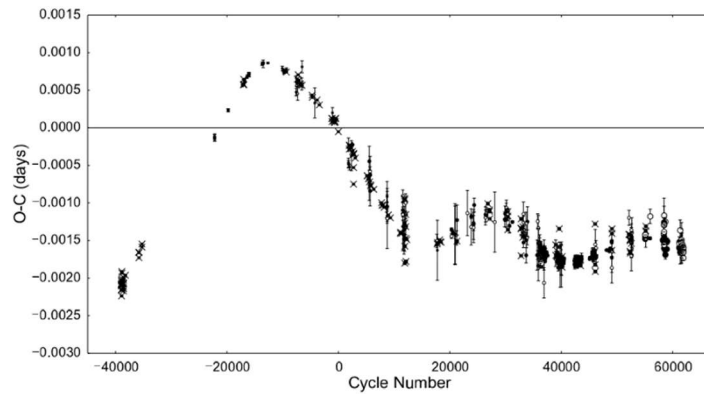
Çap ve yetenekleri son derece farklı sayılabilecek üç ayrı teleskop olması sebebiyle AUKR T35 teleskobu, TUG T100 teleskobu ve Kepler Uzay Teleskobu'nda yapılan zamanlama çalışmalarına dair bulgular karşılaştırılmıştır. Burada öncelikle ortalama fotometrik hassasiyet incelenmiştir. T35'te bu çalışma dahilinde yapılmış olan HW Vir çift sisteminin gözlemleri sonucu elde edilen ortalama fotometrik hassasiyet yaklaşık 3 milikadir mertebesindedir. Yine bu çalışmada incelenen HW Vir sisteminin T100 teleskobu ile yapılan gözlemleri sonucunda ortalama fotometrik hassasiyetin T100 teleskobu için 1 milikadir mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu iki gözlemden de hava koşullarının iyi olduğu not edilmelidir. Beklenildiği üzere, çok düşük fotometrik değişimleri yakalamak için dizayn edilen Kepler'in fotometrik hassasiyeti günümüz gözlemcilerinin ulaşabildiğinden son derece yüksektir. Vanderbug 2014 ve Vanderburg & Johnson 2014 çalışmalarında Kepler'in ortalama fotometrik hassasiyetinin 0.004 milikadir olduğu belirtilmiştir.

Her üç teleskop ile yapılan örtme / örtülme zamanlama çalışmalarının gösterdiği sonuçlar ise ilginçtir. T35 teleskobu ile bu çalışma dahilinde yapılan gözlemler sonucu elde edilen örtme ortası zamanları yaklaşık 4.3 saniyelik bir hataya sahipken, T100 teleskobunda bu hata 2.5 saniyedir. Borkovits vd. 2014 çalışmasında farklı çift yıldız sistemlerindeki üçüncü bileşenlerin örtme / örtülme zamanlamasını incelemiştir. Bu çalışmada incelenen sistemlerin örtme ortası zamanlarının hata değerleri ortalama 3 saniye kadardır. Burada, örtme ortası zamanlarının belirlenmesinde fotometrik hassasiyet kadar, çift yıldızın parlaklığı, minimum genliği ve yapısı gibi birçok farklı etken önemli rol oynamaktadır. Yine de her üç teleskoba ait örtme ortası zamanlarının aynı metrebede hatalara sahip olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Yine her üç teleskop ile yapılmış olan geçiş gözlemlerinin zamanlamaları aynı mertebelerde görülmektedir. T35 için 5.2 saniye (bu çalışma), T100 için 7.6 saniye (Baştürk vd. 2015) ve Kepler için 4.9 saniye (Borkovits vd. 2014). Yine burada, her üç teleskop ile incelenen yıldızların aynı olmadığını belirtmek gereklidir. Ancak her üç teleskop ile elde edilen zamanlama hatalarının aynı metrebede olması, zamanlama yönteminin yapılabilişliği ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tartışma Sonuçlar bölümünde yapılacaktır.

