



**GÜNEŞ BENZERİ BAZI YILDIZLAR
ETRAFINDAN GEÇİŞ YÖNTEMİYLE
GEZEĞEN ARAŞTIRILMASI**

Pakize AYDIN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU

Y.Lisans Tezi

Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

2020

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE ASTROFİZİK ANABİLİM DALI

**GÜNEŞ BENZERİ BAZI YILDIZLAR ETRAFINDA GEÇİŞ YÖNTEMİYLE
GEZEĞEN ARAŞTIRILMASI**
(Probing The Physical Parameters Of Planetary Systems Around Sun-Like Stars Using
Transit Method)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pakize AYDIN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eda SONBAŞ

Erzurum

Temmuz, 2020

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Pakize AYDIN tarafından hazırlanan “Güneş Benzeri Bazı Yıldızlar Etrafında Geçiş Yöntemiyle Gezegen Araştırılması” başlıklı çalışması 20 / 07 / 2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı, Astronomi ve Astrofizik Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
Atatürk Üniversitesi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Adıyaman Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Nazlı KARAMAN
Adıyaman Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Aykut ÖZDÖNMEZ
Atatürk Üniversitesi

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Adıyaman Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU danışmanlığında sunulan “Güneş Benzeri Bazı Yıldızlar Etrafında Geçiş Yöntemiyle Gezegen Araştırılması” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	6	30
Kuramsal Temeller	1	30
Materyal ve Yöntem	5	35
Bulgular ve Tartışma	0	20
Sonuç	0	20
Tezin Geneli	4	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Pakize AYDIN	Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU
20.7.2020	20.7.2020
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bilgi, tecrübe ve destekleriyle bana yol gösteren tez danışmanlarım Atatürk Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU'na ve Adıyaman Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Eda SONBAŞ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında gözlemler ve analizler için desteklerini esirgemeyen Adıyaman Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Nazlı KARAMAN'a ve Atatürk Üniversitesi Araş. Gör. Hüseyin ER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında gerekli gözlem verilerin toplanması için teleskoplarıyla gözlem imkânı sunan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (Proje No: 19BT100-1531) ve Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi (ADYU60 teleskopu) yönetimine ve personellerine teşekkür ederim.

Gerek maddi gerek manevi olarak her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme de sonsuz teşekkürler.

Pakize Aydın

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GÜNEŞ BENZERİ BAZI YILDIZLAR ETRAFINDA GEÇİŞ YÖNTEMİYLE
GEZEĞEN ARAŞTIRILMASI

Pakize AYDIN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU
İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eda SONBAŞ

Amaç: Bu çalışmada HAT-P-32 b, Qatar-1 b, Qatar-3 b ve WASP-12 b adlı ötegezegen sistemlerinin gözlemlerinden elde edilen geçiş ışık eğrileri incelenerek bu sistemlerin fiziksel parametrelerinin yeniden belirlenmesi ve literatür sonuçlarıyla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu sistemlerin geçiş zamanları literatürdeki değerler ile birlikte incelenerek herhangi bir değişim olup olmadığına bakıldı.

Yöntem: Geçiş yöntemi bir gezegenin konak yıldızının önünden geçerken yıldızın ışığındaki değişimin incelendiği bir yöntemdir. Geçiş gözlem verilerini elde etmek için Adıyaman Üniversitesi Gözlemevindeki 60 cm'lik (ADYU60) teleskop ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevindeki (TUG) 100 cm'lik (TUG-T00) teleskop kullanıldı. Geçiş ışık eğrilerinden fiziksel parametreleri hesaplamak için AstroImageJ (AIJ) ve EXOFAST yazılımları kullanıldı. O-C (Gözlenen–Hesaplanan) diyagramlarından yararlanarak geçiş zamanlarındaki değişimler (TTV, Transit Timing Variation) incelendi.

Bulgular: İncelenen tüm gezegen-yıldız sistemleri için elde edilen fiziksel parametrelerin literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. HAT-P-32 b ve Qatar-1 b sistemlerin incelenen O-C diyagramlarında herhangi bir TTV sinyali tespit edilmemiştir. Qatar-3 b sisteminin ise yeterli verisi olmadığından O-C diyagramı oluşturulamamıştır. WASP-12 b'nin O-C diyagramında ise literatür ile uyumlu azalan bir dönem değişimi tespit edilmiştir.

Sonuç: Geçiş gösterdiği bilinen ötegezegenlerin yer tabanlı teleskoplarla geçiş gözlemlerini yapmak zor olmasına rağmen ADYU60 ve TUG-T100 teleskopları ile gözlemsel veriler başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların bir kısmında farklılık olsa da hata limitleri içerisinde genel anlamda literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Daha belirgin sonuçlar almak için bu kaynakların uzun dönemli ve daha hassas gözlemlerinin yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ötegezegen, Yıldız-gezegen sistemleri, Geçiş yöntemi, Temel fiziksel parametreler, AstroImageJ, EXOFAST, TTV

Temmuz 2020, 58 sayfa

ABSTRACT
MASTER'S THESIS
PROBING THE PHYSICAL PARAMETERS OF PLANETARY SYSTEMS
AROUND SUN-LIKE STARS USING TRANSIT METHOD

Pakize AYDIN

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlham NASIROĞLU

Co-supervisor: Prof. Dr. Eda SONBAŞ

Purpose: The aim of this study is to re-determine the physical parameters and period change of the exoplanetary systems (HAT-P-32 b, Qatar-1b, Qatar-3b and WASP-12b) by analysis of transit light curves and compare them with the results presented in the literature.

Method: The transit method relies on the passage of the target planet in front of its host star according to our line of sight. As a result of the transit the measured brightness of the host star changes a small amount and the change is regular as the planet repeats the transit per each orbit. The systems were observed with the 60-cm telescope (ADYU60) located at Adiyaman University Observatory (ADYU60) and the 100-cm telescope (TUG-T100) at TUBITAK National Observatory. AstroImageJ (AIJ) and EXOFAST software packages were used to analyze and model the transit light curves. Finally, O-C (Observed - Calculated) diagrams were created to search for Transit Timing Variations (TTV).

Findings: The physical parameters obtained for all systems studied in this thesis were found to be consistent with the values taken from the literature within the reported uncertainties. We did not find any TTV for HAT-P-32 b and Qatar-1 b systems. For Qatar 3-b, we were not able to construct an O-C diagram because of lack of sufficient data. We confirm the period change reported by previous studies for the WASP-12 b system

Results: We have successfully observed transiting exoplanet systems with ground-based optical telescopes ADYU60 and TUG-T100. The physical parameters obtained for all systems studied in this thesis were found to be consistent with the values taken from the literature within the reported uncertainties. For further refinement of the results, longer-term and higher precision observations are necessary.

Keywords: Exoplanets, Stellar-planetary systems, Transit method, Basic physical parameters, AstroImageJ, EXOFAST

July 2020, 58 page

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	vii
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER	5
1.1 Ötegezegenler ve Keşif Yöntemleri	5
1.1.1. Doğrudan görüntüleme yöntemi.....	6
1.1.2. Dikine hız yöntemi	7
1.1.3. Konum ölçüm yöntemi	8
1.1.4. Kütle çekimsel mikromercek yöntemi.....	8
1.1.5. Geçiş Yöntemi	9
1.1.6. Zamanlama yöntemi	11
1.2 Geçiş zamanı değişimi.....	11
MATERYAL VE METOD.....	13
2.1. Materyal.....	13
2.2. Yöntem	15
2.2.1. Geçiş ışık eğrilerinden elde edilen fiziksel parametreler.....	17
2.2.2. Geçiş Zamanı Değişimlerinin İncelenmesi.....	21
BULGULAR VE TARTIŞMA	23
3.1. HAT-P-32 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları.....	24
3.2. Qatar-1 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları	27
3.3. Qatar-3 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları	29
3.4. WASP-12 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları	31
3.5. Geçiş zamanlarının incelenmesi.....	33
SONUÇ	39
KAYNAKÇA.....	41
ÖZGEÇMİŞ	46

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Tez kapsamında incelenen kısa dönemli kaynakların listesi. Değerler ETD veri tabanından alınmıştır.	14
Tablo 2. Gezegen, konak yıldız ve geçiş yöntemiyle elde edilen bazı parametreler	19
Tablo 3. HAT-P-32 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler.....	24
Tablo 4. HAT-P-32 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST’ten elde edilen sistem parametreleri ve literatürle karşılaştırılması	26
Tablo 5. Qatar-1 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler.....	27
Tablo 6. Qatar-1 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST’ten elde edilen sistem parametreleri ve literatür ile karşılaştırılması.....	28
Tablo 7. Qatar-3 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler.....	29
Tablo 8. Qatar-3 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST’ten elde edilen sistem parametreleri ve literatürle karşılaştırılması	30
Tablo 9. WASP-12 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler	31
Tablo 10. WASP-12 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST’ten elde edilen sistem parametreleri ve literatürle karşılaştırılması	32
Tablo 11. HAT-P-32 b’nin geçiş gözlemlerinden EXOFAST ile elde edilen geçiş zamanları	34
Tablo 12. Qatar-1 b’nin geçiş gözlemlerinden EXOFAST ile elde edilen geçiş zamanları	35
Tablo 13. WASP-12 b’nin geçiş gözlemlerinden EXOFAST ile elde edilen geçiş zamanları.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Keşif yöntemlerine ve yıllara göre ötegezegenlerin keşif sayısı.....	4
Şekil 2. Kahverengi cüce yıldızı 2M1207 ve yörüngesindeki dev gezegenin bileşik görüntüsü	6
Şekil 3. Yörüngesinde gezegen dolanan bir yıldızdaki Doppler etkisinin temsili gösterimi	7
Şekil 4. Yörüngesinde gezegen dolanan bir yıldızın gökyüzü düzleminde gözlenen hareketi	8
Şekil 5. Kütle çekimsel mercek etkisinin temsili gösterimi	9
Şekil 6. Geçiş yönteminin temsili bir görüntüsü	10
Şekil 7. HD 209458 sistemindeki gezegenin konak yıldızının önünden geçerken elde edilen geçiş ışık eğrisi	10
Şekil 8. PSR1257+12'nin dönem değişimi	11
Şekil 9. Bir gezegenin konak yıldızının önünden geçerken zamanla akıda bir düşüş olarak görülen bir geçişin illüstrasyonu.....	20
Şekil 10. HAT-P-32 b için AIJ ile elde edilen 10 geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları ...	25
Şekil 11. HAT-P-32 b için yapılan 10 geçiş gözleminin EXOFAST ile elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları.....	26
Şekil 12. Qatar-1 b için AIJ ile elde edilen 2 geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları	27
Şekil 13. Qatar-1 b'nin 2 geçiş gözleminin EXOFAST ile elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları	28
Şekil 14. Qatar-3 b için AIJ ile elde edilen geçiş gözleminin ışık eğrisi ve artıkları	29
Şekil 15. Qatar-3 b için EXOFAST ile elde edilen 22.09.2019 tarihli geçiş gözleminin ışık eğrisi ve artıkları.....	30
Şekil 16. WASP-12 b için AIJ ile elde edilen 3 geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları	31
Şekil 17. WASP-12 b için EXOFAST'ten elde edilen tüm geçiş gözlemlerinin bileşik ışık eğrisi ve artıkları.....	32
Şekil 18. HAT-P-32 b'nin OriginPro programıyla oluşturulan O-C diyagramı	35
Şekil 19. Qatar-1 b'nin OriginPro programıyla oluşturulan O-C diyagramı	36
Şekil 20. WASP-12 b'nin OriginPro programıyla oluşturulan O-C diyagramı	37
Şekil 21. WASP-12 b'nin O-C diyagramı üzerine uygulanan Kuadtratik fit modeli.....	38

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AB	: Astronomik Birim (Dünya ile Güneş arasındaki uzaklık: 1.5×10^{11} m)
ADYU60	: Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi Teleskopu
AIJ	: AstoImageJ
And	: Andromedae
BJD	: Barycentric Julian Date
BJD _{TDB}	: Barycentric Dynamical Time
CCD	: Charge Coupled Device
cgs	: centimeter, gram, second (santimetre, gram, saniye)
CNES	: The National Centre for Space Studies (Fransız Uzay Ajansı)
CoRoT	: Convection Rotation and Transits
DP	: Data Processor (Veri İşlemcisi)
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
ESO	: European Southern Observatory (Avrupa Güney Gözlemevi)
ETD	: Exoplanet Transit Database
FWHM	: Full-Width-Half-Maximum (yarı yüksekliğin tam genişliği)
Gem	: Gemini (İkizler takımyıldızı)
HAT	: Hungarian made Automated Telescope
IAU	: International Astronomy Union (Ulusal Astronomi Birliği)
MCMC	: Markov Chain Monte Carlo
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NEA	: NASA Exoplanet Archive
O-C	: Observed – Calculated (Gözlenen – Hesaplanan)
OGLE	: The Optical Gravitational Lensing Experiment
Peg	: Pegasus (Kanatlı at takımyıldızı)
PSR	: Pulsar
QES	: Qatar Exoplanet Survey
RV	: Radial Velocity (Dikine hız)
Ser	: Serpens (Yılan takımyıldızı)
Tau	: Taurus (Boğa takımyıldızı)
TESS	: Transiting Exoplanets Survey Satellite
TrES	: Trans-Atlantic Exoplanet Survey
TTV	: Transit Timing Variations (Geçiş Zamanı Değişimi)
TUG	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
Umi	: Ursa Minor (Küçük Ayı takımyıldızı)
VLT	: Very Large Telescope
WASP	: Wide Angle Search for Planets

a	: yarı-büyük eksen uzunluğu
$a/R_{\star}$	: yarı-büyük eksen uzunluğu yıldız yarıçap oranı
b	: Etki parametresi
d, T_{14}, T_{tot}	: Toplam geçiş süresi
e	: Dış merkezlik
E	: Çevrim
F_{off}	: geçiş dışında gözlenen yıldız akısı
F_{on}	: geçiş sırasında gözlenen yıldız akısı
G	: Evrensel çekim sabiti
I_0	: Akı yoğunluğu
I_1	: Yıldız diskinin merkezindeki akı yoğunluğu
I_{μ}	: Yıldız diskinin θ açısındaki akı yoğunluğu
i	: Yörünge eğimi
K	: Kelvin
$K_{\star}$	: Yıldızın dikine hız eğrisinin yarı-genliği
L	: Işınım gücü
$L_{\odot}$	: Güneş ışıınım gücü
$\log g_{\star}$	: Yıldızın yüzey kütle çekimi
$M_{\star}$	: Yıldızın kütlesi
M_p	: Gezegenin kütlesi
$M_{\odot}$	: Güneş kütlesi ($\sim 1.99 \times 10^{30}$ kg)
M_j	: Jüpiter kütlesi ($\sim 1.89 \times 10^{27}$ kg)
P	: Yörünge dönemi
$R_{\star}$	: Yıldızın yarıçapı
R_p	: Gezegenin yarıçapı
$R_{\odot}$	: Güneş yarıçapı (~ 696.340 km)
R_j	: Jüpiter yarıçapı (~ 69.911 km)
$R_p/R_{\star}$	: Gezegen yıldız yarıçaplar oranı
T_{eff}	: Etkin sıcaklık
T_{full}	: Tam geçiş süresi
u_0	: Doğrudan kenar kararırma katsayısı
u_1, u_2	: Kenar kararırma katsayıları
$v_{\star}$	: Yıldızın dikine hızı
$[Fe/H]$	: Metallik, metal bolluğu
ΔF	: Geçiş derinliği
δ	: Geçiş derinliği
μ	: $\mu = \cos \theta$
θ	: gözlemci ile yıldızın yüzeyindeki normal vektör arasındaki açıdır.
σ	: Boltzmann sabiti ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W m^{-2}$)
τ_{egr}	: çıkış süresi
τ_{ing}	: giriş süresi

GİRİŞ

Ötegezegen (exoplanet) olarak adlandırılan ve Güneş'ten başka yıldızların etrafında dolanan gezegenlerin var olabileceği düşüncesi yüzyıllardır insanoğlu tarafından en çok merak edilen konulardan biri olmuştur. Son 30 yıldır ötegezegen araştırmaları teknolojinin gelişmesiyle birlikte uluslararası boyutta farklı disiplinlerdeki bilim insanlarını bir araya getirerek çağımızın en ilgili çekici ve çığır açacak nitelikteki araştırma alanlarından biri haline gelmiş ve günümüze kadar bu alanda geliştirilen farklı yöntemler yardımıyla binlerce ötegezegenin keşfedilmesinin yolunu açmıştır.

Bu alanda yapılan çalışmaların temelinde yeni gezegenlerin tespiti ve bilinen gezegenlerin yeni gözlemlerinin yapılmasının yanı sıra gezegen sistemlerinin konak yıldızlarıyla etkileşimlerinin fiziksel ve dinamik süreçlerini anlamaya çalışmak ve bu gezegenlerin Dünya gibi karasal mı, yoksa Jüpiter gibi bir gaz devi mi? Sıcak mı, soğuk mu? Atmosferi var mı? Varsa, yaşam oluşturabilecek su, metan ve oksijen gibi molekülleri içeriyor mu? gibi sorulara cevap bulmaktır (Hecht 2016). Bu yoğun çalışmalar sonucunda keşfedilen ötegezegenler kütlelerine, boyutlarına, sıcaklıklarına ve atmosferlerinde (varsa) içerdikleri moleküllere göre; Dünya Benzeri (Earth-like), Dünya İkizi (Earth Twin), Gaz Devi (Gas Giant), Buz Devi (Ice Giant), Sıcak Jüpiter (Hot Jupiter), Sıcak Neptün (Hot Neptün), Mini Neptün (Mini Neptune), Süper Dünya (Super Earth) vb. gibi farklı sınıflarda tanımlanmaktadırlar (Madhusudhan *et al.* 2016).

Ötegezegenler ile ilgili ilk bilimsel çalışmalara 19. yüzyılın sonlarında başlansa da 1990'lı yıllara kadar hiçbir gözlem aracı ile varlıkları kanıtlanamamıştır. 1992 yılında bir milisaniye pulsarı (PSR B1257+12) üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ilk ötegezegenin varlığından bahsedilmiştir (Wolszczan and Frail 1992). Daha sonraları farklı yöntemlerle de kanıtlanan bu keşif birkaç μ s'lik bir hassasiyet gerektiren zamanlama yöntemiyle yapılmıştır (Wolszczan 1994, 1997). Bu keşiften birkaç yıl sonra geçiş yöntemi kullanılarak Güneş benzeri bir yıldız olan 51 Pegasi'nin etrafında dönen bir ötegezegenin keşfiyle (Mayor and Queloz 1995), ötegezegen çalışmaları Dünya'nın birçok yerinde hız kazanmaya başlamıştır. Jüpiter benzeri bu ötegezegenin yıldızına çok yakın bir yörüngede (güneş sistemimizin en iç gezegeni olan Merkür'den çok daha yakın) bulunması gezegen oluşum teorileri açısından oldukça şaşırtıcı bir sonuç olmuştur. Bu sonuç büyük gezegenlerin yıldızlarından uzakta oluşup milyonlarca yıl boyunca yıldızlarına daha yakına doğru göç edebileceği düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla bu türden ötegezegen

keşifleri gezegenlerin oluşum mekanizmalarının ve evrimlerinin daha iyi anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca ötegezegenler ile ilgili yapılan yeni keşifler konak yıldızların evrimi sırasında bu gezegenlerin hayatta kalma süreci hakkında merak edilen birçok soruya da cevap olabilecek niteliktedir.