4. HW Vir Sisteminin Örtme / Örtülme Zamanlaması

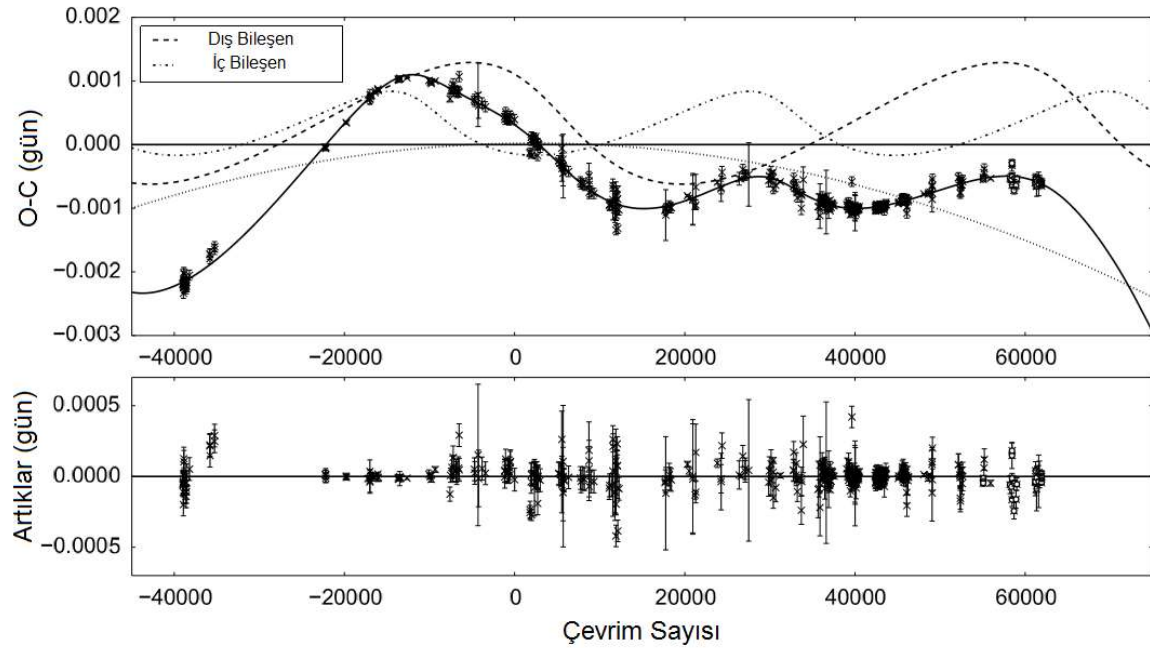
Bu çalışmada, zamanlama yöntemlerinin ötegezegen keşfi amacıyla ülkemizdeki küçük teleskoplar ile yapılabilişliğine örnek teşkil edebilmesi amacıyla, Beuermann vd. 2012 tarafından ötegezegen barındırdığı belirtilen HW Vir sisteminin analizi yapılmıştır. HW Vir sistemi, $V = 10.7$ kadir parlaklığında Algol türü bir örten değişendir. Çift bileşenlerinden biri sdB türünden olup diğeri ise M türü bir anakol yıldızdır. Yörünge dönemi 0.117 gün olduğundan bir gözlem gecesi boyunca birkaç çevrim gözlemi mümkün olabilmektedir. 1984 yılından beri fotometrik gözlemleri devam etmektedir. Bu gözlemler sonucunda örtme /örtülme zamanlarında değişimin varlığı bilinmekte ve son yıllarda yapılan çalışmalarda bu değişimin sistemde bulunan ötegezegenlerin ışık-zaman değişimi (ing. Light-time effect, kısaca LiTE) kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Lee vd. 2009, Beuermann vd. 2012).



Şekil 2: HW Vir sisteminin örtme / örtülme zamanı değişim diyagramı

HW Vir sisteminin bu çalışma dahilinde yapılan fotometrik gözlemleri AUKR T35, TUG T100 teleskopları ile Lemmonsan Optical Astronomical Observatory (LOAO) ve Sobaeksan Optical Astronomical Observatory (SOAO) teleskoplarından elde edilmiştir. T35 ile 14, T100 ile 5, LOAO ile 7, SOAO ile 19 örtme ortası zamanı Kwee – van Woerden yöntemi kullanılarak (Kwee & van Woerden 1956), BJD (TDB) zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Bu verilere literatürde bulunan örtme ortası zamanları eklenerek elde edilen örtme / örtülme zamanlama değişimi diyagramı Şekil 2'de görülebilir.