Güneş sistemi içinde veya dışındaki bir gökcisminin (uydular hariç) gezegen olarak tanımlanabilmesi için gerekli kriterler, 2006 yılında Uluslararası Astronomi Birliği (International Astronomy Union, IAU) tarafından aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Bir gezegen;

- Bir yıldızın yörüngesi etrafında dolanan,
- Başka bir gezegenin uydusu durumunda olmayan,
- Kendi yörüngesi çevresindeki cisimleri temizlemiş olan (*yörüngede kendi kütlesinden daha fazla bir kütlenin olmaması gerekmektedir*),
- Kendi kütle çekimi için yeterince kütleyle, böylece hidrostatik (neredeyse yuvarlak) bir dengeye sahip olan bir cisim olarak tanımlanmıştır.

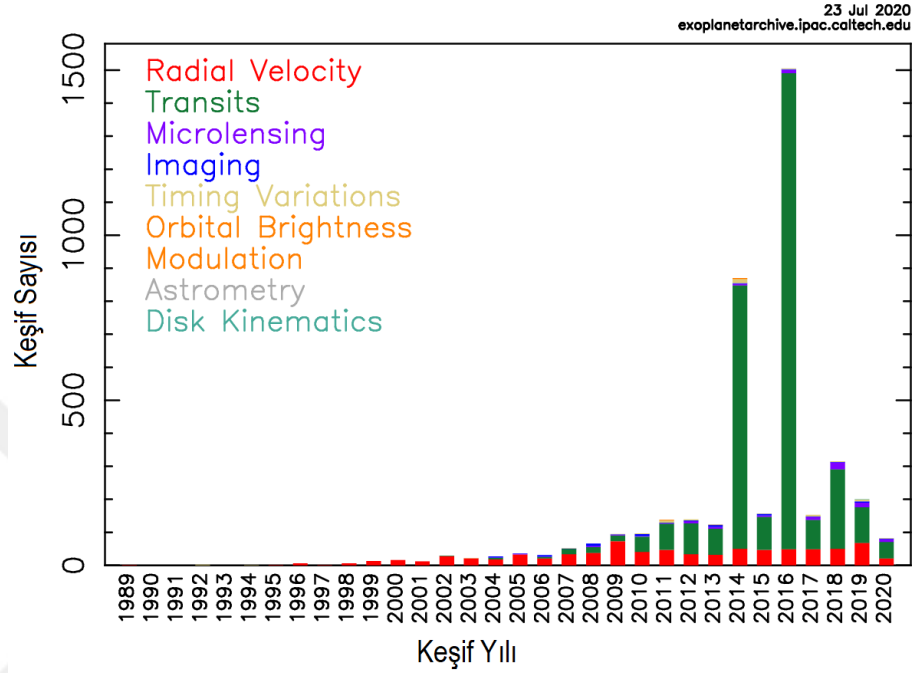
Yukarıdaki tanım gereği Plüton'dan biraz daha büyük bir nesne olan asteroit Ceres ve Eris ile birlikte, Plüton, Neptün ötesindeki Haumea (1/3 Plüton) ve Makemake (3/4 Plüton) yörünge çevrelerini temizleyemedikleri için gezegen sınıfına dâhil edilmemektedir (IAU 2006). Bu kriterlere ek olarak, bir gök cisminin gezegen olarak tanımlanabilmesi için kütlesinin $0,012 M_{\odot}$ ($13 M_j$)'den daha küçük olması gerekmektedir. Döteryum yanma sınırı olan $13 M_j$ 'den daha büyük kütleli gök cisimleri çekirdeğinde hidrojen yakabilmekte ve kahverengi cüce ($80 M_j$ kütlesine kadar olanlar) olarak sınıflandırılmaktadır (Saumon *et al.* 1996; Burrows *et al.* 1997; Boss *et al.* 2007). Dev gaz gezegenler için gözlemsel bulgulardan elde edilen kütle sınır değerleri $26.7-29.4 M_j$ (Sahlmann *et al.* 2013) ve $\sim 60-70 M_j$ (Hatzes and Rauer 2015) olarak tanımlanmaktadır.

Yeni keşfedilen bir gezegeni isimlendirmek içinse; bağlı olduğu yıldızın isminin yanına 'b' harfi konarak yapılır. Aynı yıldız etrafından birden fazla gezegen tespit edilmesi durumunda her bir gezegen için keşif sırasına göre yıldız isminin yanına sırasıyla 'c, d, e, f...' harfleri konarak adlandırmaya devam edilir. Örnek olarak, Trappist-1 yıldızının etrafında ilk keşfedilen gezegene Trappist-1 b ve daha sonra tespit edilenlere ise sırasıyla; Trappist-1 c, Trappist-1 d, Trappist-1 e, Trappist-1 f, Trappist-1 g, Trappist-1 h şeklinde isimler verilmiştir (Anonim 2020a).

Ötegezegenler, ayrıca keşifleri yapılan projelere bağlı olarak da isimlendirilebilir. Örneğin; WASP, TrES, Kepler gibi projeler tarafından keşfedilmiş ötegezegenler sırasıyla WASP-12 b, WASP-18 b... vb. TrES-1 b, TrES-2 b, TrES-3 b... vb. Kepler-19 c, Kepler-70 b, Kepler-46 d... vb. şeklinde isimlendirilmiştir (Anonim 2020a). Çift yıldız sistemlerinin yörüngesinde dolanan gezegenler için de aynı tür bir adlandırma yapılmaktadır. Örnek olarak, NN Ser çift yıldızı etrafında tespit edilen gezegenlere NN Ser (ab)c ve NN Ser (ab)d ismi verilmiştir (Beuermann *et al.* 2010). Bir diğer isimlendirme şekli ise, konak yıldızlarının içinde bulunduğu takımyıldızlarından aldıkları isimleri türetilerek de yapılabilir. Mayor and Queloz (1995) tarafından ilk kez bir anakol yıldızının etrafında keşfedilen “51 Peg b” ötegezegeni HD 217014 b ötegezegeni yerine adlandırılmıştır. Buradaki “51 Peg” içinde bulunduğu Pegasus (Kanatlı At) takımyıldızının kısaltılmasından türetilerek konak yıldızına verilen isimdir. Buna benzer örnekler ise; Tau Gem b, 11 Umi b, 14 And b,... vb olarak verilebilir (Schneider *et al.* 2011).

Etrafından dolandıkları yıldızlarından milyonlarca kez sönük olmalarından ve en yakının bile birkaç ışık yılı uzakta olmasından dolayı ötegezegenlerin çoğu teleskoplar ile doğrudan görüntülenemezler; bu nedenle, bu gezegenleri keşfetmek ve karakterize etmek için doğrudan (doğrudan görüntüleme) veya dolaylı (dikine hız, geçiş, zamanlama, konum ölçüm, mikromerceklemeye) yöntemler kullanılmaktadır. Ötegezegen keşiflerinde farklı yöntemler kullanılarak şu ana kadar 4000’den fazla gezegen keşfedilmiştir (Şekil 1). Bunların 3163’si tekli ve 701’si ise çoklu gezegen sistemleridir (Anonim 2020b). Çalışmalarımız kapsamında kullandığımız “Geçiş Yöntemi” bakış doğrultumuza göre gezegenin konak yıldızının önünden geçerken örtülmeden dolayı yıldızın ışığında meydana gelen değişimlerin ölçülmesine dayanan bir yöntemdir (Winn 2010). Çok hassas ışıkölçerler ile gözlenebilen bu değişimler gezegenlerin fiziksel boyutları hakkında bilgiler verir (Mayor and Frei 2003; Santos 2008). Geçiş yöntemi kullanılarak keşfedilen ilk gezegen HD 209458 b’dir (Charbonneau *et al.* 2000). Bu yöntem, yer tabanlı gözlemlerle Jüpiter büyüklüğündeki ötegezegenlerin ve uzay tabanlı (uydu teleskopları) gözlemlerle ise Dünya büyüklüğündeki ötegezegenlerin keşif olanağını sağlamaktadır. Şimdilerde bu yöntemin kullanıldığı yer-tabanlı gözlemlere WASP (Wide Angle Search for Planets, Pollacco *et al.* 2006) ve HAT (Hungarian Automated Telescopes, Bakos *et al.* 2004, 2009) gibi projeler öncülük etmektedir. Bununla birlikte geçiş yöntemini kullanarak yaptığı keşiflerle gezegen kataloğuna büyük katkı sağlayan gözlemcilerinden birisi de 2018 yılında görevi sonlandırılan NASA’nın KEPLER uydusudur (Still and Barclay 2012). Ayrıca bu tür

Çalışmalarda kullanılan diğ er bir önemli gözlemevi olarak Fransız Uzay Ajansı (CNES) ile Avrupa Uzay Ajansı (ESA) iç birliğinde uzaya gönderilen CoRoT uydusu da örnek verilebilir.



şekil 1. Keşif yöntemlerine ve yıllara göre ötegezegenlerin keşif sayısı (Anonim 2020c)

Bu tez çalışması kapsamında varlığı doğrulanmış bazı ötegezegenlerin gözlemleri yeniden yapılmış ve toplanan verilerden elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen kaynaklar kullanılan teleskopların gözlene bilirlik ve parlaklık limitlerine uygun bir şekilde seçilmiştir. Gözlem verileri T B TAK Ulusal Gözlemevi bünyesindeki T100 Teleskobu ve Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi bünyesindeki ADYU60 Teleskobu ile elde edilmiştir. Elde edilen verilerin indirgenmesi ve analizi için AstroImageJ (AIJ, Collins *et al.* 2017a) ve EXOFAST (Eastman *et al.* 2013) yazılımları kullanılmıştır. Ayrıca her bir kaynak için minimum zamanları (geçiş ortası zamanları) hassas bir şekilde belirlenip bu zamanlarda bir değişim olup olmadığı sistemlerin O-C diyagramları çizilerek belirlenmeye çalışılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

1.1 Ötegezegenler ve Keşif Yöntemleri

İnsanoğlu, yüzyıllardır merak ettiği “Güneş dışı diğer yıldızların etrafında gezegenler var mı?” sorusunun cevabını ancak 20. yüzyılın sonlarında gerekli gözlem araçlarıyla birlikte gezegenlerin yörüngelerinde dolandıkları yıldızlar üzerindeki etkilerini ölçmeye dayanan dolaylı tespit yöntemlerini geliştirdiklerinde öğrendi. Bu merak konusu aslında o zamanki gökbilimcilerin “uzak yıldızların Güneş’imize benzediğini ve bu nedenle kendi gezegenlerini barındırabileceği” düşüncesinden gelmekte idi. Elbette, bu gezegen sistemlerinin Güneş Sistemindekilere benzeyip benzemeyeceği veya bu sistemlerdeki yaşamın (veya yaşam belirtilerinin) tespit edilip edilemeyeceği bilinmiyordu (Mason 2008)

1992’de gökbilimciler tarafından, ölü bir yıldız olan pulsar PSR B1257’nin yörüngesinde gezegen büyüklüğündeki bir kütlenin tespit edildiği bildirilmiştir (Wolszczan and Frail 1992). Bu tespit Güneş sistemimizin dışındaki gezegenlerin ilk keşfi olarak kabul edilir. Detaylı incelemeler sonucunda bu sistemde ikinci ve üçüncü gezegenin de olduğu keşfedilmiştir (Wolszczan 1994, 1996). Bu keşiften hemen üç yıl sonra, ilk kez Güneş benzeri bir anakol yıldızına oldukça yakın yörüngede dolanan Jüpiter benzeri bir gaz devi olan 51 Peg b ötegezegeni keşfedilmiştir (Mayor and Queloz 1995). Bu keşifler astronomide bir devrim başlatmış olup astronomik gözlem tekniklerinin gelişmesine, yer ve uzay tabanlı projelerin takip gözlemleriyle birlikte yeni keşif sayısının hızlı bir şekilde artmasına öncü olmuştur. Bu keşif sayısının artması, araştırmacıların gezegen oluşumunun arkasındaki fiziksel süreçler hakkındaki teorilerini gözden geçirmesine neden olmuştur.

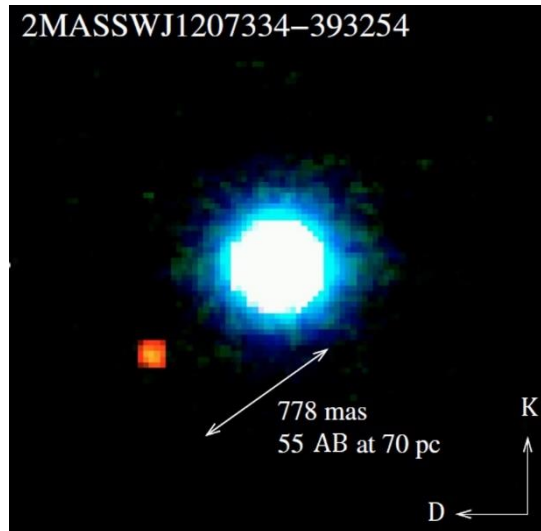
Exoplanet Ağı’nın istatistiklerine göre, Temmuz 2020 tarihi itibarıyla; 701’si çoklu gezegen sistemleri ve 3163’si tekli gezegen sistemi olmak üzere toplamda 4281 ötegezegen keşfedilmiş ve onaylanmıştır. Buna ek olarak, 2500’den fazla ötegezegen adayı ise onaylanmayı beklemektedir (Anonim 2020b). Bu keşfedilen ötegezegenlerin çoğunluğunu (yaklaşık %70) dev gaz gezegenler ve sıcak Jüpiter-benzeri gezegenler, kalan kısmını ise Süper dünyalar (%20) ve Dünya kütleli gezegenler (yaklaşık %2) oluşturmaktadır (XU *et al.* 2017).

Ötegezegenlerin çok küçük bir kısmı doğrudan gözlenebilir olmasına rağmen büyük bir çoğunluğu etraftan dolandıkları yıldızlarından milyonlarca kez sönük olmalarından ve en yakınının bile birkaç ışık yılı uzakta olmasından dolayı çoğu teleskoplar ile doğrudan

görüntülenemezler; bu nedenle, bu gezegenleri keşfetmek ve karakterize etmek için doğrudan (doğrudan görüntüleme) veya dolaylı (dikine hız, konum ölçüm, mikromerçekleme, geçiş ve zamanlama) yöntemler kullanılmaktadır. Ötegezegen keşiflerinde, yıldız veya gezegene ait bazı fiziksel parametreler bu yöntemlerden birini veya birkaç yöntemin birleşimi yapılarak elde edilir (Wei 2018).

1.1.1. Doğrudan görüntüleme yöntemi

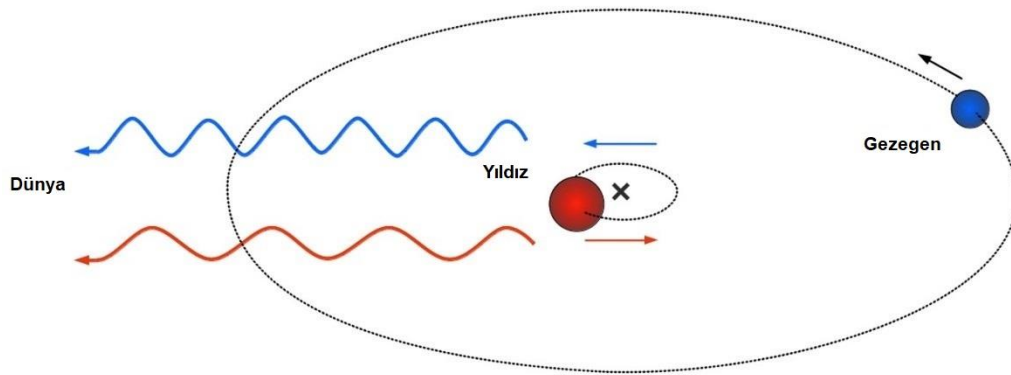
Ötegezegen keşiflerinde başlangıç aşamasında olup giderek gelişmekte olan doğrudan görüntüleme yöntemi geniş yörüngelere sahip Jüpiter ve Dünya benzeri ötegezegenlerin keşfi için önemli bir yöntemdir. Bu yöntem, gezegenin konak yıldızının parlak ışığı altında kaybolması ve gezegen-yıldız arasındaki küçük açısal ayırıklık nedeniyle ötegezegen keşfi için kullanılan zor yöntemlerden biridir (Marois *et al.* 2008). Kızılötesi ışıktaki daha iyi sonuçlar veren bu yöntemde gezegeni doğrudan görüntülemek için konak yıldızın merkezinden korona tabakasına kadar olan kısmı kronograf denilen aletler ile maskelenerek yıldız ışığının detektöre ulaşması engellenir. Bu yöntem ile ilk kez ESO (European Southern Observatory)'nın 8.2 metrelik VLT (Very Large Telescope) teleskobu kullanılarak bir kahverengi cüce yıldızı olan 2M1207'nin yörüngesinde (Şekil 2) bir gezegen keşfedilmiştir (Chauvin *et al.* 2004). Şimdiye kadar Exoplanet Ağı verilerine göre doğrudan görüntüleme yöntemi ile toplam 139 ötegezegen keşfedilmiştir (Anonim 2020b).



Şekil 2. Kahverengi cüce yıldızı 2M1207 ve yörüngesindeki dev gezegenin bileşik görüntüsü (Chauvin *et al.* 2004). Ötegezegen, kahverengi cüce 2M1207'nin rengine kıyasla açıkça ayırt edilebilir görünmektedir.

1.1.2. Dikine hız yöntemi

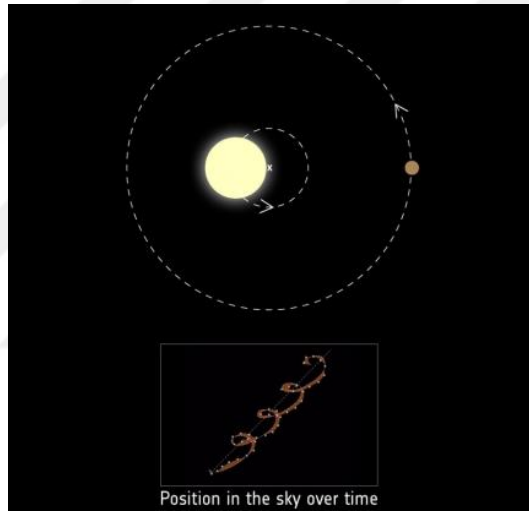
Dikine hız yöntemi, şimdiye kadar en çok kullanılan ötegezegen keşif yöntemlerinden biri olup Güneş benzeri yıldızların etrafında dolanan yüzlerce gezegenin büyük bir çoğunluğu HARPS (the High Accuracy Radial velocity Planetary Search project, Mayor *et al.* 2009) ve APPS (the Anglo-Australian Planet Search, Wittenmyer *et al.* 2012) gibi uluslararası “dikine hız” programları kullanılarak keşfedilmiştir. Bu yöntem, gezegeni ile ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapmakta olan yıldızın dikine hız değişimlerini algılamaya yönelik tayfsal bir yöntemdir (Selam ve ark. 2008). Yıldızın etrafında dolanan gezegen, kütle çekim etkisiyle yıldızının yalpalanmasına (küçük dairesel veya eliptik bir yörüngede hareket etmesine) neden olur (Şekil 3). Küçük ve düzenli değişimler olarak görülen bu yalpalamadan yola çıkarak yıldızın dikine hızı (v_*) ve sistemin yörünge dönemi (P) hesaplanarak gezegen parametrelerine ulaşılabilir (Wei 2018). Ancak keşif yöntemi, yüksek radyal hızlarda daha etkili olduğundan bu yöntemin sınırları vardır. Bir başka deyişle yıldızına uzak gezegenlerin kütle çekim etkisi küçük olacağından sadece yıldızlarına çok yakın geçiş yapan ve çok büyük kütleli gezegenlerin keşfi için etkilidir. Bugüne kadar bu yöntemle keşfedilen birçok ötegezegenin yıldızlarına çok yakın bir yörüngeye sahip olması bunu doğrulamaktadır (Baranne *et al.* 1996; Mayor and Frei 2003). Dikine hız yöntemiyle ilk kez Güneş benzeri bir anakol yıldızı etrafında dolanmakta olan 51 Peg b gezegenin keşfi yapılmıştır (Mayor and Queloz 1995). Exoplanet Ağı verilerine göre şimdiye kadar bu yöntem ile 888 ötegezegen keşfedilmiştir (Anonim 2020b).