Sistemde bulunan dönem değişim mekanizmalarının tespiti için, parabol ve çevrimsel dönem değişim modellerinin (ışık-zaman etkisi, kısaca LiTE) uygun kombinasyonları uygulanmıştır. Bu uyumlama işlemlerinde Levenberg – Marquardt en küçük kareler yöntemi (Levenberg 1944, Marquardt 1963) kullanılmıştır. Model parametrelerinin başlangıç değerlerinden çevrimsel dönemler, Lomb-Scargle periodogramları ile diğer parametrelerin başlangıç değerleri ise görsel olarak belirlenmiştir. Uyumlama işlemi yapılan modeller, parabol, LiTE, 2 x LiTE, parabol + LiTE, parabol + 2 x LiTE olarak seçilmiştir. Tüm modellerin uyumlama işlemi sonucu, HW Vir sisteminin örtme / örtülme zamanı değişimini en iyi temsil eden modelin parabol + 2 x LiTE olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3: HW Vir'in örtme / örtülme zamanı değişimine yapılan parabol + 2 x LiTE uyumlaması

Sonuçta elde edilen değerlere göre HW Vir sisteminde ışık-zaman etkisi yaratan iki adet yıldızaltı cismin bulunduğu görülmektedir. Cisimlerin kütleleri, yörüngelerinin çift yıldızın yörüngesi ile çakışık olması kabulü ile 19.1 Mj ve 14.1 Mj olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, sistemin Beuermann vd. 2012 tarafından yapılan örtme / örtülme çalışmasından farklı olarak her iki cismin kütlelerini birbirine daha yakın olduğunu göstermektedir. Bu model sonucu elde edilen parametre değerleri ve hataları Çizelge 5'te görülebilir.

Çizelge 5: HW Vir sisteminin örtme / örtülme zamanlama analizi sonuçları

Parametre	Dış Bileşen	İç Bileşen
İndirgenmiş Ki-kare		1.027
Karekök Ort. (saniye)		6.68
A_{par}		$-3.92 \times 10^{-13} \pm 5.6 \times 10^{-15}$
ΔT_{par} (gün)		$-3.27 \times 10^{-4} \pm 7.9 \times 10^{-6}$
$T_{0,LiTE}$	2450816 ± 171	2453831 ± 209
P_{LiTE} (gün)	7051 ± 8	4985 ± 9
e	0.28 ± 0.01	0.36 ± 0.01
A_{LiTE} (gün)	$9.68 \times 10^{-4} \pm 6.2 \times 10^{-6}$	$5.76 \times 10^{-4} \pm 4.6 \times 10^{-6}$
ω	159 ± 0.9	129.8 ± 1.9
$m_{sini}(M_j)$	18.8 ± 0.5	14.0 ± 0.4
a_{sini} (AB)	6.1 ± 0.5	4.8 ± 0.4
$m(M_j), i = 80.9$	19.1	14.1



5. Sonuçlar

-Bu çalışmada farklı zamanlama yöntemleri ve bugüne kadar bu yöntemlerle yapılan keşifler özetlenmiştir. Ardından AUKR T35 teleskobu, T100 teleskobu ve Kepler uzay teleskobunun hem fotometrik hassasiyetleri hem de örtme / örtülme zamanlama ile geçiş zamanlama hassasiyetleri literatürde bulunan örnekleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya bir örnek teşkil etmesi açısından HW Vir örtme çift sisteminin T35 ve T100 teleskopları ile elde edilen fotometrik ölçümlerinin dahil edildiği örtme / örtülme zamanı değişimi analizi yapılmıştır.

-HW Vir sisteminin analiz sonuçları, çift yıldızın sdB bileşeni kaynaklı manyetik rüzgarlar sonucu yörünge döneminin seküler olarak azalması modelini (Lee vd. 2009) destekleyen parabolic değişim göstermektedir. Bu değişimin ile birlikte iki adet çevrimsel trend bulunmakta ve bu trendlerin ışık-zaman etkisi kabulü altındaki çözümleri 19.1 Mj ve 14.1 Mj kütleli iki adet yıldızaltı cisme işaret etmektedir. Örtme / örtülme zamanı diyagramında, bu iki yıldızaltı cismin olası ışık-zaman etkileri ayrı ayrı bir tam çevrimi görülebilmekle birlikte, sisteme dair benzer çalışmaların sonuçlarındaki farklılıklar göz önünde bulundurularak fotometrik gözlemlerin devamına ihtiyaç duyulmakta olduğu söylenebilir. Bu tür sdB + dM çift yıldızların evrimleri, ortak zarf evresi sonrası fiziksel koşulları ve bu sistemlerde var olabilecek yıldızaltı cisimlerin oluşum mekanizmaları henüz tam olarak bilinmemektedir. HW Vir sistemine dair bu analiz sonucu elde edilen sonuçlar ve hataları göz önünde bulundurulduğunda sistemin analizinin T35 benzeri küçük çaplı teleskoplarla üretilen verilerle yapılabileceği gösterilmiştir.