Şekil 3. Yörüngesinde gezegen dolanan bir yıldızdaki Doppler etkisinin temsili gösterimi (Anonim 2020d). Yalpalanmadan dolayı yıldız bize yaklaşırken yıldızın bize gelen ışığı maviye ve bizden uzaklaşırken kırmızıya kayar.

1.1.3. Konum ölçüm yöntemi

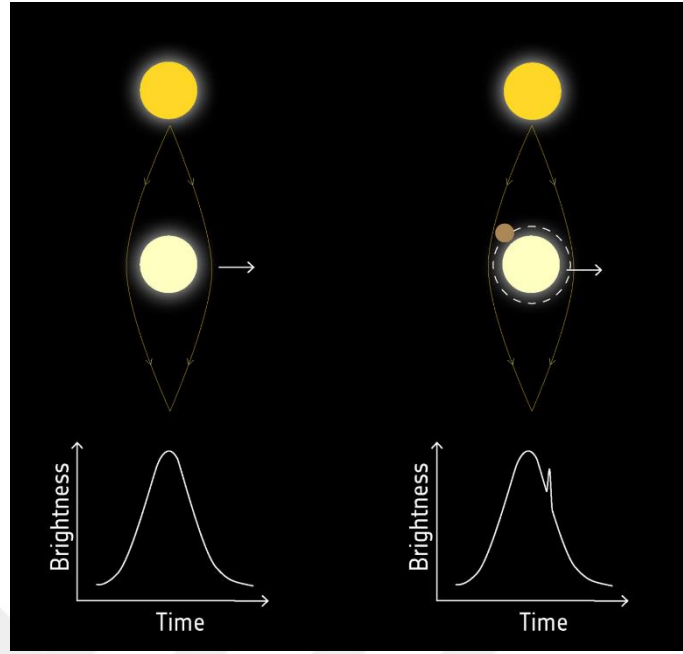
Dikine hız yöntemine yönelik tamamlayıcı bir tespit tekniği olan konum ölçüm yöntemi, mili-yay-saniye mertebesinde daha düşük yer değişimlerini algılayan bir yöntemdir (Selam ve ark. 2008). Konum ölçüm yöntemi (astrometri); bir gezegenin yörüngesinde dolandığı yıldızla uyguladığı kütlece çekimsel etki nedeniyle yalpalanması sonucunda yıldızın gökyüzü düzlemindeki hareketinin (Şekil 4) incelenmesine dayanan bir keşif yöntemidir (Wright and Gaudi 2012). Exoplanet Ağı verilerine göre konum ölçüm yöntem ile şimdiye kadar 11 ötegezegen keşfedilmiş olup (Anonim 2020b) ilk keşif yaklaşık $1.5 M_j$ kütleyle sahip olan HD 176051 b ötegezegenidir (Mutterspaugh *et al.* 2010).



Şekil 4. Yörüngesinde gezegen dolanan bir yıldızın gökyüzü düzleminde gözlenen hareketi (Anonim 2020e)

1.1.4. Kütle çekimsel mikromercek yöntemi

Bir mercek etkisini görülebilmesi için görelî olarak bize yakın bir yıldız ile arka plandaki bir yıldızın bakış doğrultumuza göre mükemmel bir şekilde hizalanması gerekir. Böylece artalandaki yıldızdan gelen ışık mercek etkisi gösteren yakın yıldızın kütle çekim alanı tarafından bükülerek sanal bir görüntü oluşur ve artalandaki kaynağın parlaklığı biraz daha büyütülmüş olur. Bu etki süresince yıldızların zamana karşı ölçülen toplam ışığında önce bir artış ve sonrada bir düşüş görülür (Şekil 5). Bize yakın yıldızın yörüngesinde bir gezegen var ise gezegenin kütle çekim alanının neden olacağı ayırt edilebilir ek bir mikromercek etki oluşur (Selam ve ark. 2008; Wright and Gaudi 2012). Bu yöntem ile ilk defa OGLE-2013-BLG-235L b ötegezegeni keşfedilmiş (Bond *et al.* 2004) olup şu ana kadar 125 ötegezegen keşfedilmiştir (Anonim 2020b).



Şekil 5. Kütle çekimsel mercek etkisinin temsili gösterimi (Anonim 2019e)

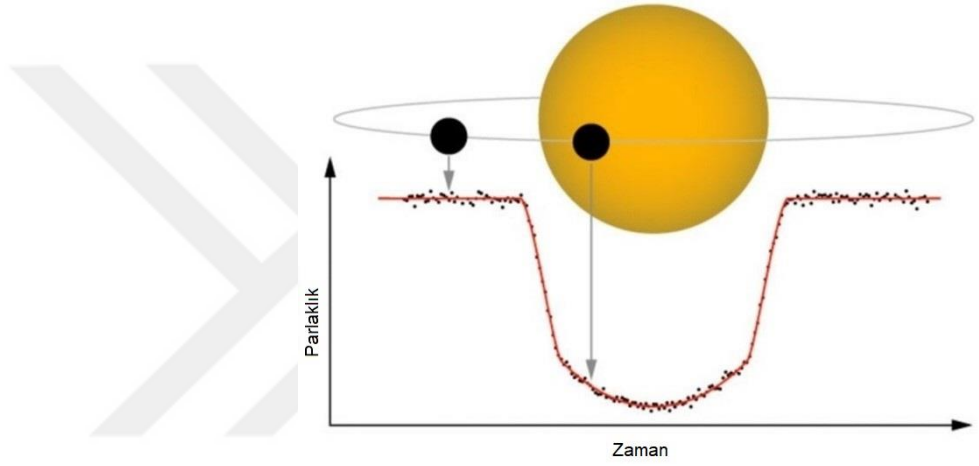
1.1.5. Geçiş Yöntemi

İlk olarak Borucki and Genet (1992) tarafından önerilen ve günümüzde ise ötegezegenlerin tespiti için en çok kullanılan yöntem olan “geçiş” yöntemi bakış doğrultumuza göre bir gezegenin etrafında dolandığı yıldızın önünden geçerken örtülme nedeniyle yıldızın parlaklığında küçük miktardaki düzenli ışık değişimlerinin ölçüldüğü bir yöntemdir. Şekil 6’da gösterildiği gibi bir gezegen, önünden geçtiği yıldızının ışığını engellemesiyle parlaklığında bir miktar azalma meydana getirir ve bu olay periyodik olarak tekrarlanır (Winn 2010). Çok hassas ışıkölçerler ile gözlenebilen bu değişim gezegenlerin yörüngesi, dönemi ve fiziksel boyutları hakkında bilgiler verir (Mayor and Frei 2003; Santos 2008).

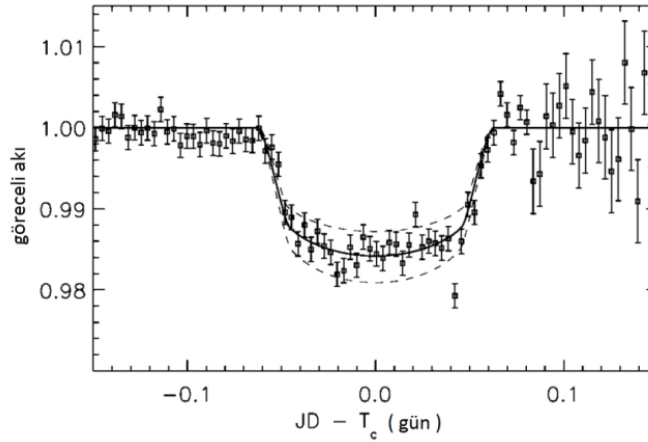
Geçiş için Güneş sistemimizden örnek verilecek olursa, Güneş benzeri bir yıldızdan geçen Jüpiter büyüklüğündeki bir gezegen için bu düşüş %1 mertebesindeyken, Dünya büyüklüğündeki bir gezegen için bu değer %0,01 mertebesinde dir. Güneş benzeri yıldızlar etrafındaki Dünya büyüklüğündeki gezegenlerin algılanması şu anda sadece uzay tabanlı teleskoplar ile mümkün olmaktadır. Ancak Güneş’ten çok daha küçük olan M-cüce yıldızların küçük yarıçapı nedeniyle, Dünya büyüklüğünde bir gezegenin geçiş derinliği yer tabanlı teleskoplar ile algılanabilecek bir büyüklükte olmaktadır (Koppenhöfer 2009).

Daha önce dikine hız yöntemi ile de keşfedilmiş olan HD 209458 b ötegezegeni geçiş yöntemiyle keşfedilen ilk gezegendir (Charbonneau *et al.* 2000). Gezegenin geçiş ışık eğrisi Şekil

7'de gösterilmektedir. Geçiş yöntemi ile şimdiye kadar Exoplanet Ağı verilerine göre 3052 ötegezegen keşfedilmiştir (Anonim 2020b). Bu veriler geçiş yöntemini bugüne kadar tartışmasız en başarılı ötegezegen keşif yöntemi yapmaktadır. Şimdilerde bu yöntemin kullanıldığı yer tabanlı gözlemlere WASP (Pollacco *et al.* 2006), HAT (Bakos *et al.* 2004, 2009) ve QES (Qatar Exoplanet Survery, Alsubai *et al.* 2013) gibi birçok proje öncülük etmektedir. Uzay tabanlı gözlemlere ise görevi 2018'de sonlandırılan KEPLER'den sonra TESS (Transing Exoplanets Survey Satellite, Ricker *et al.* 2014) uydusu ile devam edilmektedir.



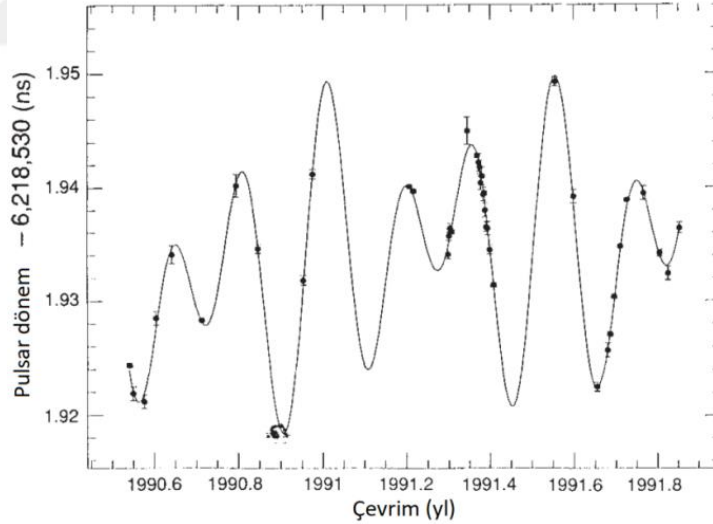
Şekil 6. Geçiş yönteminin temsili bir görüntüsü (Mao *et al.* 2013). Sadece yıldızın ve gezegenin birleşik akısı gözlenmektedir. Geçiş sırasında, gezegen konak yıldızının önünden geçişiyle akı düşmektedir. Daha sonra, gezegenin ortaya çıkmasıyla akı tekrar yükselmektedir.



Şekil 7. HD 209458 sistemindeki gezegenin konak yıldızının önünden geçerken elde edilen geçiş ışık eğrisi (Charbonneau *et al.* 2000)

1.1.6. Zamanlama yöntemi

Periyodik olarak değişim gösteren (örtülmeden veya puls üretiminden dolayı) yıldızların yörüngesinde dolanan gezegenler kütle çekim etkisi nedeniyle bu yıldızların yalpalanmalarına neden olabilir. Bu yalpalanma sürecinde bu yıldızlardan gelen düzenli sinyaller zamansal olarak değişim gösterir. Yani yıldız bize daha yakın olduğunda gelen ışık gözlemciye biraz daha erken veya biraz daha uzak olduğunda ise ışık biraz daha geç gelir. Bu ışık-zaman etkisi ölçülebilir olup değişen yıldızların çevresindeki ötegezegenleri tespit etmek için de kullanılabilir (Horner *et al.* 2013). Zamanlama yöntemi ile gezegen keşifleri, literatüre ilk ötegezegen keşfi olarak geçen PSR B1257+12 b'nin keşfi ile başlamıştır (Wolszczan and Frail 1992). Bu keşif tüm ötegezegen keşifleri için öncü olmuştur. Şekil 8'de PSR B1257+12 pulsarının dönem değişimi gösterilmektedir. Pulsarların etrafındaki bu gezegen keşifleri hem yıldız evriminin geç aşamaları hem de gezegen oluşumu hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Lazio *et al.* 2004). Exoplanet Ağı verilerine göre ise zamanlama yöntemiyle şimdiye kadar 43 ötegezegen keşfedilmiştir (Anonim 2020b).



Şekil 8. PSR1257+12'nin dönem değişimi. Her dönem ölçümü, en az iki gün art arda yapılan gözlemlere dayanmaktadır (Wolszczan and Frail 1992).

1.2 Geçiş zamanı değişimi

Geçiş parametrelerinin hesaplanmasına ek olarak, geçiş ortası zamanı ve süresi de ölçülebilir. Geçiş gözlemleri yapılan bir gezegenin konak yıldızının etrafında kütle çekimle bağlı başka bir gezegen veya geçiş yapan gezegenin etrafında bir uydu olması durumunda bu

gözlenemeyen cisimler ışık-zaman etkisi nedeniyle gözlenen geçiş zamanlarında bir değişime neden olacaktır. Işık-zaman etkisi olgusu olarak yorumlanan bu süreç, O-C olarak da bilinen diyagramların incelenmesi sonucu geçiş ortası zamanlarının değişimini (TTV) incelemek için kullanılmaktadır. Bu olay, sistemde ek bir gezegenin olması durumunda bu gezegenin kütle çekimi etkisi nedeniyle sistemin bizden uzaklaşıp mevcut gezegenin geçiş ışığının bize biraz daha geç veya bize yaklaşıp ışığının bize biraz daha erken gelmesine neden olur. Sonuç olarak TTV'lerin izlenmesi bu türden sistemlerde ek gezegenlerin tespiti için kullanılabilmektedir (Andrae *et al.* 2010).

TTV etkisinin sistemdeki ek gezegenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığını söyleyebilmek için O-C diyagramında çevrimsel bir yapının olması beklenir. TTV'lerin incelenmesi ile Dünya kütleli gezegenlerin tespitinin bile yapılabileceği düşünülmektedir. Bu düşüncenin doğru olduğu Kepler misyonunun yüzlerce TTV'nin (örn. Mazeh *et al.* 2013) dakikalar ila birkaç saat arasında değişen genliklerinin tespit edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Ayrıca TTV ölçümlerinden, sistemdeki bu ek gezegenin kütlesi, yörünge dönemi ve yarı-büyük eksen uzunluğu gibi bazı fiziksel parametreler de tespit edilebilmektedir (Agol *et al.* 2005; Holman and Murray 2005).

MATERYAL VE METOD

Bu tez kapsamında varlığı doğrulanmış bazı ötegezegenlerin daha önceden elde edilen fiziksel parametrelerini daha hassas bir şekilde belirleyebilmek için geçiş gözlemleri yeniden yapılmış ve elde edilen verilerden çıkan sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır. Geçiş gözlemleri, incelenen bir gezegenin bakış doğrultumuza göre bağlı olduğu yıldızın önünden geçerken örtülme nedeniyle yıldızın parlaklığında meydana gelen düzenli ışık değişimlerinin ölçüldüğü gözlemlerdir. Geçiş ışık eğrilerinin hassas bir şekilde elde edilebilmesi için kullanılan CCD kameraların görüntü okuma süreleri ve incelenen kaynakların parlaklıkları oldukça önemlidir. Bu nedenle, incelenen kaynakların seçimi kullanılan teleskopların gözlene bilirlilik ve parlaklık limitlerine uygun olarak yapılmıştır. Gözlem verileri Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi bünyesindeki ADYU60 teleskobu ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi bünyesindeki T100 teleskobu ile elde edilmiştir. Elde edilen verilerin indirgenmesi ve analizi için AstroImageJ ve EXOFAST yazılımları kullanılmıştır. Ayrıca her bir kaynak için geçiş ışık eğrisinin ortasına karşılık gelen zamanlar EXOFAST ile hassas bir şekilde belirlenip, bu zamanlarda bir değişim olup olmadığı sistemlerin O-C diyagramları çizilerek belirlenmeye çalışılmıştır.

2.1. Materyal

İncelenen kaynakların koordinatları ve parlaklıkları (yıldızın V bandındaki parlaklığı 9-13 kadir değerleri arasında) NASA Exoplanet Archive (NEA, Akenson *et al.* 2013), The Extrasolar Planets Encyclopaedia (Schneider *et al.* 2011) ve Exoplanet Transit Database (ETD, Poddaný *et al.* 2010) veri tabanlarından kullandığımız teleskopların gözlem limitlerine uygun olarak seçilmiştir. Kaynakların gözlem sezonu içinde çok fazla sayıda geçiş gösteren kısa yörünge dönemli ve geçiş derinliğinin minimum 0.01 mag ve üzeri olmasına dikkat edilmiştir. İncelenen kaynakların listesi Tablo 1’de verilmiştir.

R filtresindeki gözlem verileri Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarına bağlı gözlemevi bünyesindeki yüksek hızlı ve hassas Andor İkon-M 934 CCD kameraya sahip 60 cm’lik ADYU60 teleskobu ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi bünyesindeki SI 1100 Serisi CCD kameraya sahip 100 cm’lik TUG-T100 teleskobu kullanılarak elde edilmiştir. Temel görüntü indirgeme verileri Bias (anlık görüntü), Dark (kara akım görüntüsü) ve Flat (düz alan görüntüsü) ise her gözlem gecesi için ayrı ayrı alındı. Gözlem verileri toplanırken kaynaklardan daha iyi ışık toplanabilmesi için gözlem zamanları özellikle Yeniay dönemlerine (karanlık gecelerde) göre

planlandı. Gözlemler sırasında ADYU60 teleskobu için kaynağın parlaklığına bağlı olarak 90 ve 120 saniyelik poz süreleri kullanıldı. Kullanılan CCD (1Kx1K) kameranın görüntü okuma süresi 1s'den daha kısa bir süre olup gözlem zamanında incelenen kaynaklardan seri ve hızlı bir şekilde veri alma imkânı sağladı. TUG-T100 teleskobunda ise poz süresi 30 s olarak belirlendi. Gözlem sırasında bu teleskoba takılı CCD'nin (4Kx4K) görüntü okuma hızını düşürmek için binning-2 modu kullanıldı ve okuma hızı 12–13 s'ye kadar düşürüldü.