-T35, T100 ve Kepler teleskoplarının fotometrik hassasiyetleri arasındaki büyük farka rağmen, örnek alınan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, zamanlama yönteminin her tür teleskop verisi üzerinden yapılabileceğini söylemek mümkündür. Ülkemizde fotometrik gözlem için kullanılan teleskopların görece küçük teleskoplar olduğu düşünüldüğünde, ötegezegen keşif çalışmalarının mevcut imkanlarla yapılabileceği görülebilir. Zamanlama yöntemleri arasında çift yıldızların örtme / örtülme zamanlama yöntemi, ülkemiz astronomları tarafından uzun süredir kullanılan bir yöntem olduğundan, hem ülkemizdeki gözlem imkanları hem de bu konudaki tecrübe, bu zamanlama yönteminin uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Zamanlama yöntemlerinin, diğer gezegen keşif yöntemlerinden farklı olarak getirdiği bu düşük maliyeti, tüm Dünya'da giderek daha büyük önem arzeden ötegezegen araştırmalarında ülkemiz astronomlarının katkısının hızla arttıracağı kanaatindeyiz.

6. Kaynaklar

- Agol, E., Steffen, J., Sari, R., Clarkson, W. 2005. Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 359,567.
- Bastürk, Ö., Hinse, T.C., Özavcı, I., Yörükoglu, O., Selam, S.O. 2015. ASP Conference Series, vol. 496
- Bastürk, Ö., Bahar, E., Senavcı, H.V., Kılıçoğlu, T., Özavcı, I., Burdanov, A., Yılmaz, M., Çalıskan, S., Tezcan, C.T., Yörükoglu, O., Özkeles, A., Izci, D.D., Gümüş, D., Avcı, Z., Öztürk, D., Selam, S.O., Ekmekçi, F., Albayrak, B. 2014. Information Bulletin On Variable Stars, 6125
- Beuermann K., Dreizler S., Hessman F.V. And Deller J. Astronomy & Astrophysics, Volume 543, id.A138, 6 pp. 2012
- Borkovits, T., Rappaport, S., Hajdu, T., Sztakovics, J. 2015. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448, 1
- Exoplanet Transit Database. Web Sitesi: <http://exoplanet.eu>, Erişim Tarihi: 14.06.2016
- EXOplanet search with the Timing MEthod (EXOTIME). Web Sitesi: <http://www.oato.inaf.it/silvotti/exotime/>, Erişim Tarihi: 14.06.2016
- Holczer, T., Mazeh, T., Nachman, G., Jontof-Hutter, D., Ford, E.B., Fabrycky, D., Ragozzine, D., Kane, M., Steffen, J.H. 2016. arXiv, 1606.01744
- Holman, M.J., Murray, N.W. 2004. Science, 307,1288
- Hroch, F.: In: Proceedings of the 29th Conference on Variable Star Research, vol. 30 (1998)
- International Astronomical Union. Web Sitesi: <http://www.iau-sofa.org>, Erişim Tarihi: 14.06.2016
- Irwin, John B., 1959, Astronomical Journal, Vol. 64, p. 149
- Kwee, K. K., van Woerden, H., 1956, Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, Vol. 12, p.327
- Lee J.W., Kim S.-L., Kim C.-H., Koch R.H., Lee C.-U., Kim H.-I. And Park J.-H. The Astronomical Journal, Volume 137, Issue 2, pp. 3181-3190, 2009
- Marc Brett. Web Sitesi: <http://gpsinformation.net/main/gpstime.htm>, Erişim Tarihi: 13.06.2016
- Mazeh, T., Nachmani, G., Holczer, T., Fabrycky, D.C., Ford, B.F., Roberto, S., Sokol, G., Rowe, J.F., Zucker, S., Agol, E., Carter, J.A., Lissauer, J.J., Quintana, E.V., Ragozzine, D., Steffen, J.H., Welsh, W. 2013. The Astrophysical Journal Supplement, 208,2,16
- Nesvorný, D., Kipping, D.M., Buchhave, L.A., Bakos, G.A., Hartman, J., Schmitt, A.R. 2012. Science, 336,6085
- Steffen, J.H., Fabrycky, D.C., Agol, E., Ford, B.F., Morehead, C.R., Cochran, D.W., Lissauer, J.J., Adams, E.R., Borucki, W.J., Bryson, S., Caldwell, D.A., Dupree, A., Jenkins, J.M., Robertson, P., Rowe, J.F., Seader, S., Thompson, S. Twicken, J.D. 2012. Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 428,2,1077
- TUBITAK Ulusal Gözlemevi. Web Sitesi: <http://www.tug.tubitak.gov.tr>, Erişim tarihi: 13.06.2016
- Wolszczan A., Frail D.A., 1992, Nature, vol 355, p 145-147