Gözlemlerden elde edilen CCD verileri AIJ (Collins *et al.* 2017a) programı ile indirgenerek incelenen kaynakların geçiş ışık eğrileri elde edildi. Bu ışık eğrilerinden yıldız-gezegen sisteminin yarıçapları oranı, eksen eğikliği, etki parametresi, geçiş derinliği, kenar karama katsayıları gibi bazı fiziksel parametrelerin belirsizlikleri (hata değerleri) AIJ ile hesaplanamadığından bu parametreler ve belirsizliklerini hesaplamak için EXOFAST (Eastman *et al.* 2013, 2019) yazılımı kullanıldı.

Tablo 1. Tez kapsamında incelenen kısa dönemli kaynakların listesi. Değerler ETD veri tabanından alınmıştır.

Kaynak	Dönem (gün)	V (mag)	Derinlik (mag)	Tutulma Süresi (dk)
HAT-P-32 b	2.15	11.29	0.0244	186.5
Qatar-1 b	1.42	12.84	0.0204	96.7
Qatar-3 b	2.50	12.88	0.0826	186.6
WASP-12 b	1.09	11.69	0.0151	180.06

- **İncelenen kaynaklar**

- i. **HAT-P 32 b**

HAT-P-32 yıldızı bir çift yıldız sistemidir (Zhao *et al.* 2014). Bileşenlerinden HAT-P-32A yıldızı, görünür parlaklığı 11.29 kadir olan F tayf türü bir cüce yıldızdır. Yıldızın yörüngesinde dolanan oldukça büyük ve sıcak Jüpiter olan HAT-P-32A b gezegeni Hartman *et al.* (2011) tarafından HAT-Net projesi kapsamında keşfedilmiştir. Sistemin yörünge dönemi 2.1500085 ± 0.0000002 gün ve yarı-büyük eksen uzunluğu 0.0343 ± 0.0004 AB olarak hesaplanmıştır. Diğer bileşeni HAT-P-32B yıldızı, K_s bandında Adaptif Optik görüntüleme kullanarak Adams *et al.* (2013) tarafından bir M tayf türünde cüce aday olduğu tespit edilmiştir.

ii. Qatar-1 b ve Qatar-3 b

Sıcak Jüpiter olan Qatar-1 b ve Qatar-3 b ötegezegenleri QES tarafından keşfedilen ilk gezegenlerdir (Alsubai *et al.* 2013). Qatar-1 b, ilk kez Alsubai *et al.* (2011) tarafından duyurulmuştur. Konak yıldızı Qatar-1, görünür parlaklığı 12.84 kadir olan metalce zengin K-cüce tayf türü bir yıldızdır. Dairesel bir yörüngeye sahip olan sistemin yörünge dönemi 1.4220033 ± 0.000016 gün ve yarı-büyük eksen uzunluğu ise 0.02343 ± 0.00026 AB olarak hesaplanmıştır. Qatar-3 b gezegeni ise Alsubai *et al.* (2017) tarafından duyurulmuştur. Konak yıldızı Qatar-3, görünür parlaklığı 12.88 kadir olan G0V tayf türüne çok yakın bir yıldızdır. Sistemin yörünge dönemi 2.5079204 gün ve yarı-büyük eksen uzunluğu ise 0.03783 ± 0.00069 AB olarak hesaplanmıştır (Alsubai *et al.* 2017).

iii. WASP-12 b

WASP-12 b, WASP projesi kapsamında keşfedilen sıcak bir Jüpiter ötegezegenidir (Hebb *et al.* 2009). Konak yıldızı görünür parlaklığı 11.7 kadir olan evrilmiş geç F tayf türü yıldızının yörüngesindedir. Dairesel bir yörüngeye sahip sistemin yörünge dönemi 1.09 gün ve yarı-büyük eksen uzunluğu ise 0.0229 ± 0.004 AB olarak hesaplanmıştır. Bechter *et al.* (2014) tarafından Keck teleskopu kullanılarak WASP-12 etrafında dönen iki M3V yıldızından oluşan üçlü bir sistem olduğu doğrulanmıştır. Çiftin WASP-12'den öngörülen yarı-büyük eksen uzunluğu 300 AB'dır. Bu nedenle WASP-12 b'nin yörünge parametreleri üzerinde herhangi bir etki ihmal edilebilmektedir (Collins *et al.* 2017b).

2.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında HAT-P-32 b, Qatar-1 b, Qatar-3 b ve WASP-12 b sistemleri için Şubat 2017'den Ekim 2019 tarihine kadar ADYU60 ve TUG-T100 teleskoplarıyla R fitresinde elde edilen gözlem verileri kullanıldı. Elde edilen gözlem verilerini indirgemek ve diferansiyel açıklık fotometrisi (differential aperture photometry) yapmak için AstroImageJ programı kullanıldı. AIJ, genel görüntü işleme için grafiksel bir yazılım paketidir. Özellikle ötegezegen geçiş ışık eğrileri gibi çok hassas uygulamalar gerektiren ışık eğrilerinin oluşturulmasını kolaylaştırır (Mandel and Agol 2002). Program bir Java programıdır ve astronomik algoritmaları JSkyCal kodlarına dayanmaktadır. AIJ'nin Veri İşlemci (DP, Data Processor) modülü, temel kalibrasyon görüntülerinin oluşturulmasını (master dark/bias/flat), bilimsel görüntülerin indirgenmesini ve isteğe bağlı olarak fark fotometrisi yapımı ile ışık eğrisi çizimini gerçekleştiren

araçlar sağlamaktadır. Bu paket tüm işletim sistemleriyle uyumludur (Collins *et al.* 2017a, 2017b).

Veri indirgeme işlemi sırasında, standart Bias/Dark çıkarımı ve Flat düzeltmesi yapıldı. Tüm zamanlar Güneş Sisteminin merkezi bir referans çerçevesine dayanan mutlak bir zaman standardı olan BJD_{TDB} (Barycentric Julian Date in Barycentric Dynamical Time)'ye dönüştürüldü (Eastman *et al.* 2010). Kaynak yıldız ve referans yıldızlarının *aperture* (gök+yıldız sayımı için açıklık) ve *annulus* (gök sayımı için halka) yarıçapları AIJ yazılımının “*Radial Profile*” özelliği kullanarak belirlendi. İndirgeme işlemleri esnasında modelleme artıklarını minimize edebilmek için açıklık büyüklüklerinin her bir görüntüdeki FWHM (full-width-half-maximum) değerinin 1.1-1.2 katı oranında değişimine izin verildi (Collins *et al.* 2017a). Fark fotometrisi sırasında kullanılan referans yıldızlarının seçiminde ise kaynak yıldızına hem parlaklık hem de konum olarak en yakın yıldızlar olmasına ve fotometrik açıklığa karışabilecek yakın yıldızlardan olmamasına dikkat edildi. Bu referans yıldızları her bir kaynak için aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- HAT-P-32 b için sırasıyla GSC 03281-00640, GSC 03281-00900, GSC 03281-00464, TYC 3281-721-1
- Qatar-1 b için sırasıyla TYC 4240-905-1, 2MASS J20131440+6507000, 2MASS J20123648+6508138
- Qatar-3 b için sırasıyla LEDA 2079836, SDSS J235657.08+360700.2, SDSS J235631.32+360910.7, HD 224302
- WASP-12 b için sırasıyla 2MASS J06303188+2942273, TYC 1891-876-1, TYC 1891-326-1, TYC 1891-324-1, TYC 1891-38-1

AIJ işlemlerinden sonra sistemin geçiş ışık eğrilerini modelleyebilmek, gezegen-yıldız sisteminin fiziksel parametrelerini elde etmek ve bu parametrelerin belirsizliklerini hesaplayabilmek için NEA'nın EXOFAST (Anonim 2020f) programı kullanıldı. EXOFAST dikine hız (RV, Radial Velocity) veri setlerinden yararlanarak geçiş ışık eğrilerinin analiz edilmesini sağlar. Kullanılan bu RV veri setlerinin çözümüyle; sistemin yörünge dönemi, yörünge basıklığı ve yarı-büyük eksen uzunluğu ile bileşenlerin kütleleri hesaplanabilir (Eastman *et al.* 2013). Gezegenin kütle hesabı içinse Keplerin 3. Denklemi kullanılır:

$$\frac{M_p}{(M_* + M_p)^{2/3}} = \frac{K_* \sqrt{1-e^2}}{\sin i} \left(\frac{P}{2\pi G} \right)^{1/3} \quad (1)$$

burada K_* , yıldızın dikine hız eğrisinin yarı-genlik değeri; i , referans düzlemi ile gezegenin gerçek yörüngesi arasındaki açı; M_* , yıldızın kütlesi; M_p , gezegenin kütlesi; P , yörünge dönemi ve G ise evrensel çekim sabitidir (Winn 2010).

EXOFAST, sistem parametrelerinin medyan (ortalama) değerlerini, belirsizliklerini, fit edilen model parametrelerinin kovaryanslarını sağlam bir şekilde belirlemek için MCMC (Markov chain Monte Carlo) simülasyonunu kullanmaktadır. MCMC tekniği, çoklu gezegen sistemleri için gerekli olan çok boyutlu parametre alanlarına çok uygun olması avantajına sahiptir. EXOFAST bu tekniği yıldız-gezegen sistemlerine uygulayarak sistemlerin yörünge parametrelerindeki belirsizlikleri hesaplayabilmektedir. Genel hedef, analiz sırasındaki hataları azaltmak olduğundan MCMC, araştırmalarda standart bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, minimum değeri bulmak için belirsizliklerin Gauss olduğu varsayılarak en düşük X^2 değeri hesaplanır.

$$X^2 = \sum \left(\frac{D_i - M_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (2)$$

Burada i , her bir veriyi, D , veri setini; σ , belirsizliği; M , model parametresini temsil eder (Eastman *et al.* 2013). EXOFAST ile parametrelerin her bir veri seti seçilir ve o set için X^2 değerlendirilir. Daha sonra farklı bir parametre kümesi rastgele seçilir, X^2 hesaplanır ve en iyi parametre değerleri kümesini bulmak için önceki parametreler kümesiyle karşılaştırılır. EXOFAST, bunu yapmak için BJD_{TDB} , akı, akı hatası dâhil üç veri sütununa ihtiyaç duyar (Davoudi *et al.* 2019). EXOFAST, her MCMC adımında başlangıç değerlerinden (Prior and Prior width) M_* ve R_* 'yı tahmin etmek için Torres ilişkilerini (Torres *et al.* 2010; Eastman *et al.* 2013; Collins *et al.* 2017b) kullanmaktadır. Bu başlangıç değerleri için girilmesi gereken önemli parametreler T_{eff} (yıldızın Kelvin cinsinden etkin sıcaklık), $\log g_*$ (cgs cinsinde yıldızın yüzey kütle çekimi) ve $[Fe/H]$ (yıldızın metalliliği) değerleridir.

2.2.1. Geçiş ışık eğrilerinden elde edilen fiziksel parametreler

Ötegezegenler ve konak yıldızlarının temel parametrelerinin elde edilmesi, gezegenlerin oluşumu ve evrimi ile ilgili aranan soruları cevaplamak için büyük öneme sahiptir (Coughlin 2013). Tablo 2'de gezegen, konak yıldızı ve geçiş yönteminden elde edilen bazı parametreler verilmiştir.

M_* ve R_* : Bir yıldızın kütlesi ve yarıçapı Güneş kütlesi ve yarıçap cinsinden yazılır ($M_{\odot} = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$; $R_{\odot} = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$) (Schneider *et al.* 2011).

Etkin sıcaklık, (T_{eff}): Yıldızlar neredeyse bir kara cisim ışıması yapar ve yüzey sıcaklıkları Stefan-Boltzmann yasası ile hesaplanabilir (Stefan 1879; Boltzmann 1884).

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (3)$$

burada, L ; yıldızın ışıyım gücü, R ; yıldızın yarıçapı, ve sigma ise Stefan-Boltzmann sabitidir ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W m^2$)

Yüzey çekimi, ($\log g_*$): Bir yıldızın yüzey çekimi doğrudan yıldızın kütlesi ve yarıçapı ile ilişkilidir (Eşitlik 4). Yüzey çekimi, yıldız atmosferinin fotometrik basıncının bir ölçüsüdür. Doğrudan ölçümler, tutulma gösteren tayfsal çiftlerin verilerinden mümkündür. Bununla birlikte atmosfer modellerinden de elde edilebilir (Smalley 2005).

$$g = \frac{GM_*}{R_*^2} \quad (4)$$

Burada G , evrensel çekim sabiti olup M_* ve R_* , güneş birimi cinsindendir. Logaritmik olarak yüzey çekimi:

$$\log g_* = \log M_* - 2 \log R_* + 4.437 \quad (5)$$

M_p ve R_p : Bir gezegenin kütlesi ve yarıçapı Jüpiter kütlesi ve yarıçapı cinsinden yazılır. Bu gezegen parametreleri Jüpiter cinsinden Dünya kütlesi ve yarıçapına $1 M_j = 317.83 M_E$ ve $1 R_j = 11.18 R_E$ şeklinde dönüştürülebilir (Allen 1976).

Yarı-büyük eksen uzunluğu, (a): Eliptik bir yörüngede gezegenin merkeze olan en uzak noktasıdır. Bu değer Kepler yasası ($P = 2\pi\sqrt{a^3/GM_*}$) ile elde edilir (Schneider *et al.* 2011).

Dış merkezlik, (e , eksentrisite): Yörüngenin büyüklüğünü ve şeklini tanımlar.

Enberi (periastron) noktası, $a(1 - e)$: Gezegenin dolandığı yörüngede yıldızına en yakın olduğu mesafedir.

Enöte (apastron) noktası, $a(1 + e)$: Gezegenin yıldızına en uzak olduğu mesafedir (Tabare 2017).

Toplam geçiş süresi, (d veya T_{tot}): Gezegenin konak yıldızının kenarını geçmeye başladığı süresi, $T_{tot} = t_{IV} - t_I$ 'dir. Geçiş sürecinin temsili gösterimi ayrıntılarıyla Şekil 9'da verilmiştir. Dairesel bir yörünge için öngörülen toplam geçiş süresi, yörünge parametreleri ve yıldız yarıçapı ile ilişkilidir (Moutou and Pont 2006):

$$d \simeq \frac{PR_{\star}}{\pi a} \sqrt{\left(1 + \frac{R_p}{R_{\star}}\right)^2 - \left(\frac{a}{R_{\star}} \cos i\right)^2} \quad (6)$$

$\frac{a}{R_{\star}} \cos i$ ifadesi etki parametresi “ b ” olup geçiş süresi için daha kullanışlı bir ifade Eşitlik 7’de verilmiştir.

$$d \simeq 1.8 \sqrt{(1 - b^2)} \frac{R_{\star}}{M_{\star}^{1/3}} P^{1/3} \quad (7)$$

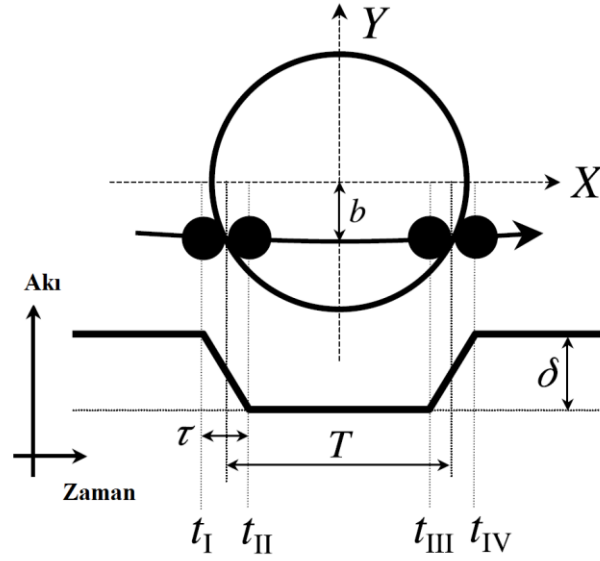
burada, gezegenin kütlesi ihmal edilmiştir. Eşitlik 6’nın aksine d parametresi burada saat cinsinden olup P , gün cinsinden; a , astronomik birim cinsinden; $R_{\star}$ ve $M_{\star}$ ’nin her ikisi de güneş birimi cinsindendir.

Tablo 2. Gezegen, konak yıldız ve geçiş yöntemiyle elde edilen bazı parametreler (Collins *et al.* 2017b)

Parametre	Tanım	Birim
Konak Yıldız		
Kütle	$M_{\star}$	Güneş kütlesi ($M_{\odot}$)
Yarıçapı	$R_{\star}$	Güneş yarıçapı $R_{\odot}$
Etkin sıcaklık	T_{eff}	K
Işınım gücü	L	Güneş ışınlam gücü ($L_{\odot}$)
Yüzey çekimi	$\log g_{\star}$	cgs
Gezegen		
Kütle	M_p	Jüpiter kütlesi (M_j)
Yarıçap	R_p	Jüpiter yarıçapı (R_j)
Yarı-büyük eksen	a	AB
Dış merkezlik	e	
Geçiş		
Toplam geçiş süresi	d, T_{14}, T_{tot}	BJD _{TDB}
Geçiş ortası zamanı	T_c	BJD _{TDB}
Yörünge dönemi	P	gün
Yarıçapları oranı	$R_p/R_{\star}$	
Yarı-büyük eksen yıldız yarıçap oranı	$a/R_{\star}$	
Etki parametresi	b	
Geçiş derinliği	δ	
Yörünge eğimi	i	derece
Kenar kararması katsayıları	u_1, u_2	

Geçiş ortası zamanı (Minimum zamanları): Eşitlik 8’de verildiği gibi gezegenin konak yıldızının kenarını geçmeye başladığı andan bitirdiği ana kadar olan toplam geçiş süresinin ortasına karşılık gelen zamandır (Moutou and Pont 2006).

$$T_c = \frac{t_{lv} - t_l}{2} \quad (8)$$



Şekil 9. Bir gezegenin konak yıldızının önünden geçerken zamanla akıda bir düşüş olarak görülen bir geçişin illüstrasyonu (Winn 2010). Toplam geçiş süresi $T_{tot} = t_{IV} - t_I$, tam süre $T_{full} = t_{III} - t_{II}$, giriş süresi $\tau_{ing} = t_{II} - t_I$ ve çıkış süresi $\tau_{egr} = t_{IV} - t_{III}$ 'dir.

Yörünge dönemi, (P): Konak yıldızının veya yıldız sisteminin etrafındaki gezegenin yörüngede tam bir tur dolanması için geçen süredir. Geçiş ortası zamanı sistemin yörünge döneminin belirlenmesini sağlar.

Geçiş derinliği, (δ): Şekil 9'da gösterildiği gibi yörüngedeki gezegenin konak yıldızının önünden geçmesi sırasında yıldızın göreceli akısının azalmasının bir ölçüsüdür. Geçiş derinliği Eşitlik 9'da gösterildiği gibi gezegenin yarıçapının konak yıldızının yarıçapına oranının karesiyle elde edilir (Seager and Mallen-Ornelas 2003).

$$\delta = \Delta F = \frac{F_{off} - F_{on}}{F_{off}} = \left(\frac{R_p}{R_{\star}} \right)^2 \quad (9)$$

Burada, F_{off} , geçiş dışında gözlenen yıldız akısı ve F_{on} , geçiş sırasında gözlenen yıldız akısı. Denklem için kenar kararması ihmal edilmiştir.

Etki parametresi, (b): Gezegenin merkezden geçişi sırasında gezegen ve yıldız merkezi arasında tahmini uzaklık olarak tanımlanır (Şekil 9). “b” değeri Eşitlik 10'da verildiği gibi yarı-büyük eksen uzunluğunun yıldızın yarıçapı oranı ile ilişkilidir (Seager and Mallen-Ornelas 2003).

$$b = \frac{a}{R_{\star}} \cos i \quad (10)$$

Yarı büyük eksen uzunluğunun konak yıldızının yarıçapına oranıyla ilişkili olan “ b ” parametresi ise Eşitlik 11’de gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$\frac{a}{R_*} = \left\{ \frac{(1+\sqrt{\Delta F})^2 - b^2 [1 - \sin^2(d\pi/P)]}{\sin^2(d\pi/P)} \right\}^{1/2} \quad (11)$$

Yörünge eğimi, (i): Gezegenin yörünge düzlemi ile dönme eksenini arasındaki açıdır ($0^\circ \leq i \leq 180^\circ$). Etki parametresinin tanımına göre yörünge eğimi Eşitlik 12’den hesaplanabilir (Seager and Mallen-Ornelas 2003):

$$i = \cos^{-1} \left(b \frac{R_*}{a} \right) \quad (12)$$

Kenar kararması, (u_1, u_2): Işık daha derin atmosfer tabakasından geldiği için yıldız diskleri merkezde daha parlak olup kenarlarında ise daha sönüktür. Kenar kararması olarak bilinen bu durum, gezegen konak yıldızının kenarından geçişi sırasında yıldızın bize gelen akısındaki düşüş, merkezinden geçişi sırasında akının düşüşüne göre daha az gelmesine neden olacaktır. Kenar kararma kanunu Eşitlik 13’de gösterildiği gibidir (Eastman *et al.* 2013).

$$\frac{I(\mu)}{I(1)} = 1 - u_0(1 - \mu) \quad (13)$$

Doğrusal kenar kararma kanunu olarak bilinen bu kanun en temel kenar kararma kanunudur. Burada I_0 , yıldız diskinin merkezindeki akı yoğunluğu, $\mu = \cos\theta$ (θ , gözlemci bakış doğrultusu ile yıldız yüzeyindeki normal vektör arasındaki açıdır) u_0 kenar kararma katsayı ve I_μ ise θ açısındaki akı miktarıdır. Güneş benzeri yıldızlar için bu yasa yeterli olup daha soğuk yıldızlar için bu yasa geliştirilerek ikinci dereceden kararma yasası oluşturulmuştur (Eastman *et al.* 2013; Brown *et al.* 2001; Winn 2010).

$$\frac{I(\mu)}{I(1)} = 1 - u_1(1 - \mu) - u_2(1 - \mu)^2 \quad (14)$$

Burada μ ve $\{u_1 \text{ ve } u_2, \text{ kenar kararma katsayıları}\}$ yıldız atmosferi modellerinden hesaplanabilen veya yeterince hassas bir geçiş ışık eğrisinden ölçülebilen sabit katsayılardır.

2.2.2. Geçiş Zamanı Değişimlerinin İncelenmesi

Geçiş ortası zamanları, gözlemlerden elde edilen her bir geçiş ışık eğrisinin EXOFAST programı kullanılarak uygun fit modelleriyle irdelenmesi sonucu hassas bir şekilde hesaplandı ve bu zamanlarda bir değişim olup olmadığı sistemlerin O-C diyagramları çizilerek incelendi. O-C diyagramları hem literatürden hem de gözlem verilerimizden elde edilen geçiş zamanları

kullanılarak oluşturuldu. Literatürden alınanlar dâhil her bir kaynak için tüm geçiş zamanları BJD_{TDB} 'ye dönüştürüldü (Eastman *et al.* 2010).

O-C ifadesindeki O (=Observed) gözlemlerden elde edilen geçiş zamanlarını ve C (=Calculated) ise $T_{calc} = T_0 + P \times E$ eşitliğinden hesaplanan geçiş zamanlarını temsil etmektedir. Burada T_0 , referans geçiş minimum zamanını (ilk minimum zamanı, $E=0$), E çevrimi ve P ise yörünge dönemini temsil etmektedir. Bu değerler arasındaki farkın ($O - C$) çevrim (E) değerlerine karşılık gelen grafiği ise O-C diyagramını vermektedir (Andrae *et al.* 2010). O-C diyagramlarının doğrusal ışık elemanlarıyla irdelenmesi sonucu kalan artıklarda (residual) tekrarlayan değişimler görülmesi durumunda bu değişimlerin ek gezegenlerden kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Geçiş zamanlarındaki değişimlerin sağlıklı bir şekilde incelenebilmesi için uzun dönemli geçiş gözlemlerine ihtiyaç olmaktadır. Gözlem verilerinin toplanma sürecinde zaman zaman farklı gözlem evleri de kullanılmaktadır. Bu süreç boyunca farklı gözlem aletleri (*teleskopların ayna açıklığı, takip sistemi, farklı detektörler, zaman senkronizasyonu*), gözlem teknikleri (*pozlama süresi, odak ayarı, filtre tercihi, hava koşulları*) ve veri indirgeme prosedürleri (*referans yıldız seçimi, indirgeme sırasında kullanılan açıklık yarıçapı gibi*) kullanılmasından dolayı geçiş zamanlarında birtakım saçılmalar gözlenebilmektedir. Bu nedenle TTV'lerin hassas ve doğru ölçümü için, gözlemler sırasında benzer gözlem aletlerinin/tekniklerinin kullanılması ve veri indirgeme sırasında her bir bilimsel görüntünün zamanının doğru bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir (Collins *et al.* 2017b). Sonuç olarak geçiş zamanlarındaki bu değişimlerin aletsel veya gözlemsel nedenlerden değil de yıldız-gezegen sisteminden kaynaklanıp kaynaklanmadığını anlayabilmemiz için periyodik yapıya sahip olması gerekir.

Çalışmalarımız kapsamında HAT-P-32 b, Qatar-1 b, Qatar-3 b ve WASP-12 b kaynaklarının her biri için oluşturulan (O-C) diyagramları Bulgular ve Tartışma kısmında verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

“Evrende yalnız mıyız?” sorusu günümüze kadar hep cevapsız kaldı. 25 yıl önce ilk defa Güneş'ten başka yıldızların etrafında dönen gezegenlerin keşfedilmesi ile bu sorunun cevabı için önemli bir adım atılmış oldu. Şu ana kadar keşfedilen gezegenlerin yarıçapları, kütleleri ve yörünge dönemleri gibi çoğu fiziksel özellikleri genellikle birbirlerinden farklı olup bu gezegenlerin hakkında henüz çok az şey bilinmektedir. Bu bağlamda, bir yandan yeni keşifler yapılmaya diğer bir yandan bilinen öte-gezegenlerin özelliklerinin çok daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesine devam edilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmamızda HAT-P-32 b, Qatar-1 b, Qatar-3 b ve WASP-12 b adlı ötegezegen sistemlerinin gözlemlerinden elde edilen geçiş ışık eğrileri incelenerek bu sistemlerin fiziksel parametrelerinin yeniden belirlenmesi ve literatür sonuçlarıyla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu sistemlerin geçiş zamanları literatürdeki değerler ile birlikte incelenerek herhangi değişim olup olmadığına bakılmıştır.

Tez çalışmamız kapsamında gözlem verilerinin elde edilmesi ve incelenmesi için geçiş yönteminden yararlanıldı. Geçiş yöntemi, bir gezegenin konak yıldızının önünden geçerken yıldızın gözlenen parlaklık değişiminin ölçüldüğü bir yöntemdir. Gözlem verileri Şubat 2017 ile Ekim 2019 tarihleri arasında ADYU60 ve TUG-T100 teleskopları ile elde edildi. İncelenen her bir kaynağın geçiş ışık eğrileri ise elde edilen gözlem verilerinin AIJ ile indirgenmesi sonucu oluşturuldu. AIJ ile belirsizlik hesabı yapılamadığından veri indirgeme işlemlerinden sonra her bir kaynağın geçiş ışık eğrilerini modelleyebilmek, fiziksel parametrelerini ve bu parametrelerin belirsizliklerini hesaplayabilmek için EXOFAST programı kullanıldı.

EXOFAST programı, gezegen-yıldız sistemlerinin parametrelerini hesaplamak için RV verilerini kullanmaktadır. Bu nedenle analiz sırasında HAT-P-32 (Hartman *et al.* 2011), Qatar-1 (Covino *et al.* 2013), Qatar-3 (Alsubai *et al.* 2017) ve WASP-12 (Hebb *et al.* 2009) yıldızları için literatürde mevcut olan RV veri setlerinden yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda hesaplanan parametreler sırasıyla her bir kaynak için literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Son olarak geçiş zamanlarında herhangi bir değişim olup olmadığına bakıldı. Geçiş zamanları, EXOFAST programı kullanılarak geçiş ışık eğrilerine uygun fit modellerinin uygulanması sonucunda hesaplandı. Tüm geçiş zamanları BJD_{TDB} 'ye dönüştürüldü. Daha sonra OriginLab (<https://www.originlab.com/>) programı kullanılarak çizdirilen O-C diyagramlarında muhtemel ek gezegenlerden kaynaklanabilecek çevrimsel bir yapının olup olmadığına bakıldı.

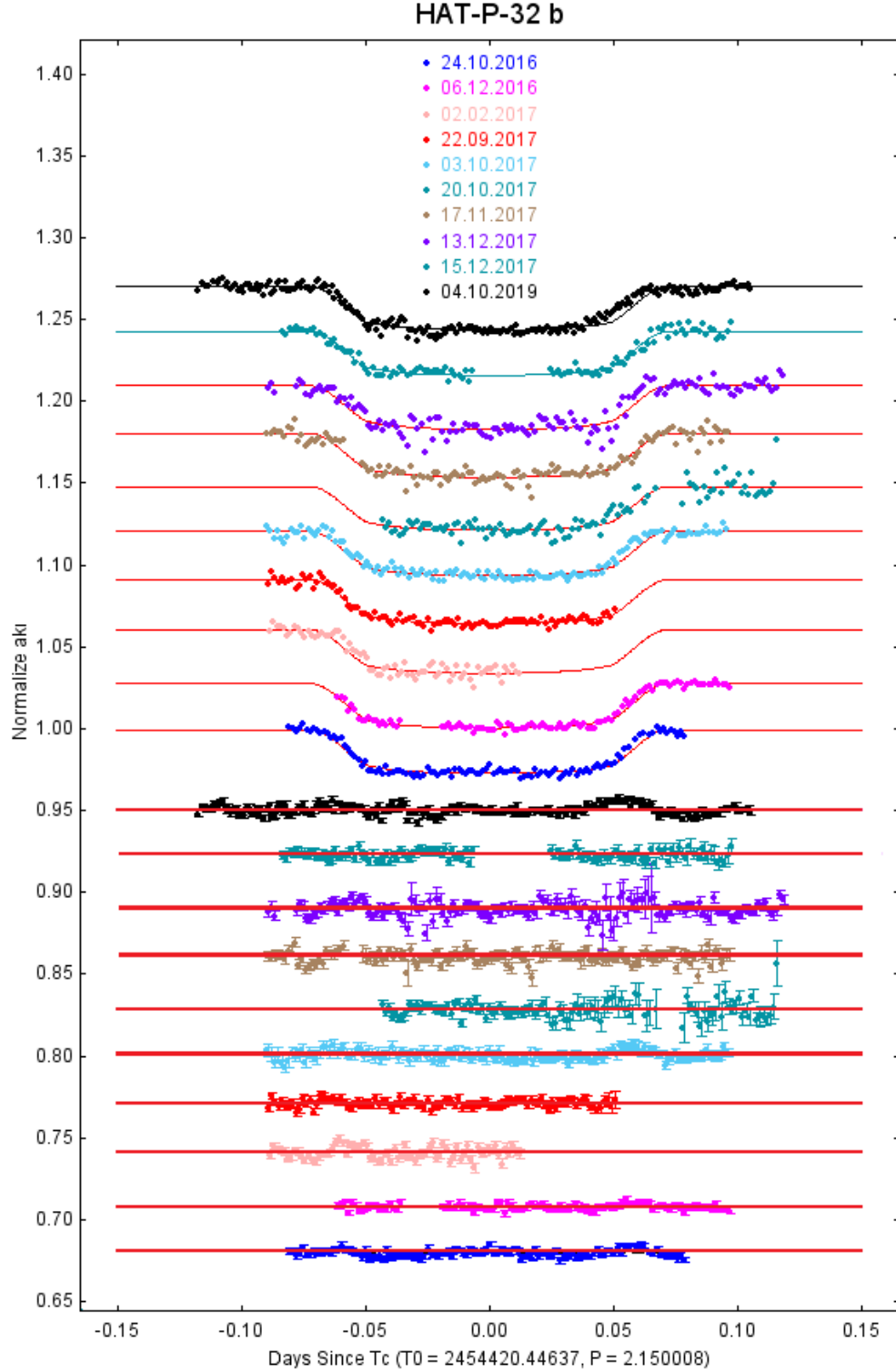
3.1. HAT-P-32 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları

HAT-P-32 b'nin ADYU60 gözlemlerinden elde edilen toplamda 10 geçiş gözlem verisi bulunmaktadır. Bu geçiş gözlemlerinin özellikleri Tablo 3'de ve AIJ ile elde edilen geçiş ışık eğrileri ise artıkları ile birlikte Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 11'de ise EXOFAST'ten elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları gösterilmektedir. Artıklarda izlenen rastgele saçılmalar büyük ölçüde gözlem ve ölçüm (analiz) hatalarından kaynaklanmaktadır. Sıcak bir Jüpiter olan HAT-P-32 b ötegezegeni geçiş sırasında konak yıldızının akısını yaklaşık %2.5 oranında azalttığı görülmektedir (Şekil 11). HAT-P-32 sisteminin tüm gözlem verilerinden EXOFAST kullanılarak elde edilen fiziksel parametreler, bu parametrelerin hata değerleri ve literatür değerleri Tablo 4'te verilmiştir (Hartman *et al.* 2011; Wang *et al.* 2019).

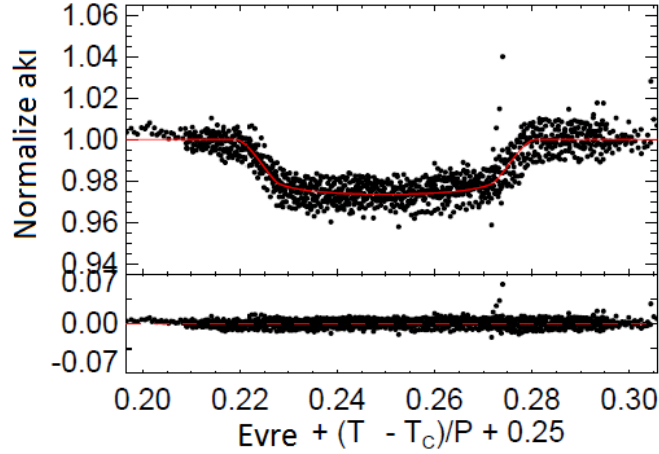
Tablo 3. HAT-P-32 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler

Tarih	Filtre	Poz süresi (sn)	Teleskop
24.10.2016	R	120	ADYU60
06.12.2016	R	120	ADYU60
02.02.2017	R	120	ADYU60
22.09.2017	R	120	ADYU60
03.10.2017	R	120	ADYU60
20.10.2017	R	120	ADYU60
17.11.2017	R	120	ADYU60
13.12.2017	R	120	ADYU60
15.12.2017	R	120	ADYU60
04.10.2019	R	90	ADYU60

HAT-P-32 b için yörünge eğimi (i), gezegenin yarıçapı (R_p) ve etki parametresi (b) hariç tüm parametrelerin Wang *et al.* (2019)'un literatür değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Tablo 4). Hartman *et al.* (2011)'in literatür değerleri ile karşılaştırıldığında ise yıldızın etkin sıcaklığı (T_{eff}), yıldızın ışıyım gücü (L), gezegenin yarıçapı (R_p), yarı-büyük eksen uzunluğunun yıldızın yarıçapına oranı (a/R_*), etki parametresi (b) ve yörünge eğimi (i) diğer parametrelerle uyumlu olduğu görülmektedir. Hata sınırları içerisinde farklı değerlere sahip birkaç parametrenin olması dışında genel anlamda tüm parametrelerin literatür değerleri ile uyumlu oldukları görülmektedir.



Şekil 10. HAT-P-32 b için AIJ ile elde edilen 10 geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları. Noktalar normalize edilmiş ve düzeltilmiş diferansiyel fotometri ölçümlerini ve kırmızı-çizgiler ise geçiş ışık eğrisine uygulanan fit modelini göstermektedir. Geçiş gözlemlerinin gerçekleştiği tarihler üst kısımda sıralanmıştır.



Şekil 11. HAT-P-32 b için yapılan 10 geçiş gözleminin EXOFAST ile elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları. Kırmızı-çizgi bileşik geçiş ışık eğrisine uygulanan fit modelini göstermektedir.

Tablo 4. HAT-P-32 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST'ten elde edilen sistem parametreleri ve literatürle karşılaştırılması

Parametreler	Bu çalışma*	Hartman <i>et al.</i> 2011	Wang <i>et al.</i> 2019
$M_*(M_\odot)$	$1.148^{+0.059}_{-0.057}$	1.160 ± 0.041	$1.132^{+0.051}_{-0.050}$
$R_*(R_\odot)$	$1.403^{+0.052}_{-0.040}$	1.219 ± 0.016	$1.367^{+0.031}_{-0.030}$
$T_{eff}(K)$	6008^{+86}_{-84}	6207 ± 88	6001 ± 88
$L(L_\odot)$	$2.314^{+0.241}_{-0.206}$	1.97 ± 0.15	$2.178^{+0.099}_{-0.096}$
$\log g_*(cgs)$	$4.20^{+0.017}_{-0.025}$	4.33 ± 0.01	4.22 ± 0.04
$M_p(M_j)$	...**	0.860 ± 0.164	$0.68^{+0.11}_{-0.10}$
$R_p(R_j)$	$2.151^{+0.099}_{-0.071}$	1.789 ± 0.025	1.980 ± 0.045
$a(AB)$	0.03413 ± 0.0006	0.0343 ± 0.0004	0.03397 ± 0.0005
$d(gün)$	$0.14916^{+0.00134}_{-0.00130}$	0.1295 ± 0.0003	$0.13002^{+0.00052}_{-0.00049}$
$P(gün)$	2.150007 ± 0.000002	2.150008 ± 0.000001	2.1500082 ± 0.00000013
R_p/R_*	$0.15782^{+0.00198}_{-0.00184}$	0.1508 ± 0.0004	$0.14886^{+0.00056}_{-0.00054}$
a/R_*	$5.237^{+0.102}_{-0.155}$	$6.05^{+0.03}_{-0.04}$	$5.344^{+0.040}_{-0.039}$
b	$0.242^{+0.129}_{-0.152}$	$0.117^{+0.045}_{-0.047}$	$0.083^{+0.070}_{-0.055}$
δ	$0.02491^{+0.00063}_{-0.00057}$	...	$0.02216^{+0.00017}_{-0.00016}$
$i(derece)$	$87.35^{+1.68}_{-1.53}$	88.9 ± 0.4	$88.98^{+0.68}_{-0.85}$
u_1	0.297 ± 0.041	0.2045	0.316
u_2	$0.294^{+0.050}_{-0.049}$	0.3593	0.303

*HAT-P-32 b'nin tüm ışık eğrilerinden elde edilen bileşik (global) sonuçlar.

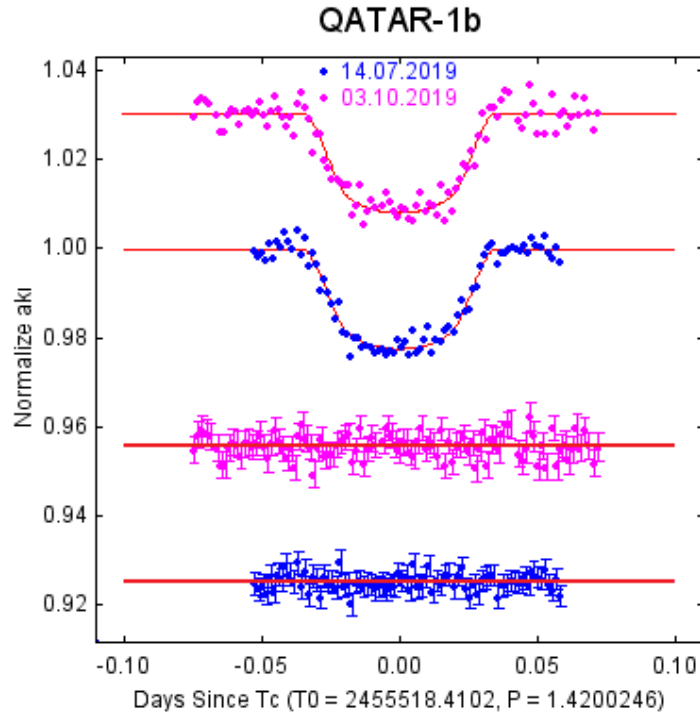
** HAT-P-32 b'nin kütlesi RV veri setinden sonuç alınmadığından EXOFAST ile hesaplanamadı.

3.2. Qatar-1 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları

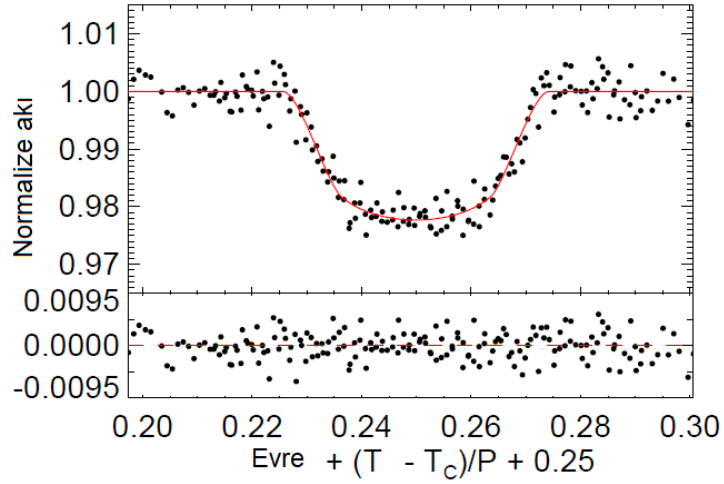
Qatar-1 b'nin ADYU60 teleskobuyla elde edilen 2 gecelik geçiş gözlem verisi bulunmaktadır (Tablo 5). AIJ'den elde edilen tüm geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri artıkları ile birlikte Şekil 12'de gösterilmektedir. Şekil 13'te ise EXOFAST'ten elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları gösterilmektedir. Geçiş ışık eğrilerinin EXOFAST ile analizleri sonucunda sistemin elde edilen fiziksel parametreleri, bu parametrelerin hata değerleri ve literatür değerleri ile karşılaştırılması Tablo 6'da verilmiştir (Alsubai *et al.* 2011; Collins *et al.* 2017b). Sıcak bir Jüpiter olan Qatar-1 b ötegezegeni için elde edilen ışık eğrileri incelendiğinde konak yıldızın akısının geçiş sırasında yaklaşık %2 oranında azaldığı görülmüştür (Şekil 13).

Tablo 5. Qatar-1 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler

Tarih	Filtre	Poz süresi (sn)	Teleskop
14.07.2019	R	120	ADYU60
03.10.2019	R	120	ADYU60



Şekil 12. Qatar-1 b için AIJ ile elde edilen 2 geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları. Noktalar normalize edilmiş fotometrik ölçümleri, kırmızı-çizgiler ise geçiş eğrilerine uygulanan fit modellerini göstermektedir.



Şekil 13. Qatar-1 b'nin 2 geçiş gözleminden EXOFAST ile elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları. Kırmızı-çizgi bileşik ışık eğrisine uygulanan fit modelini göstermektedir.

Tablo 6. Qatar-1 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST'ten elde edilen sistem parametreleri ve literatür ile karşılaştırılması

Parametreler	Bu çalışma*	Alsubai <i>et al.</i> 2011	Collins <i>et al.</i> 2017b
$M_*(M_\odot)$	$0.850^{+0.049}_{-0.047}$	0.85 ± 0.03	$0.838^{+0.043}_{-0.041}$
$R_*(R_\odot)$	0.812 ± 0.025	0.823 ± 0.025	0.803 ± 0.016
$T_{eff}(K)$	5018^{+89}_{-91}	4861 ± 125	5013^{+93}_{-88}
$L(L_\odot)$	$0.375^{+0.044}_{-0.041}$	...	$0.365^{+0.040}_{-0.034}$
$\log g_*(cgs)$	4.549 ± 0.010	4.536 ± 0.024	$4.552^{+0.012}_{-0.011}$
$M_p(M_j)$	$1.340^{+0.063}_{-0.059}$	$1.090^{+0.084}_{-0.081}$	$1.294^{+0.052}_{-0.049}$
$R_p(R_j)$	1.139 ± 0.046	1.164 ± 0.045	$1.143^{+0.026}_{-0.025}$
$a(AB)$	$0.02343^{+0.00045}_{-0.00044}$	$0.02343^{+0.00026}_{-0.00025}$	$0.02332^{+0.00040}_{-0.00038}$
$d(gün)$	0.06877 ± 0.00087	0.06716 ± 0.00077	0.06921 ± 0.00033
$P(gün)$	$1.420027^{+0.000002}_{-0.000003}$	1.420033	1.4200242
R_p/R_*	$0.14428^{+0.00255}_{-0.00259}$	0.1454 ± 0.0015	$0.14629^{+0.00064}_{-0.00063}$
a/R_*	$6.209^{+0.094}_{-0.092}$	...	$6.247^{+0.067}_{-0.065}$
b	$0.660^{+0.022}_{-0.025}$	$0.696^{+0.021}_{-0.024}$	$0.645^{+0.010}_{-0.011}$
δ	0.02082 ± 0.00074	...	0.02140 ± 0.00019
$i(derece)$	$83.90^{+0.30}_{-0.27}$	$83.47^{+0.40}_{-0.36}$	$84.08^{+0.16}_{-0.15}$
u_1	0.525 ± 0.053	...	$0.577^{+0.021}_{-0.022}$
u_2	$0.174^{+0.051}_{-0.052}$	...	0.148 ± 0.016

*Qatar-1 b'nin tüm ışık eğrilerinden elde edilen bileşik (global) sonuçlar.

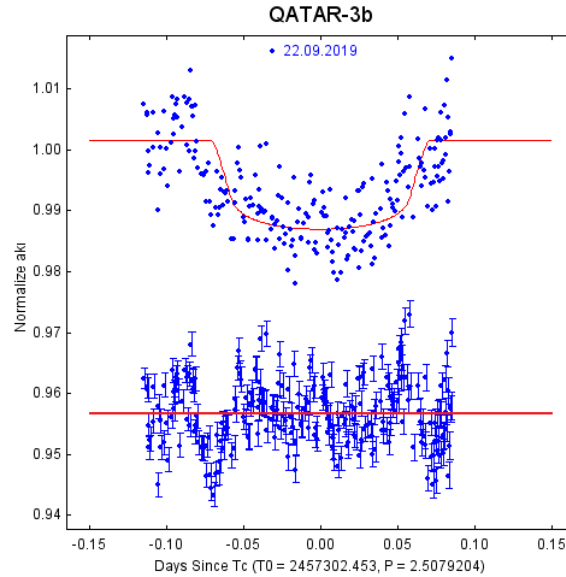
Qatar-1 b için yörünge eğimi (i) hariç tüm parametreler Collins *et al.* (2017b) tarafından elde edilen değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 6). Elde edilen parametreler Alsubai *et al.* (2011)'in sonuçları ile karşılaştırıldığında ise yıldızın etkin sıcaklığı (T_{eff}) hariç diğer tüm parametrelerin daha uyumlu olduğu görülmektedir. Parametrelerde karşılaşılan farklılıklar hata sınırları içerisindedir.

3.3. Qatar-3 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları

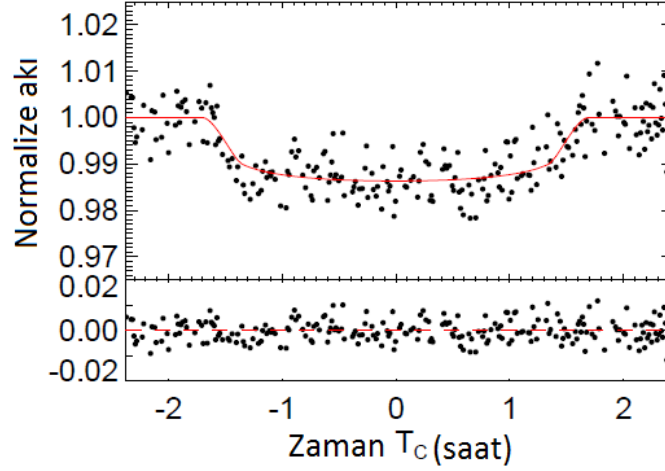
Qatar-3 b'nin TUG-T100 teleskobuyla yapılan bir gecelik gözlem verisinden (Tablo 7) bir geçiş ışık eğrisi elde edildi (Şekil 14). Geçiş sırasında konak yıldızının akısı %1 oranında azalmaktadır. AIJ'den elde edilen ışık eğrisinde gözlem ve analizden kaynaklı küçük saçılmalar görülmektedir. Bu gözlemin EXOFAST ile analizi sonucunda elde edilen sistemin fiziksel parametreleri, bu parametrelerinin hata değerleri ve bu parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması Tablo 8'de verilmiştir (Alsubai *et al.* 2017). Bu sistem için elde edilen sonuçlar literatür ile uyum halindedir. Elde edilen bu parametreler kullanılarak oluşturulmuş bileşik geçiş ışık eğrisi ise Şekil 15'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Qatar-3 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler

Tarih	Filtre	Poz süresi (sn)	Teleskop
22.09.2019	R	30	TUG-T100



Şekil 14. Qatar-3 b için AIJ ile elde edilen geçiş gözleminin ışık eğrisi ve artıkları. Noktalar normalize edilmiş gözlem verisini, kırmızı-çizgi ise uygulanan fit modelini göstermektedir.



Şekil 15. Qatar-3 b için EXOFAST ile elde edilen 22.09.2019 tarihli geçiş gözleminin ışık eğrisi ve artıkları. Kırmızı-çizgi uygulanan fit modelini göstermektedir.

Tablo 8. Qatar-3 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST'ten elde edilen sistem parametreleri ve literatürle karşılaştırılması

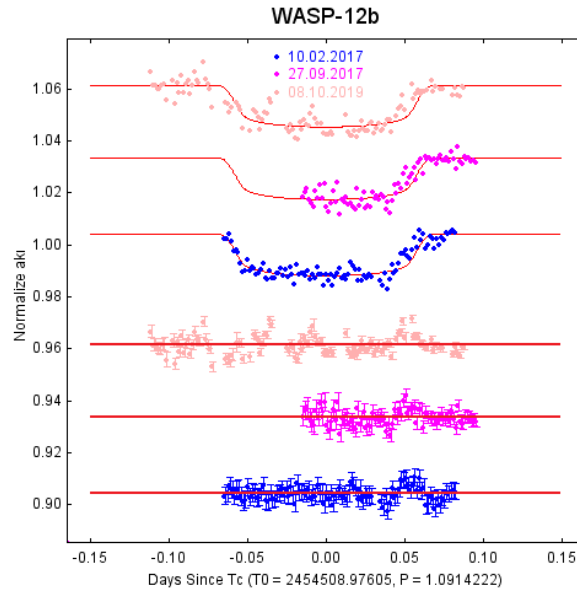
Parametreler	Bu çalışma	Alsubai <i>et al.</i> 2017
$M_*(M_\odot)$	$1.157^{+0.062}_{-0.055}$	1.145 ± 0.064
$R_*(R_\odot)$	$1.331078^{+0.084}_{-0.058}$	1.272 ± 0.14
$T_{eff}(K)$	6008 ± 52	6007 ± 52
$L(L_\odot)$	$2.078^{+0.286}_{-0.204}$	1.90 ± 0.46
$\log g_*(cgs)$	$4.253^{+0.031}_{-0.044}$	4.286 ± 0.079
$M_p(M_j)$	$4.537^{+0.597}_{-0.537}$	4.31 ± 0.47
$R_p(R_j)$	$1.451^{+0.196}_{-0.148}$	1.096 ± 0.14
$a(AB)$	$0.038055^{+0.00067}_{-0.00063}$	0.03783 ± 0.00069
$d(gün)$	$0.14242^{+0.00415}_{-0.00556}$	0.1296 ± 0.0034
$P(gün)$	2.516660 ± 0.00006	2.5079204
R_p/R_*	$0.11146^{+0.00915}_{-0.00911}$	0.0888 ± 0.0018
a/R_*	$6.150^{+0.226}_{-0.321}$	6.39 ± 0.59
b	$0.22298^{+0.22384}_{-0.15469}$	0.35 ± 0.22
δ	$0.01251^{+0.00216}_{-0.00186}$	0.00789 ± 0.00032
$i(derece)$	$87.91^{+1.46}_{-2.38}$	86.8 ± 2.0
u_1	0.317 ± 0.050	0.258 ± 0.047
u_2	0.299 ± 0.050	0.293 ± 0.050

3.4. WASP-12 b'nin AIJ ve EXOFAST bulguları

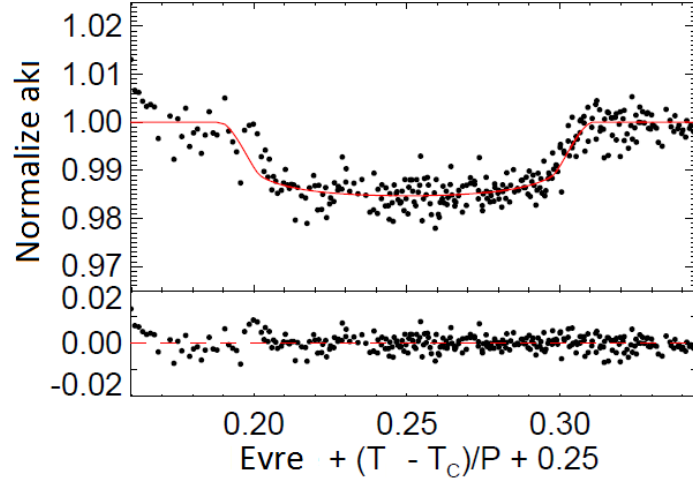
WASP-12 b'nin ADYU60 teleskobuyla elde edilen 3 gecelik geçiş gözlem verileri bulunmaktadır (Tablo 9). AIJ'den elde edilen tüm geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları ise Şekil 16'da gösterilmektedir. Şekil 17'de ise EXOFAST'ten elde edilen bileşik ışık eğrisi ve artıkları gösterilmektedir. Geçiş sırasında konak yıldızının akısının %1 oranında azaldığı görülmektedir. Ayrıca, artıklarda belli miktarda gözlemlerden ve ölçümden (analiz) kaynaklı hatalar olduğu görülmektedir. WASP-12 sisteminin tüm gözlem verileri derlenerek yapılmış EXOFAST analizleri sonucunda elde edilen fiziksel parametreleri, hata değerleri ve bu değerlerin literatür verileri ile karşılaştırılması Tablo 10'da gösterilmiştir (Collins *et al.* 2017b, Chakrabarty and Sengupta 2019).

Tablo 9. WASP-12 b için yapılan geçiş gözlemlerine ilişkin bilgiler

Tarih	Filtre	Poz süresi (sn)	Teleskop
10.02.2017	R	120	ADYU60
27.09.2017	R	120	ADYU60
08.10.2019	R	120	ADYU60



Şekil 16. WASP-12 b için AIJ ile elde edilen 3 geçiş gözlemlerinin ışık eğrileri ve artıkları. Noktalar normalize edilmiş gözlem verisini çizgiler ise geçiş eğrilerine uygulanan fit modellerini göstermektedir.



Şekil 17. WASP-12 b için EXOFAST'ten elde edilen tüm geçiş gözlemlerinin bileşik ışık eğrisi ve artıkları. Kırmızı-çizgi bileşik ışık eğrisine uygulanan fit modelini göstermektedir.

Tablo 10. WASP-12 b için bu çalışma kapsamında EXOFAST'ten elde edilen sistem parametreleri ve literatürle karşılaştırılması

Parametreler	Bu çalışma*	Collins <i>et al.</i> 2017b	Chakrabarty and Sengupta 2019
$M_*(M_\odot)$	$1.519^{+0.122}_{-0.112}$	$1.434^{+0.11}_{-0.090}$	1.434 ± 0.110
$R_*(R_\odot)$	$1.724^{+0.066}_{-0.063}$	$1.657^{+0.046}_{-0.044}$	1.657 ± 0.046
$T_{eff}(K)$	6419^{+135}_{-136}	6360^{+130}_{-140}	6360 ± 140
$L(L_\odot)$	$4.534^{+0.61}_{-0.55}$	$4.05^{+0.54}_{-0.53}$	...
$\log g_*(cgs)$	$4.147^{+0.011}_{-0.010}$	$4.157^{+0.013}_{-0.012}$	...
$M_p(M_j)$	$1.496^{+0.087}_{-0.082}$	$1.470^{+0.076}_{-0.069}$	1.465 ± 0.079
$R_p(R_j)$	1.945 ± 0.093	$1.900^{+0.057}_{-0.055}$	1.937 ± 0.056
$a(AB)$	$0.02385^{+0.00062}_{-0.00060}$	$0.02340^{+0.00056}_{-0.00050}$	0.02320 ± 0.00064
$d(gün)$	$0.13276^{+0.00209}_{-0.00220}$	$0.12483^{+0.00044}_{-0.00043}$	$0.1267^{+0.00009}_{-0.005}$
$P(gün)$	1.091416 ± 0.000001	1.0914203	1.09142
R_p/R_*	$0.11593^{+0.00294}_{-0.00293}$	$0.11785^{+0.00053}_{-0.00054}$	0.1170 ± 0.0002
a/R_*	$2.976^{+0.044}_{-0.043}$	$3.039^{+0.034}_{-0.033}$	$3.0000^{+0.0160}_{-0.0019}$
b	$0.09478^{+0.09314}_{-0.06593}$	$0.351^{+0.030}_{-0.034}$	0.3390 ± 0.0017
δ	$0.01344^{+0.00069}_{-0.00067}$	0.01389 ± 0.00013	...
$i(derece)$	$88.18^{+1.268}_{-1.808}$	$83.37^{+0.72}_{-0.64}$	83.52 ± 0.03
u_1	0.275 ± 0.049	$0.322^{+0.018}_{-0.017}$	0.3 ± 0.01
u_2	0.326 ± 0.051	$0.3124^{+0.0091}_{-0.0098}$	0.3 ± 0.01

*WASP-12 b'nin tüm ışık eğrilerinden elde edilen bileşik (global) sonuçlar.

WASP-12 b için elde edilen parametrelerden yörünge eğimi (i), Collins *et al.* (2017b) ve Chakrabarty and Sengupta (2019)'un literatür değerleriyle karşılaştırıldığında 4-5 derecelik bir fark olduğu görülmektedir. Diğer parametrelerin ise hata sınırları içerisinde küçük bir farka sahip olduğu görülmüştür (Tablo 10). Yörünge eğimi her bir geçiş eğrisi için ayrı ayrı yeniden hesaplandığında ise, 10.02.2017, 27.09.2017 ve 08.10.2019 tarihleri için sırasıyla $82.48^{+3.976}_{-1.223}$, $82.17^{+5.679}_{-8.817}$ ve $82.48^{+3.98}_{-1.22}$ değerleri elde edilmiştir ve bu sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3.5. Geçiş zamanlarının incelenmesi

ADYU60 ve TUG-T100 ile elde edilen her bir geçiş ışık eğrisinin minimum zamanları EXOFAST programı kullanılarak hesaplandı. Elde edilen minimum zamanları literatürdeki değerler ile birlikte kullanılarak her bir kaynak için O-C diyagramları oluşturuldu. Bu O-C diyagramlarından yola çıkarak sistemde bir TTV etkisinin olup olmadığına bakıldı. Elde edilen bazı minimum noktalarında oldukça fazla saçılma olması nedeniyle bu değerler O-C diyagramlarında kullanılmadı. Ortaya çıkan bu saçılmaların gözlemler sırasında oluşan kötü hava koşulları nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

- **HAT-P-32 b**

Oldukça büyük bir yarıçapa sahip HAT-P-32 b gezegenin yörüngesi yıldızın dönüş eksenine hemen hemen aynı düzlemedir ($\lambda = 85^\circ \pm 1^\circ.5$, Albrecht *et al.* 2012; $b = 0.083^{+0.070}_{-0.055}$, Wang *et al.* 2019). Daha önceleri HAT-P-32'nin sahip olduğu yüksek değerdeki dikine hız titreşimlerin zamanla değişen yıldız yüzeyindeki homojen olmayan konvektif yapıdan veya sistemdeki bilinmeyen bir cisimden kaynaklanan bozulmalara bağlı olduğu düşünülmüştür (Saar *et al.* 1998). Adams *et al.* (2013) tarafından hassas görüntüleme tekniği kullanılarak gözlenen HAT-P-32 yıldızının M-cüce olan yoldaş bir yıldızla sahip olduğu tespit edilmiştir. Daha sonraları yapılan uzun dönemli dikine hız ölçümlerinden yıldızın ikinci bileşenin (HAT-P-32B) olduğu doğrulanmıştır (Knutson *et al.* 2014). Seeliger *et al.* (2014) tarafından HAT-P-32 b'nin 2011 yılındaki keşfinden sonraki zamanlarda toplanan 45 geçiş ışık eğrisi incelenerek gezegenin geçiş zamanlarında bir değişim olup olmadığına bakılmıştır. Bu inceleme sonucunda birkaç dakikalık saçılmalar dışında ek bir gezegenden kaynaklanan herhangi bir değişime dair kanıt bulunamamıştır.

Çalışmalarımız kapsamında, HAT-P-32 b için ADYU60 ile yapılan gözlemler sonucunda 10 geçiş ışık eğrisi elde edilmiş olup bunlardan bazıları gözlemsel etkenler nedeniyle oldukça fazla sapma gösterdiğinden sadece 5'i O-C diyagramında kullanıldı (Tablo 11). Bu değerleri hesaplamak ve O-C diyagramındaki değişimleri incelemek için yöntem kısmında anlatılanlar adım adım takip edildi. Literatürdeki veriler ile birlikte toplamda 54 minimum zamanından elde edilen lineer efemeris parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$T_{BJD}(E) = 2454420.44730 [\pm 0.00012] + E * 2.1500079 [\pm 0.00000013] \quad (15)$$

Elde edilen O-C diyagramından görüldüğü gibi birkaç noktada görülen 3-4 dakikalık saçılmalar dışında belirgin bir dönem değişiminin olmadığı söylenebilir (Şekil 18). O-C diyagramındaki bu kararlılık literatürde paylaşılan sonuçlar ile uyum içerisindedir. Saçılmalar üzerinde herhangi bir çevrimsel yapının olup olmadığını ilerde yapılacak uzun dönemli gözlemler gösterecektir. Ayrıca O-C diyagramındaki bu kararlılığın ilerideki zamanlarda nasıl devam edeceğini görmek için bu sistemin uzun bir süre daha takip edilmesi önemli olacaktır.

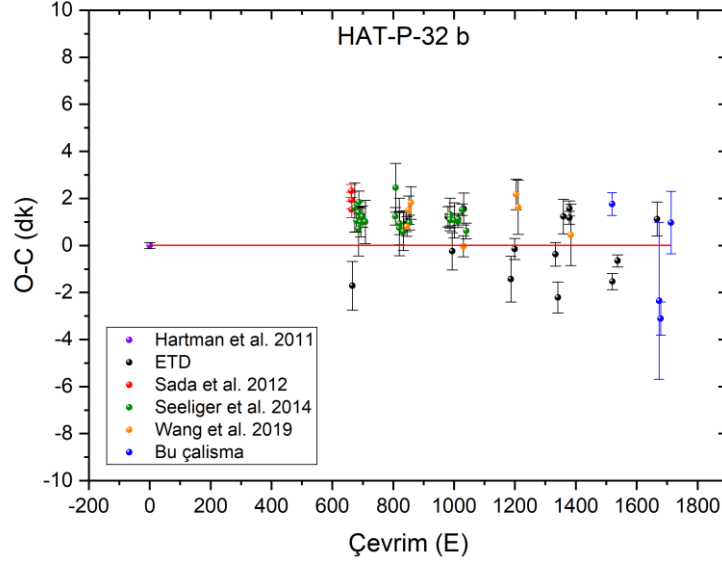
Tablo 11. HAT-P-32 b'nin geçiş gözlemlerinden EXOFAST ile elde edilen geçiş zamanları

Tarih	Tc (BJD _{TDB})	Çevrim	O-C (gün)	Hata (gün)
24.10.2016	2457686.310049	1519	0.0012232	0.000334
22.09.2017	2458019.558461	1674	-0.0016358	0.002318
03.10.2017	2458030.307977	1679	-0.0021608	0.000489
15.12.2017	2558103.411092	1713	0.0006754	0.00092
04.10.2019	2458761.313790	2019	0.0008642	0.000376

- **Qatar-1 b**

K-cüce tayf türü bir yıldızın yörüngesinde dolanan Qatar-1 b gezegeninin iyi hizalanmış dairesel bir yörüngeyle sahip olduğu tespit edilmiştir ($\lambda = -8.4 \pm 7.1$, Covino *et al.* 2013; $b = 0.645^{+0.010}_{-0.011}$, Collins *et al.* 2017b). Qatar-1 b'nin 2011 yılındaki keşfinden sonra, von Essen *et al.* (2013) tarafından 26 adet geçiş gözlemi kullanılarak bir TTV analizi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda O-C diyagramındaki ~1 dakikalık yarı genliğe ve 380 günlük döneme sahip değişimin bir TTV sinyalinde kaynaklanıyor olabileceği tartışılmıştır. Daha sonraları Mislis *et al.* (2015) tarafından 12 yeni geçiş zamanı ve Maciejewski *et al.* (2015) tarafından ise

18 yeni geçiş zamanı kullanılarak oluşturulan O-C diyagramlarında bu sistem için daha önce bulunan ~1 dakikalık döneme sahip TTV sinyaline rastlanmamıştır.



şekil 18. HAT-P-32 b'nin OriginPro programıyla oluşturulan O-C diyagramı

Çalışmalarımız kapsamında, Qatar-1 b için ADYU60 ile yapılan gözlemler sonucunda 2 yeni geçiş zamanı elde edildi (Tablo 12). Bu iki minimum değerinin literatürdeki verilere eklenmesi sonucu oluşturulan lineer efemeris eşitliği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

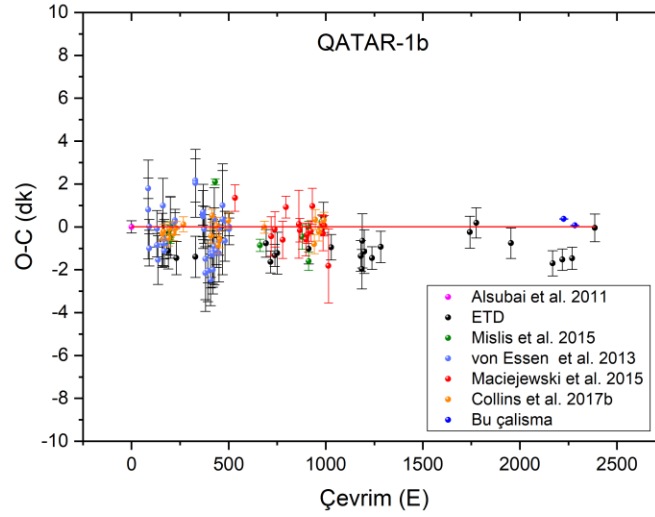
$$T_{BJD}(E) = 2455518.40487 [\pm 0.00434] + E * 1.4200278 [\pm 0.0000019] \quad (16)$$

Tablo 12. Qatar-1 b'nin geçiş gözlemlerinden EXOFAST ile elde edilen geçiş zamanları

Tarih	Tc (BJD _{TDB})	evrim	O-C (gün)	Hata (gün)
14.07.2019	2458679.384985	2226	0.00025744	0.000006
03.10.2019	2458760.326147	2283	0.00004802	0.000003

Qatar-1 b için literatürdeki veriler ile birlikte toplamda 117 geçiş zamanından oluşturulan O-C diyagramı şekil 19'da verilmiştir. Literatürde mevcut olan ve oldukça fazla saçılma gösteren bazı minimum zamanları O-C diyagramına konulmadı. şekil 19'da grldği gibi tüm veriler üzerinden oluşturulan O-C diyagramında herhangi bir TTV etkisi ile karşılaşılmadı. O-C diyagramındaki bu kararlılık literatürde paylaşılan sonuçlar ile uyum içerisindedir. Bu kaynak

için de O-C diyagramındaki bu kararlılığın değişip değişmeyeceği uzun dönemli takip gözlemleriyle belli olacaktır.



Şekil 19. Qatar-1 b'nin OriginPro programıyla oluşturulan O-C diyagramı

- **Qatar-3 b**

Bu yıldızın literatürde yeteri kadar geçiş zamanı olmadığından ve çalışmalarımız kapsamında sadece TUG-T100'den elde edilen bir geçiş ortası zamanı olduğundan O-C diyagramı oluşturulamamıştır. Sistemin ileriki zamanlarda yapılması planlanan uzun dönemli gözlemlerinden elde edilecek minimum zamanlarından ayrıca bir TTV analizi yapılması hedeflenmektedir.

- **WASP-12 b**

Çalışmalarımız kapsamında, WASP-12 b için ADYU60 ile yapılan gözlemler sonucunda 3 geçiş ışık eğrisi elde edilmiş olup bunlardan biri gözlemsel etkenlerden dolayı oldukça fazla sapma göstermiş ve bu noktaların sadece 2'si O-C diyagramında kullanılmıştır (Tablo 13). EDT gibi veri arşivlerinden alınan bazı geçiş zamanları da oldukça fazla saçılma gösterdiğinden O-C diyagramında kullanılmamıştır. WASP projesi kapsamında keşfedilen WASP-12 b gezegeni günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve TTV analizi yapılmıştır (Maciejewski *et al.* 2013,2016; Collins *et al.* 2017b; Patra *et al.* 2017; Öztürk and Erdem 2019). Oluşturulan O-C diyagramında görülen parabolik yapının ise konak yıldızın yaptığı gelgit hareketinden ve buna ek olarak sistemdeki ikinci bir gezegenden kaynaklanıyor olabileceği rapor

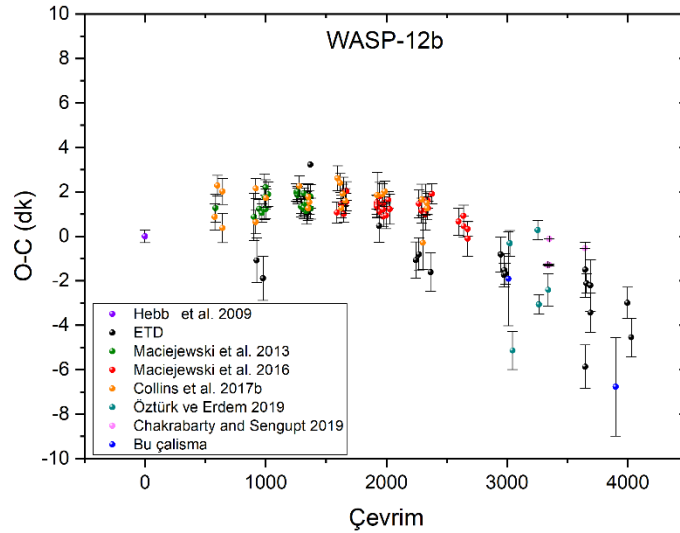
edilmiştir (Öztürk and Erdem 2019). Literatürdekiler ile birlikte toplamda 104 geçiş zamanından elde edilen kuadratik efemeris parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$T_{\text{BJD}}(E) = 2454508.98026 [\pm 0.00074] + E * 1.0914177 [\pm 0.00000012] - E^2 * 4,1 \times 10^{-10} [1.2 \times 10^{-10}] \quad (17)$$

Elde edilen O-C diyagramında görüldüğü gibi aşağı yönlü parabolik yapı belirgin şekilde görülmektedir (Şekil 20). O-C diyagramına uygulanan kuadratik fit modelinden elde edilen sonuçlara göre sistemde azalan bir dönem değişiminin olduğu görülmüştür (Eşitlik 17, Şekil 21).

Tablo 13. WASP-12 b'nin geçiş gözlemlerinden EXOFAST ile elde edilen geçiş zamanları

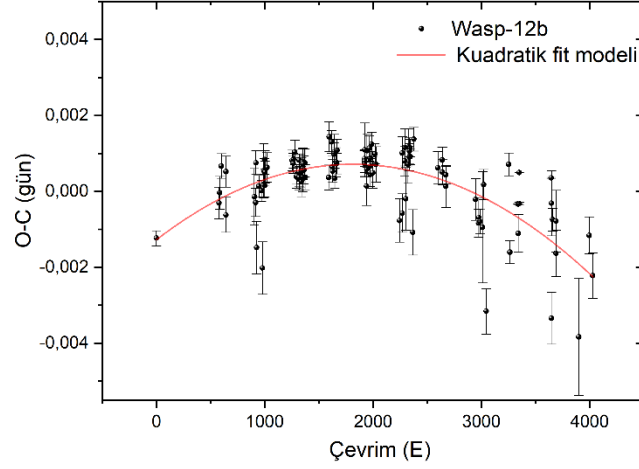
Tarih	Tc (BJD _{TDB})	Çevrim	O-C (gün)	Hata (gün)
10.02.2017	2457795.242044	3011	-0.0013293	0.001466
08.10.2019	2458765.511320	3900	-0.0047	0.001539



Şekil 20. WASP-12 b'nin OriginPro programıyla oluşturulan O-C diyagramı

Kuadratik parametreden ($\beta = P\dot{P}/2$) yola çıkarak sistemdeki dönem değişimi $dP/dt = 7.6 \times 10^{-10}$ s/s olarak hesaplandı. Benzer sonuçlar ile sistemin zamanla azalan bir dönem değişimi gösterdiğini öneren Öztürk and Erdem (2019)'un hesapladıkları dönem değişimi ise $dP/dt = 8.6 \times 10^{-10}$ s/s'dir. Uygulanan modeller sistemdeki dönem değişimine neden olan etkinin

üçüncü cisimden kaynaklanıp kaynaklanmadığını henüz doğrulayamamaktadır. Bununla birlikte şuan için bu değişimleri açıklayacak başka muhtemel senaryo da bulunmamaktadır.



Şekil 21. WASP-12 b'nin O-C diyagramı üzerine uygulanan Kuadratik fit modeli

SONUÇ

Bu tez çalışmasında HAT-P-32 b, Qatar-1 b, Qatar-3 b ve WASP-12 b sistemleri için, ADYU60 ve TUG-T100 teleskoplarıyla Şubat 2017 ve Ekim 2019 tarihleri arasında elde edilen gözlem verileri üzerine yapılan çalışmalar sunuldu. Bu çalışmalar kapsamında her bir sistem için AIJ programı kullanılarak gözlem verileri indirildi ve buradan elde edilen geçiş ışık eğrilerinin EXOFAST programı ile analizi sonucunda yine her bir sistem için fiziksel parametreler yeniden hesaplandı. Analizler süresince EXOFAST programı literatürde mevcut olan RV veri setlerinden yararlanmaktadır. Son olarak yine EXOFAST ile elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak O-C diyagramları oluşturuldu ve bu zamanlarda bir değişim olup olmadığı incelendi.

Yapılan analizler sonucunda HAT-P-32 b yıldız-gezegen sistemi için elde edilen fiziksel parametrelerin çoğunun literatür değerleri ile uyum içerisinde olduğu görüldü. Yalnızca gezegen yarıçapı (R_p) literatürde verilen değer ile küçük bir farklılık gösterse de bu farklılık hata limitleri içerisinde yer almaktadır. Bunun nedeni ise EXOFAST programının yıldız yarıçapını (R_*) literatürde mevcut olan değerlerden bir miktar daha büyük olarak hesaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Güncellenmiş bir RV veri seti ile yeniden yapılacak analizler sonucunda bu farkın daha da azalacağı öngörülmektedir. Geçiş zamanları incelenen HAT-P-32 b sistemin O-C diyagramındaki kararlılığın devam ettiği görüldü. Bu diyagramda gözlenen 2-3 dakikalık saçılmaların çevrimsel bir yapıya sahip olmadığı görüldü. Bu saçılmaların ise özellikle kendi gözlem verilerimizin toplanması sırasında karşılaşılan kötü hava koşulları nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Sistemin O-C diyagramındaki bu kararlılığın devam edip etmeyeceğini ise yapılacak uzun dönemli gözlemler gösterecektir.

Qatar-1b ve Qatar-3b için elde edilen fiziksel parametrelerin ise literatür değerleri ile uyum içerisinde olduğunu görüldü. Geçiş ortası zamanları incelenen Qatar-1 b' de herhangi bir TTV sinyali rastlanmadı. Qatar-3 b ise yeteri verisi olmadığı için geçiş zamanı değişimi incelenemedi. Geçiş zamanlarının daha detaylı incelenmesi için bu iki kaynak içinde uzun dönemli gözlemler planlanmaktadır.

Çalışmalarımız kapsamında incelenen bir diğer kaynak olan WASP-12 b'nin yörünge eğimi (i) hariç elde edilen fiziksel parametrelerinin tümü literatür ile uyum içerisinde. Yörünge eğimindeki bu farklılığın gözlem sayısındaki artışla birlikte yapılacak analizler sonucunda azalacağı öngörülmektedir. Bu sistemin O-C diyagramındaki aşağı doğru olan parabolik yapının

devam ettiği görüldü. Bu yapıya uygulanan fit modelinden WASP-12 b gezegeninin literatür ile uyum için de olan $dP/dt=7.6 \times 10^{-10}$ s/s değeriinde azalan bir dönem değışiminin olduğu hesaplandı. Şimdilik bu değışimin konak yıldızdaki gelgit hareketinden kaynaklandığı önerilse de bunun ek bir gezegenin neden olduğu bir TTV etkisinden kaynaklanıp kaynaklanmadığını ayrıca yapılacak uzun dönemli gözlemler gösterecektir.



KAYNAKÇA

- Adams, E. R., Dupree, A. K., Kulesa, C. and McCarthy, D., 2013. Adaptive Optics Images. II. 12 Kepler Objects of Interest and 15 Confirmed Transiting Planets. *The Astronomical Journal*, 146, (1), 9.
- Agol, E., Steffen, J., Sari, R. and Clarkson, W., 2005. On detecting terrestrial planets with timing of giant planet transits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 359(2), 567-579.
- Akenson, R. L., Chen, X., Ciardi, D., Crane, M., Good, J. *et al.*, 2013. The NASA Exoplanet Archive: Data and Tools for Exoplanet Research. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125(930), 989.
- Albrecht, S., Winn, Joshua N., Johnson, John A., Howard, Andrew W., Marcy, Geoffrey W. *et al.* 2012. Obliquities of Hot Jupiter Host Stars: Evidence for Tidal Interactions and Primordial Misalignments. *The Astrophysical Journal*, 757(1), 18.
- Allen, C.W., 1976. *Astrophysical Quantities*, London: Athlone (3rd edition).
- Alsubai, K. A., Parley, N. R., Bramich, D. M. *et al.*, 2011. Qatar-1b: a hot Jupiter orbiting a metal-rich K dwarf star. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417(1), 709-716.
- Alsubai, K. A., Parley, N. R., Bramich, D. M., Horne, K., Collier Cameron, A. *et al.*, 2013. The Qatar Exoplanet Survey. *Acta Astronomica*, 63(4), 465-480.
- Alsubai, K., Mislis, D., Tsvetanov, Zlatan I. *et al.*, 2017. Qatar Exoplanet Survey: Qatar-3b, Qatar-4b, and Qatar-5b. *The Astronomical Journal*, 153(4), 8.
- Andrae, R., Shulze-Hartung, T., Melchior, P., 2010. Dos and don'ts of reduced chi-squared. eprint arXiv:1012.3754.
- Anonim, 2020a. <https://exoplanets.nasa.gov/faq/20/how-do-exoplanets-get-their-names/> (19.02.2020).
- Anonim, 2020b. <http://www.exoplanet.eu/catalog/> (20.07.2020).
- Anonim, 2020c. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/exoplanetplots/> (23.07.2020).
- Anonim, 2020d. <https://news.psu.edu/photo/593862/2019/10/20/distant-worlds-radial-velocity-method> (20.07.2020)
- Anonim, 2020e. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/02 (20.07.202)
- Anonim, 2020f. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/ExoFAST/nph-exofast> (20.07.2020)
- Bakos, G., Afonso, C., Henning, T. *et al.*, 2009. HAT-South: A Global Network of Southern Hemisphere Automated Telescopes to Detect Transiting Exoplanets. *Transiting Planets, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 253, 354-357.
- Bakos, G., Noyes, R. W., Kovacs, G. *et al.*, 2004. Wide-Field Millimagnitude Photometry with the HAT: A Tool for Extrasolar Planet Detection. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116(817), 266-277.
- Baranne, A., Queloz, D., Mayor, M., Adrianzyk, G., Knispel, G. *et al.*, 1996. ELODIE: A spectrograph for accurate radial velocity measurements. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 119, 373-390.
- Bechter, Eric B., Crepp, Justin R., Ngo, H., Knutson, Heather A. *et al.* 2014. WASP-12b and HAT-P-8b are Members of Triple Star Systems. *The Astrophysical Journal*, 788(1), 2.
- Beuermann, K., Hessman, F., Dreizler, S. *et al.* 2010. Two Planets Orbiting the Recently Formed Pos-Common Envelope Binary NN Serpentis. *Astronomy and Astrophysics*, 521, 5.

- Boltzmann, L., 1884. Derivation of Stefan's law, concerning the dependency of heat radiation on temperature, from the electromagnetic theory of light. *Annalen der Physik*, 258(6), 291–294.
- Bond, I. A., Udalski, A., Jaroszynski, M., Rattenbury, N. J., Paczynski, B. *et al.* 2004. OGLE 2003-BLG-235/MOA 2003-BLG-53: A Planetary Microlensing Event. *The Astrophysical Journal*, 606(2), L155-L158.
- Borucki, William J. and Genet, Russell M., 1992. The use of robotic telescopes for detecting planetary systems. *Robotic Telescopes in the 1990s*, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 103,153-169.
- Boss, A.P., Butler, R.P., Hubbard, W.B., Ianna, P.A., 2007. Working Group on Extrasolar Planets. *IAU Transactions Reports on Astronomy 2002–2005* Edited by Engyold, O., 26(A), 183–186.
- Brown, Timothy M., Charbonneau, D., Gilliland, Ronald L., Noyes, Robert W. and Burrows, A., 2001. Hubble Space Telescope Time-Series Photometry of the Transiting Planet of HD 209458. *The Astrophysical Journal*, 552(2), 699-709.
- Burrows, A., Marley, M., Hubbard, W. B., Lunine, J. I., Guillot, T. *et al.*, 1997. A Nongray Theory of Extrasolar Giant Planets and Brown Dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 491(2), 856-875.
- Chakrabarty, A. and Sengupta, S., 2019. Precise Photometric Transit Follow-up Observations of Five Close-in Exoplanets: Update on Their Physical Properties. *The Astronomical Journal*, 158(1), 39.
- Charbonneau, D., Brown, Timothy M., Latham, David W. And Mayor, M., 2000. Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star. *The Astrophysical Journal*, 529(1), L45-L48.
- Chauvin, G., Lagrange, A. -M., Dumas, C. *et al.*, 2004. A giant planet candidate near a young brown dwarf. *Direct VLT/NACO observations using IR wavefront sensing*. *Astronomy and Astrophysics*, 425, L29-L32.
- Collins, Karen A., Kielkopf John F. and Stassun Keivan G., 2017b. Transit Timing Variation Measurements of WASP-12b and Qatar-1b: No Evidence of Additional Planets. *The Astronomical Journal*, 153(2), 78.
- Collins, Karen A., Kielkopf, John F., Stassun, Keivan G. and Hessman, Frederic V., 2017a. AstroImageJ: Image Processing and Photometric Extraction for Ultra-Precise Astronomical Light Curves. *The Astronomical Journal*, 153(2), 77.
- Coughlin, J. L., 2013. *Fundamental Parameters of Exoplanets and Their Host Stars*. PhD Thesis, New Mexico State University, Las Cruces New Mexico.
- Covino, E., Esposito, M., Barbieri, M., Mancini, L., Nascimbeni, V. *et al.* 2013. The GAPS programme with HARPS-N at TNG. I. Observations of the Rossiter-McLaughlin effect and characterisation of the transiting system Qatar-1. *Astronomy and Astrophysics*, 554, 28, 11.
- Davoudi, F., Jafarzadeh S. J., Poro, A., Basturk, O., Mesforoush, S. *et al.*, 2019. Light Curve Analysis of Ground-Based Data from Exoplanets Transit Database. eprint arXiv:1910.11438.
- Eastman, J., Gaudi, B. Scott and Agol, E., 2013. EXOFAST: A Fast Exoplanetary Fitting Suite in IDL. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125(923), 83.
- Eastman, J., Siverd, R., Gaudi, B. S. 2010. “Achieving Better Than 1 Minute Accuracy in the Heliocentric and Barycentric Julian Dates”, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 122(894), 935.
- Eastman, Jason D., Rodriguez, Joseph E., Agol, E. *et al.*, 2019. EXOFASTv2: A public, generalized, publication-quality exoplanet modeling code. eprint arXiv:1907.09480.

- ETD, 2020. <http://var2.astro.cz/ETD/index.php> (20.07.2020)
- Hartman, J. D., Bakos, G. A., Torres, G., Latham, D. W., Kovacs, G. *et al.*, 2011. HAT-P-32b and HAT-P-33b: Two Highly Inflated Hot Jupiters Transiting High-jitter Stars. *The Astrophysical Journal*, 742(1), 59.
- Hatzes, A. P. and Rauer, H., 2015. A Definition for Giant Planets Based on the Mass-Density Relationship. *The Astrophysical Journal Letters*, 810(2), 4.
- Hebb, L., Collier-Cameron, A., Loeillet, B., *et al.*, 2009. WASP-12b: The Hottest Transiting Extrasolar Planet Yet Discovered. *The Astrophysical Journal*, 693(2), 1920-1928.
- Hecht, J., 2016. The truth about exoplanets. *Nature*, 530(7590), 272-274.
- Holman, Matthew J. and Murray, Norman W., 2005. The Use of Transit Timing to Detect Terrestrial-Mass Extrasolar Planets. *Science*, 307(5713), 1288-1291.
- Horner, J., Wittenmyer, R. A., Hinse, T. C., Marshall, J. P., Mustill, A. J., Tinney, C. G., 2013. A detailed dynamical investigation of the proposed QS Virginis planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 435(3), 2033-2039.
- IAU, 2006. The Final IAU Resolution on the Definition of 'planet' ready for voting. IAU, <https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0602/> (11.01.2020).
- Knutson, Heather A., Fulton, Benjamin J., Montet, Benjamin T., Kao, M., Ngo, H., 2014. Friends of Hot Jupiters. I. A Radial Velocity Search for Massive, Long-period Companions to Close-in Gas Giant Planets. *The Astrophysical Journal*, 785(2), 126, 23.
- Koppenhöfer, J., 2009. Searching for Extra-Solar Planets with The Transit Method. PhD Thesis, Ludwig-Maximilians University, Munich.
- Lazio, T. Joseph W., Fischer, J. and Cordes, James M., 2004. Searches for Pulsar Planetary Systems. *Bioastronomy 2002: Life Among the Stars*, 213, 101.
- Maciejewski, G., Dimitrov, D., Fernandez, M., Sota, A., Nowak, G., 2016. Departure from the constant-period ephemeris for the transiting exoplanet WASP-12. *Astronomy and Astrophysics*, 588, 6.
- Maciejewski, G., Dimitrov, D., Seeliger, M., Raetz, St., Bukowiecki, L., 2013. Multi-site campaign for transit timing variations of WASP-12 b: possible detection of a long-period signal of planetary origin. *Astronomy and Astrophysics*, 551, 16.
- Maciejewski, G., Fernandez, M., Aceituno, F. J., Ohlert, J., Puchalski, D. *et al.*, 2015. No variations in transit times for Qatar-1 b. *Astronomy and Astrophysics*, 577, 7.
- Madhusudhan, N., Agúndez, M., Moses, J. I. and Hu, Y., 2016. Exoplanetary Atmospheres-Chemistry, Formation Conditions, and Habitability. *Space Science Reviews*, 205(1-4), 285-348.
- Mandel, Kaisey and Agol, Eric, *et al.* 2002. Analytic Light Curves for Planetary Transit Searches. *The Astrophysical Journal*, 580(2), L171-L175.
- Mao, A., Kamar, E., Chen, Y., Horvitz, E. *et al.*, 2013. Volunteering vs. Work for Pay: Incentives and Tradeoffs in Crowdsourcing. <https://www.researchgate.net/publication/312524607> (01.05.2020).
- Marois, C., Macintosh, B., Barman, T., Zuckerman, B., Song, I., 2008. Direct Imaging of Multiple Planets Orbiting the Star HR 8799. *Science*, 322(5906), 1348.
- Mason, John W., 2008. *Exoplanets: Detection, Formation, Properties, Habitability*. Springer Praxis Books. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK.
- Mayor, M. and Frei, P.Y., 2003. *New Worlds in the Cosmos the Discovery of Exoplanets*. Cambridge University Press, 248, UK
- Mayor, M. and Queloz, D., 1995. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378(6555), 355-359.

- Mayor, M., Bonfils, X., Forveille, T., *et al.* 2009. “The HARPS search for southern extra-solar planets. XVIII. An Earth-mass planet in the GJ 581 planetary system”, *Astronomy and Astrophysics*, 507(1), 487–494.
- Mazeh, T., Nachmani, G., Holczer, T. Fabrycky, Daniel C. *et al.*, 2013. Transit Timing Observations from Kepler. VIII. Catalog of Transit Timing Measurements of the First Twelve Quarters. *The Astrophysical Journal Supplement*, 208(2), 16.
- Mislis, D., Mancini, L., Tregloan-Reed, J., Ciceri, S., Southworth, J. *et al.*, 2015. High-precision multiband time series photometry of exoplanets Qatar-1b and TrES-5b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448(3), 2617-2623.
- Moutou, C. and Pont, F., 2006. Detection and characterization of extrasolar planets: the transit method. *Ecole de Goutelas*, 28, 55-79.
- Muterspaugh, Matthew W., Lane, Benjamin F., Kulkarni, S. R., Konacki, M. *et al.*, 2010. The Phases Differential Astrometry Data Archive. V. Candidate Substellar Companions to Binary Systems. *The Astronomical Journal*, 140(6), 1657-1671.
- Öztürk, O. and Erdem, A., 2019. New photometric analysis of five exoplanets: CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b, and WASP-52b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486(2), 2290-2307.
- Patra, Kishore C., Winn, Joshua N., Holman, Matthew J., Yu, L., Deming, D., Dai, F., 2017. The Apparently Decaying Orbit of WASP-12b. *The Astronomical Journal*, 154(1), 4.
- Poddaný, S., Brat, L. and Pejcha, O., 2010. Exoplanet Transit Database. Reduction and processing of the photometric data of exoplanet transits. *New Astronomy*, 15(3), 297-301.
- Pollacco, D., Skillen, I., Collier Cameron, A. *et al.*, 2006. The WASP Project and SuperWASP Camera. *Astrophysics and Space Science*, 304(1-4), 253-255.
- Ricker, George R., Winn, Joshua N., Vanderspek, R., Latham, David W. *et al.*, 2014. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). *Proceedings of the SPIE*, 9143, 914320.
- Saar, Steven H., Butler, R. P., Marcy, Geoffrey W., 1998. Magnetic Activity-related Radial Velocity Variations in Cool Stars: First Results from the Lick Extrasolar Planet Survey. *The Astrophysical Journal*, 498(2), L153-L157.
- Sada, Pedro V., Deming, D., Jennings, Donald E., Jackson, Brian k., Hamilton, Catrina M. *et al.*, 2012. Extrasolar Planet Transits Observed at Kitt Peak National Observatory. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124(913), 212.
- Sahlmann, J., Lazorenko, P. F., Ségransan, D., Martn E. L., Queloz, D., Mayor, M. and Udry, S., 2013. Astrometric orbit of a low-mass companion to an ultracool dwarf. *Astronomy and Astrophysics*, 556, 10.
- Santos, N.C., 2008. Extra-solar planets: Detection methods and results. *New Astronomy Reviews*, 52(2–5), 154–166.
- Saumon, D., Hubbard, W. B., Burrows, A., Guillot, T., Lunine, J. I. and Chabrier, G., 1996. A Theory of Extrasolar Giant Planets. *Astrophysical Journal*, 460, 993.
- Schneider, J., Dedieu, C., Le Sidaner, P., Savalle, R. and Zolotukhin, I., 2011. Defining and cataloging exoplanets: the exoplanet.eu database. *Astronomy and Astrophysics*, 532, 11.
- Seager, S. and Mallen-Ornelas, G., 2003. A Unique Solution of Planet and Star Parameters from an Extrasolar Planet Transit Light Curve. *The Astrophysical Journal*. 585(2), 1038-1055.
- Seeliger, M., Dimitrov, D., Kjurkchieva, D., Mallonn, M., Fernandez, M. *et al.* 2014. Transit timing analysis in the HAT-P-32 system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441(1), 304-315.
- Selam, S. O., Yılmaz, M., Izumiura, H., Bikmayev, I., vd. 2008. “Güneş Sistemi Dışı Gezegen Araştırmaları ve Bu Alanda TUG’da İlk Adımlar”, XVI. Ulusal Astronomi Kongresi ve V. Ulusal Öğrenci Astronomi Kongresi, Çanakkale.

- Smalley, 2005. <http://sait.oats.inaf.it/MSAIS/8/PDF/130.pdf> (04.09.2020).
- Stefan, J., 1879. On the relation between heat radiation and temperature. *Mathematical and Scientific Class*, 79, 391–428.
- Still, M. and Barclay, T., 2012. PyKE: Reduction and analysis of Kepler Simple Aperture Photometry data. *Astrophysics Source Code Library*, ascl:1208.004.
- Tabare, G., 2017. Exploring the orbital evolution of planetary systems. *European Journal of*
- Torres, G., Andersen, J. and Gimenez, A., 2010. Accurate masses and radii of normal stars: modern results and applications. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 18, (1-2), 67-126.
- von Essen, C., Schröter, S., Agol, E. and Schmitt, J. H. M. M., 2013. Qatar-1: indications for possible transit timing variations. *Astronomy and Astrophysics*, 555, 12.
- Wang, Y., Wang, S., Hinse, Tobias C., Wu, Z., Davis, Allen B. *et al.*, 2019. Transiting Exoplanet Monitoring Project (TEMP). V. Transit Follow Up for HAT-P-9b, HAT-P-32b, and HAT-P-36b. *The Astronomical Journal*, 157(2), 82.
- Wei, J., 2018. A Survey of Exoplanetary Detection Techniques, eprint arXiv:1805.02771 (06.01.2020).
- Winn, Joshua, 2010. Transits and Occultations. eprint arXiv:1001.2010
- Wittenmyer, R. A., Horner, J., Tuomi, M., *et al.* 2012. “The Anglo-Australian Planet Search. XXII. Two New Multi-Planet Systems”, *The Astrophysical Journal*, 753(2), 12
- Wolszczan, A. and Frail, D. A., 1992. A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12. *Nature*, 355(6356), 145-147.
- Wolszczan, A., 1994. Confirmation of Earth-Mass Planets Orbiting the Millisecond Pulsar PSR B1257 + 12. *Science*, 264(5158), 538-542.
- Wolszczan, A., 1996. Further Observations of the Planets Pulsar. *IAU Colloq. 160: Pulsars: Problems and Progress*, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 105, 91, Sydney, Australia.
- Wolszczan, A., 1997. Searches for Planets Around Neutron Stars. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 68(1), 13-25.
- Wright, J. T. and Gaudi, B. S., 2012. *Exoplanet Detection Methods. Part 2, Planets, Stars, and Stellar Systems*, Ed: Oswalt, T.”, Springer, Netherlands, 1–60.
- Xu, W., Liao, X., Zhou, Y. and Xu, X., 2017. Exoplanet Detection by Astrometric Method. *Chinese Astronomy and Astrophysics*, 41(3), 381-398.
- Zhao, M., O'Rourke, Joseph G., Wright, Jason T. *et al.*, 2014. Characterization of the Atmosphere of the Hot Jupiter HAT-P-32Ab and the M-dwarf Companion HAT-P-32B. *The Astrophysical Journal*, 796(2), 115.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Pakize AYDIN
Doğum tarihi:	01 Kasım 1990
Doğum Yeri:	Borçka / Artvin
Uyruğu:	T.C.
Adres:	Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Astrofizik Bölümü
E-mail:	pkzayd@gmail.com
Eğitim	
Lisans:	Ege, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay bilimleri (2010)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı (2017)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi