

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÖTEGEZEĞEN ARAŞTIRMALARINDA GEÇİŞ YÖNTEMİ VE IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihan BERBER

1800000468

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Fizik

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. Yelkenci

Temmuz 2021

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÖTEGEZEĞEN ARAŞTIRMALARINDA GEÇİŞ YÖNTEMİ VE IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihan BERBER

1800000468

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Fizik

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. Yelkenci

Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Dursun Koçer

Doç.Dr. Emre Işık (Türk-Alman Üniversitesi)

Temmuz 2021

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında TESS gözlem uydusunun gözlemlediği kaynakların ışıık eğrileri ile çalışma yapılip incelenmiştir.

Tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. Yelkenci'ye teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul 2021

Cihan Berber



İçindekiler Tablosu

ÖNSÖZ.....	i
KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISA ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yıldızlar ve Ötegezegenleri	2
1.2. Ötegezegen Araştırmaları	2
1.2.1. Yaşanabilir dünyalar:	3
1.2.2. Türklerin Keşfettiği Ötegezegen:	3
1.3. Ötegezegen Türleri.....	4
1.4. Yaşanabilir Alan ve Yaşam Arayışı.....	5
1.5. Ötegezegen Keşif Yöntemleri.....	8
1.5.1. Radyal Hız	8
1.5.2. Geçiş Yöntemi	9
1.5.3. Doğrudan Görüntüleme	10
1.5.4. Kütleçekimsel Merceklenme	12
1.5.5. Astrometri	14
1.6. Kepler Uydusu ve Gözlemleri	15
1.7. TESS (Transiting Exoplanet Survey Satallite) Uydusu ve Gözlemleri	17

1.8 Planet Hunters TESS Projesi	19
2. YÖNTEM	24
2.1. Planet Hunters TESS Projesi Simülasyon Verilerinin incelenmesi	25
2.2. Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verilerinin incelenmesi	28
2.3 exo.MAST Veri Tabanı:	33
2.4. Hedef Yıldız Seçimi	35
2.5. TIC 70440470 Yıldızın Özellikleri	35
2.6. Işık Eğrisi Analizi	37
2.6.1 Lightkurve Yazılımı	37
2.6.2 TargetPixelFile verileri	37
2.6.3 Işık Eğrisi Dosyaları	39
2.6.4 Geçiş Yöntemi ile Gezegen Özelliklerinin Belirlenmesi	49
3. BULGULAR ve SONUÇLAR	50
3.1 Tartışma	54
EKLER	56
EK-1	56
EK-2	65
KAYNAKÇA	70

KISALTMALAR

TUG	TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
RTT150	Rus-Türk Teleskobu
IY	Işık Yılı
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (İng. Massachusetts Institute of Technology)
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (İng. National Aeronautics and Space Administration)
AB	Astronomik Birim
CAT	Katadioptrik Teleskop (İng. Catadioptric Telescope)
CCD	Şarjla Bağlanmış Cihaz (İng. Charge Coupled Device)
FOV	Görüş Alanı (İng. Field of View)
TESS	Geçiş Ötegezegen Araştırma Uydusu (İng. Transiting Exoplanet Survey Satellite)
STScI	Uzay Teleskop Bilim Enstitüsü (İng. Space Telescope Science Institute)
MAST	Mikulski Uzay Teleskopları (İng.
yy	Yüz Yıl
JWST	James Webb Uzay Teleskobu (İng. James Webb Space Telescope)
TOI	TESS İlgili Nesneleri (İng. TESS Object of Interest)
TIC	TESS Giriş Kataloğu (İng. TESS Input Catalog)
TPF	Hedef Piksel Dosyası (İng. Target Pixel File)
Lc	Işık Eğrisi (İng. Light curve)
BLS	Kutu En Küçük Kareler (İng. The Box Least Squares)
BTJD	Barycentric TESS Jülyen Günü (İng. Barycentric Julian Date)
JD	Jülyen Günü
SAP	Basit Açıklık Fotometrisi (İng. Simple Aperture Photometry)
PDCSAP	Ön Arama Veri Koşullandırma SAP (İng. Presearch Data Conditioning)
Arcsec	Yay Saniyesi

Exptime

QLP

SPOC

TASOC

Pozlama Süresi

Quick Look Pipeline

Science Processing Operations Center

TESS Data For Asteroseismology Lightcurves



TABLO LİSTESİ

<i>Tablo 1 Ötegezegen Aday Yıldız Listesi.....</i>	<i>35</i>
<i>Tablo 2 TIC 70440470 Kaynağının Özellikleri</i>	<i>36</i>
<i>Tablo 3 TIC 70440470 Kaynağının TESS Arşivindeki TPF Dosyaları.....</i>	<i>38</i>
<i>Tablo 4: TIC 70440470 kaynağının oluşturulan ışık eğrisindeki veriler.....</i>	<i>40</i>
<i>Tablo 5 TIC 70440470 için TESS Arşivinden Ulaşılan Hazır Işık Eğrisi Dosyaları</i>	<i>46</i>
<i>Tablo 6 TIC 70440470 İçin Işık Eğrilerinden Elde Edilen Değerler.....</i>	<i>53</i>



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Yıldız türlerine göre yaşamsal alanın boyutu [13].....	6
Şekil 2 Güneş ve Proxima Centauri Simülasyon Üzerinde Karşılaştırılması [14]	6
Şekil 3 Güneş Sistemi ve Proxima Centauri Sisteminin Yaşanabilir Alan Karşılaştırması [14].....	7
Şekil 4 Spektroskop Örneği [15].....	7
Şekil 5 Radyal Hız Yöntemi [18]	8
Şekil 6 Geçiş Sırasındaki Parlaklık Değişimi [20].....	9
Şekil 7 Tayfta görülen kimyasal izler [15].....	10
Şekil 8 Yıldız Gölgeleme Örneği [23]	11
Şekil 9 Yıldız Işığının Gölgelemeden Öncesi [23].....	11
Şekil 10 Yıldız Işığının Gölgeledikten Sonrası [23].....	12
Şekil 11 Bir Galakside Gerçekleşen Süpernova Patlamasının Merceklenmesi [27].....	13
Şekil 12 Önde Bulunan Büyük bir Galaksi Arkasındaki Quasarın Işığını Merceklemektedir [28]	13
Şekil 13 Önde Bulunan Beyaz Bir Galaksi, Arkasındaki Mavi Galaksiyi Merceklemektedir [29]	14
Şekil 14 İncelenen Yıldızın Belirlenen Noktalara Göre Simülasyon Üzerindeki İlk Konumu [31].	15
Şekil 15 İncelenen Yıldızın Belirlenen Noktalara Göre Simülasyon Üzerindeki İkinci Konumu [31].....	15
Şekil 16 Keplerin Gözlem Alanı [33]	16
Şekil 17 Kepler Uydu Teleskobunun Bakış Doğrultusu [36].	17
Şekil 18 TESS'in Gökyüzünü Ayırdığı Sektörler [37].....	18
Şekil 19 TESS'in Dört Kamerasından Gelen İlk Görüntünün Birleşik Görüntüsü [39].	18
Şekil 20 Planet Hunters TESS Çoklu Gezegen Geçiş Işık Eğrisi Simülasyon Örneği [40].	20
Şekil 21 Planet Hunters TESS Tekrarlanan Gezegen Geçiş Işık Eğrisi Simülasyon Örneği [40].	20
Şekil 22 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 1 [40].	21
Şekil 23 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 2 [40].	21
Şekil 24 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 3 [40].	22
Şekil 25 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 4 [40].	22
Şekil 26 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 5 [40].	23
Şekil 27 Planet Hunters TESS Yavaş Atarca Işık Eğrisi Simülasyon Örneği [40].	23
Şekil 28 Planet Hunters TESS Hızlı Atarca Işık Eğrisi Simülasyon Örneği [40].	23
Şekil 29 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Sistematik Hata Örneği 1 [40].	24
Şekil 30 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Sistematik Hata Örneği 2 [40].	24
Şekil 31 Planet Hunters TESS Projesi Çevrimiçi İnteraktif Ölçüm Ara Yüzü	25
Şekil 32 Simülasyon Verisi 1	26

Şekil 33 Simülasyon verisi 2	26
Şekil 34 Simülasyon Verisi 3	27
Şekil 35 Simülasyon verisi 4	27
Şekil 36 Simülasyon Verisi 6	28
Şekil 37 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 1.....	28
Şekil 38 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 2.....	29
Şekil 39 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 3.....	29
Şekil 40 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 4.....	30
Şekil 41 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 5.....	30
Şekil 42 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 6.....	31
Şekil 43 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 7.....	31
Şekil 44 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 8.....	32
Şekil 45 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 9.....	32
Şekil 46 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 10.....	33
Şekil 47 exo.MAST Giriş Sayfası [41].....	34
Şekil 48 exo.MAST Arama Sayfası [41]	34
Şekil 49 TIC 70440470 Kaynağına Ait TPF Dosyalarından Biri.	39
Şekil 50 TIC 70440470 İçin Oluşturulan Işık Eğrisi	41
Şekil 51 TIC 70440470 İçin Oluşturulan Normalize Işık Eğrisi	41
Şekil 52 BLS Periodogram Grafiği	42
Şekil 53 TIC 70440470 İçin BLS Periodogram Grafiği.....	42
Şekil 54 TIC 70440470 İçin Çizdirilen Evre Cinsinden Işık Eğrisi	43
Şekil 55 TIC 70440470 Işık Eğrisinde Maskelenmiş Geçişler	44
Şekil 56 TIC 70440470 Işık Eğrisi İçin BLS Model Eğrisi	44
Şekil 57 Lightkurve Etkileşimli BLS Periodogramı ve Işık Eğrileri	45
Şekil 58 TIC 70440470 Otomatik Işık Eğrisi Dosyası Verileri	46
Şekil 59 TIC 70440470 İçin Açıklık Fotometrisi Maskeleri.....	47
Şekil 60 TIC 70440470 TESS Hazır Işık Eğrisi	47
Şekil 61 TIC 70440470 İçin TESS Hazır Işık Eğrilerinin Karşılaştırılması.....	48
Şekil 62 TIC 70440470 İçin TESS Hazır Işık Eğrisinden Elde Edilen BLS Periodogramı	49
Şekil 63 Geçiş Geometrisi [43]	50
Şekil 64 TIC 70440470 İçin Gözlemsel ve Teorik Işık Eğrileri	52

SİMGE LİSTESİ

S/G	Sinyal/Görüntü Oranı
K	Kelvin
$R_{\text{yıldız}}$	Yıldızın Yarıçapı
R_{gezegen}	Gezegenin Yarıçapı
k	Yarıçaplar Oranı
t_0	Geçiş Zamanı
t_i	Gezegenin Yıldız Çemberine Değme Zamanı
t_{ii}	Gezegenin Tamamen Yıldız Çemberinin Önüne Geçme Zamanı
t_{iii}	Gezegenin Yıldız Çemberinden Ayrılmaya Başlama Zamanı
t_{iv}	Geçişten Çıkış Zamanı
t_{dur}	Geçiş Süresi
δ	Geçiş Derinliği
$F_{\text{geçiş dışı}}$	Işık Eğrisindeki Geçiş Dışı Akı
$F_{\text{geçiş ortası}}$	Işık Eğrisindeki Geçiş Ortası Akı
C_*	Hedef Yıldızdan Alıcıya Saniyede Gelen Elektron Miktarı
t_b	Elektron Biriktirme Süresi
$R_{\text{Güneş}}$	Güneşin Yarıçapı

Üniversite : İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitüsü : Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü
Dalı : Fizik
Programı : Fizik
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. Yelkenci
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Temmuz 2021

KISA ÖZET

ÖTEGEZEĞEN ARAŞTIRMALARINDA GEÇİŞ YÖNTEMİ VE IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

Cihan BERBER

Bu çalışmada, ötegezegen gözlemleri için kullanılan TESS uydu teleskobunun verileri kullanılarak ötegezegen adayına sahip bir yıldız sistemi olan TOI 126.01 (TIC 70440470) kaynağının ışık eğrisi analizi yapılmıştır. TESS uydu verilerinin incelenmesinde öncelikle Planet Hunters TESS projesinin halka açık verilerinden faydalanılmıştır. Planet Hunters TESS projesindeki çevrim içi interaktif ışık eğrisi analiz aracı kullanılarak simülasyon verileri ile deneme yapıldıktan sonra toplamda 112 farklı kaynağa ait orijinal ışık eğrisi incelenmiş ve gezegen geçişleri belirlenerek proje yönetimine gönderilmiştir. Daha sonra exo.MAST veri tabanından indirilen TOI kataloğundan seçilen 15 aday yıldız arasından Güneş'in yarıçapına ve sıcaklığına yakın olması açısından ve exo.MAST veri tabanındaki uydu verilerine bakıldığında yüksek sinyal/gürültü oranına sahip verileri olduğundan TOI 126.01 (TIC 70440470) kaynağı seçilmiştir. Verilerin indirgenmesi ve ışık eğrisi analizleri için Python bilgisayar dilinde çalışan Lightkurve yazılımı kullanılmıştır. Lightkurve yazılımı kullanılarak evre cinsinden katlanmış ışık eğrileri oluşturulmuştur. İnteraktif bls periodogramları sayesinde gözlemsel ışık eğrileri ile en uyumlu teorik modeller tespit edildikten sonra bu modeller üzerinden geçiş parametreleri ölçülmüştür. Buna göre TIC 70440470 için TESS uydusunun yapmış olduğu 2018 ve 2020 gözlemlerinden

geçiş tekniği kullanılarak aday gezegenin geçiş periyodu $3,0353924 \pm 0,0008147$ gün, geçişin süresi $0,0843 \pm 0,0113$ gün, geçiş derinliği $0,01467 \pm 0,0008$ e/s (%1,4670 $\pm$ 0,0808) olarak bulunmuştur. Aday gezegenin yarıçapının hesaplanması için geçiş derinliği kullanılmıştır. Yarıçaplar oranı $k = 0,12112$ ve gezegen yarıçapı $1,29 R_{Jupiter}$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu sonuç TIC 70440470 kaynağının Jüpiter boyutlarında bir gezegene sahip bir yıldız sistemi olduğuna dair bir göstergedir.

Anahtar Sözcükler: Ötegezegen, ışık eğrisi, ışık ölçümü, fotometri, gözlemsel astronomi, TOI, TIC, TESS

Bilim Dalı Sayısal Kodu:

University : Istanbul Kültür University
Institute : Institute of Graduate Education
Department : Physics
Programme : Physics
Tez Danışmanı : Dr. Ayşegül F. Yelkenci
Tez Türü ve Tarihi : MS – July 2021

ABSTRACT

TRANSIT METHOD AND LIGHT CURVE ANALYSIS IN EXOPLANET RESEARCH

Cihan BERBER

In this study, light curve analysis of TOI 126.01 (TIC 70440470), which is a candidate exoplanet system, was performed using data from the TESS satellite telescope. The publicly available data of the Planet Hunters TESS project was used to investigate TESS satellite data. Using the online interactive light curve analysis tool in the Planet Hunters TESS project, original light curves of 112 different sources was examined and planetary transits were determined. TOI catalog was downloaded from exo.MAST database. TOI 126.01 was chosen among the 15 candidate stars, with its radius and temperature close to solar values and its high signal/noise ratio data in the exo.MAST database. Lightkurve software running in Python was used for data reduction and light curve analysis. Folded light curves were produced using Lightkurve software. Using the interactive bls periodograms, the most compatible theoretical models fitting the observational light curves were determined, and the transit parameters were measured. Accordingly, from the 2018 and 2020 observations of TIC 70440470 made by the TESS satellite, the transit period of the candidate exoplanet is found as 3.0353924 ± 0.0008147 days, the transit duration as 0.0843 ± 0.0113 days, the transit depth as 0.01467 ± 0.0008 e./s ($\%1.4670 \pm 0.0808$). Transit depth is used to calculate the radius of the candidate exoplanet. The radi ratio was found to be $k = 0.12112$ and the planetary radius to be $1.29 R_{\text{Jupiter}}$. This result is

an indication that TIC 70440470 is a star system with an exoplanet nearly the size of Jupiter.

Key Words: Exoplanets, photometry, observational astronomy, light curve, TESS, TOI, TIC.

Science Code:

1. GİRİŞ

Ötegezegen, Güneş Sisteminin dışında ya da başka bir yıldızın yörüngesinde bulunan gezegenlerdir. Ekim 2020 itibari ile yaklaşık 4300 adet onaylanmış, 5600 adet aday ötegezegen keşfedilmiştir [1].

Bunların birçoğu gözle görüntülenmeden çok, başka yöntemler ile saptanmıştır. Bu gezegenlerin çoğu Jüpiter'i andıran büyük kütleli dev gezegenlerdir. Bunun nedeni teleskopların henüz yeteri kadar gelişmemesinden dolayıdır. Doğrulanmamış ya da saptanmamış daha küçük gezegenlerin olduğu fikri yaygındır. Gezegenleri keşfetmek için; geçiş yöntemi, dopler etkisi, merceklenme ve birkaç başka yöntem daha kullanılmaktadır.

Ötegezegen keşfetmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri de geçiş yöntemidir. Gezegen, yıldızının önünden geçerken yıldızının ışığında azalma meydana getirir. Bu yöntemle ışık akısındaki azalmalar incelenerek, bu azalmalara sebep olan gezegen hakkında bilgi sahibi olunur. Bu yöntemi kullanabilmek için ötegezegenlerin yörüngeleri bakış doğrultusunda olmak zorundadır. Aksi durumda ışık eğrilerinde azalma gözlemlenemez ve ötegezegene sahip olup olmadığı hakkında varsayımında bulunulamaz. Bu yöntemde tekli veya çoklu yıldız sistemlerinin ışık eğrileri gözlenir. Ötegezegen, yörüngesinde olduğu yıldızın önünden geçtiği süreye, yörüngesine ve boyutuna bağlı olarak yıldızın ışık eğrisinde bir azalma meydana gelir. Bu azalma düzgün zaman aralıklarında tekrarlanıyorsa bu sistem aday sınıfına alınabilir [2].

Diğer yöntemlerin çoğunda ise, gezegene sahip olan yıldızların yalpalanması incelenmektedir. Yıldızlar, gezegenlere uyguladığı kütle çekim etkisini gezegenlerde yıldızlara uygulamaktadır. Bu etki yıldızların uyguladığı etki yanında çok küçük kalsa da, yıldızları yalpalama hareketi yapmaya yönlendirmek için yetebilir. Bu çekim etkisinden dolayı, yıldızlar olması gereken noktadan ziyade kendilerine hafif bir yörünge oluşturarak o yörünge etrafında hareket ederler. Bu hareketin boyutunu, sahip olduğu gezegenin kütlesi belirlemektedir. Sahip olunan gezegen ne kadar yakından dönerse ve kütlesi ne kadar fazla ise yıldız da o kadar çok etkilenmektedir.

1.1. Yıldızlar ve Ötegezegenleri

Samanyolu Galaksisi, yüz milyarlarca yıldız ev sahipliği yapmaktadır. Bu yıldızların boyutlarına bağlı olarak değişen yaşam süreleri vardır. Yaşam süresi dolan yıldızlar ölümlerinde yaydıkları enerjiler ile başka yerlerde yeni yıldızların oluşmasına imkân tanır. Kimi yıldız yalnız başınayken, kimi yıldız ise kendi gezegenlerine sahiptir. Bu yıldızlar güneş sistemine yüzlerce ya da binlerce ışık yılı uzaktadırlar. Yıldızları incelemek için ışıklarının bize ulaşmış olması gerekmektedir. Böylelikle gezegene sahip olup olmadığı konusunda araştırmalar yapılabilir.

1.2. Ötegezegen Araştırmaları

Geçmişten günümüze insanoğlu evrenin yapısını çözmeye çalışmış ve teoriler ortaya atmışlardır. Bunlardan bazıları; tek dünya modeli, dünya merkezli evren modeli, düz dünya modeli hatta dünyanın bir boğanın boynuzunda döndüğü fikridir. Gökyüzündeki yıldızları fark ettiklerinde ise onları sınıflayıp çeşitli hikâyelere dâhil etmişlerdir. İnsanoğlu geliştikçe sorular da değişti. Evren sadece dünya için mi? Dünyaya benzeyen başka gezegenler de var mı ya da evrende tek yaşam dünya da mı? Bu soruların birçoğu için henüz bir cevap bulunmuş değildir. Ama dünyanın tek olmadığını cevabına varıldı. İlk başlarda güneş sistemindeki diğer gezegenler ve onların uyduları keşfedildi. Bu da Dünya merkezli evren modelini ortadan kaldırdı. Daha sonra bu alanlara yatırım yapılmaya başlandı. Böylece modern astronomi ortaya çıktı. Yapılan teleskoplarla gökyüzünü incelemeye başladılar. Evrende sayısız gezegen olduğu, bunların dünyaya ne kadar benzediği ortaya çıktı. 19.yy ortalarında bu gezegenlerin ne kadar yaygın olduklarını gördüler. 1990'larda ise doğrulanmış ilk ötegezegenleri keşfettiler. Bu gezegenler yaşlı bir pulsar olan PSR 1257+12 çevresinde dolanan üç gezegen Wolszczan tarafından 1992 yılında keşfedildi. Bu keşfin ardından bilim insanları; bir pulsar çevresinde değil bir ana kol yıldızın çevresinde aramaya başladılar. Böylece 1995 yılında ilk kez bir ana kol yıldızının etrafında dolanan 51 Pegasi b keşfedildi ve aynı yıl onaylandı. Ardından her yıl yeni gezegenler katıldı. Anakol yıldızının ardından yeni hedef yaşanabilir alanda yer alan diğer gezegenleri araştırmak oldu. Bunlara en iyi örnek ise Gliese 581 sisteminin 3. Gezegeni olan Gliese 581 d olabilir. Bu gelişmelerin ardından arayışlar hızlandı ve her sene yeni gezegenler ve yeni adaylar katılmaya başladı [3].

1.2.1. Yaşanabilir dünyalar:

Yirmi yıldan uzun süredir yapılan araştırmalarda, yer ve uzay temelli gözlemler, samanyolu galaksisinin ancak birkaç diliminde arama yapabilmıştır. Bu süre zarfında 4,200'den fazla onaylanmış ötegezegen keşfedilmiştir. Onaylanmamış gezegen adayları da eklendiğinde sayı 9,600'den fazla olmaktadır¹.

Şimdiye kadar keşfedilen gezegenlerin çoğu gaz ve buz devleridir. Keşfedilen ötegezegenlerden küçük bir kısmı dünya benzeri ve süper dünya boyutunda kayalık gezegenlerini içermektedir.

Kepler-186f, Kepler teleskobu tarafından 2014 yılında transit yöntemi ile başka bir yıldızın yaşanabilir alanı içerisinde keşfedilen dünya benzeri ilk ötegezegendir. Dünya'dan yaklaşık olarak 560 ışık yılı uzaklıkta bulunan M tipi bir yıldız olan Kepler-186'nın yörüngesinde bulunan bir ötegezegendir. Kepler-186f'in yörüngesel periyodu 129,9 gün, yıldızına olan uzaklığı ortalama 0.43 AB'dir. Yıldızın diğer iç gezegenleri yıldızla fazlasıyla yakın olduğu için su bulunduramayacak kadar sıcak olduğu düşünülmektedir. Kepler-186f ise bu mesafeden uzakta bulunduğu için yıldızı ile eş zamanlı dönmeme ihtimali bulunmaktadır. Ancak yine de bulunduğu mesafeden dolayı dünyaya oranla daha yavaş dönmektedir [4][5].

Gliese 581 d, Dünya'dan yaklaşık olarak 20 ışık yılı uzaklıktaki M tipli yıldız olan Gliese 581 yıldızının etrafında dönen bir ötegezegendir. Dünya'dan en az 5 kat büyük kütlesi nedeniyle bir süper dünya olarak sınıflandırılmaktadır. Bir inceleme ekibi tarafından 2009'da yıldızının yaşama elverişli bölgesinde olduğu onaylandı. Daha sonra üç boyutlu bir simülasyon ile gezegenin bir atmosfere ve yüzeyinde sıvı suya sahip olabileceğini göstermiştir [6].

1.2.2. Türklerin Keşfettiği Ötegezegen:

Antalya Bakırlitepe'de bulunan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) 2007 yılından bu yana, Ankara Üniversitesi'nden araştırmacıların liderliğinde, Türk, Japon ve Rus bilim adamlarından oluşan uluslararası bir proje işbirliği çerçevesinde sürdürülen gezegen arama çalışmaları ilk meyvesini verdi. Son yıllarda bir TÜBİTAK projesi ile de desteklenen bu çalışma ile araştırmacılarımız, Güneş Sistemi'miz dışında başka bir yıldızın etrafında dolanan yeni bir gezegen keşfettiler. Güneş Sistemi'miz dışında keşfedilmiş ve öte-gezegen olarak adlandırılan bu gezegenlerin sayısı günümüzde 4000'e yaklaşmakta olup bu keşif Türk bilim insanları tarafından keşfedilen ilk öte-gezegen olma özelliğine sahiptir. Gezegen, TUG'da bulunan 1.5 m

¹ <https://exoplanets.nasa.gov/>

ayna çaplı Rus-Türk Teleskobu (RTT150) ve Japonya Okayama Astrofizik Gözlemevi'nden işbirliği çerçevesinde sağlanan iyodin hücresi aygıtı kullanılarak çok hassas dikine (radyal) hız ölçüm tekniği ile keşfedildi.

Araştırmacılarımız, bu yeni gezegeni, bizden yaklaşık 212 ışık yılı (1 ışık yılı ~ 10 trilyon km) uzaklıkta olan HD 208897 yıldızın etrafında tespit ettiler. Jüpiter'den 1.5 kat daha büyük boyutlara sahip bu yeni gezegen, yıldızının etrafında bir tam yörünge turunu neredeyse 1 yıl sürede tamamlamakta. TÜBİTAK projesinin yürütücüsü, Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Mesut YILMAZ, keşfedilen gezegenin Jüpiter benzeri bir gaz devi olduğunu ve dolayısıyla yaşam barındırma ihtimalinin bulunmadığını belirtti. Aynı bölümden Prof. Dr. Selim Osman SELAM ise, keşfedilen öte-gezegenin yıldızına olan uzaklığının, Dünya-Güneş arası mesafeye eşit olduğunu, HD 208897 yıldızının Güneş'imizden 1000 derece daha soğuk, yarıçapının ise 5 kat daha büyük kırmızı bir dev yıldız olduğunu açıkladı. Araştırma ekibinde yer alan, Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Varol KESKİN ise, bu keşfin, Güneş'imizin birkaç milyar yıl sonra ileri evrim aşamasında yarıçapını büyüterek bir kırmızı dev yıldızla dönüştüğünde çevresindeki gezegenleri nasıl etkileyeceğini anlamak için güzel bir örnek teşkil ettiğini ifade etti. Araştırmacılar, bu keşfin ülkemizde gerçekleştirilen ilk öte-gezegen keşfi olduğuna dikkat çektiler ve uzun zaman aralığına dayalı sürdürmekte oldukları sabırlı gözlemlerle bu tür keşiflerin sayısının yakın gelecekte artabileceğinin altını çizdiler [7].

1.3. Ötegezegen Türleri

Yapılan keşiflerin ardından ötegezegen sayıları her yıl artmaya devam etmektedir. Bu nedenle onları daha rahat incelemek adına boyut ve türlerine göre sınıflandırılarak incelenmeye başlandı.

Jüpiterler (Gaz Devleri): Bu gaz devlerini genellikle hidrojen ve helyumdan oluşmaktadırlar. Yıldızlarına daha yakın olan gaz devleri "Sıcak Jüpiterler" olarak adlandırılır. Kütlesi Dünya'nın kütlesinin elli katından fazla olan bu gaz devleri özellikleri bakımından Jüpiter'e benzer. Bugüne kadar keşfedilen ötegezegenlerin %40'ından fazlası bu sınıfa girer. Bu gezegenler yıldızlarına çok yakın döndükleri için yıldızlarını yalpalanmaya neden olurlar. Bu nedenle radyal hız yöntemi ile kolaylıkla avlanabilmektedir. 1995 yılında keşfedilen Pegasi b isimli gezegen, Güneş benzeri bir yıldızın etrafında gözlemlenen ilk ötegezegendir. Şimdiye kadar 1350 onaylanmış gaz devi keşfedilmiştir [8].

Neptünler: Güneş sistemindeki Neptün ya da Uranüs'e benzer boyuttadırlar. Kütleleri Dünya'nın kütesinin 10 katı ile 50 katı arasında değişir. Yıldızlarına çok yakın yörüngelerde dolanabilirler (bunlar "Sıcak Neptünler" olarak adlandırılır) ancak buzlu dış bölgelerde oluşma olasılıkları daha yüksektir ve yaşanabilir alan dışında yer alırlar. Atmosferleri Helyum ve Hidrojen gibi metallerden oluşur. Amonyak, su ve metan içerebilirler ancak dolmuş halde olduklarından buz devleri olarak da anılabilirler. İlk buz dev ötegezegen; 2014 yılında 25,000 ışık yılı uzakta keşfedilmiştir. Donmuş metandan dolayı mavimsi renge sahip olabilirler. Son zamanlarda yapılan gözlemler, Neptünlerin sayısının tahmin edilenden çok daha fazla olduğunu gösterdi. Şimdiye kadar 1453 adet onaylanmış Neptün benzeri ötegezegen keşfedilmiştir [9].

Süper Dünyalar: Güneş sisteminde olmayan bir gezegen sınıfıdır. Sadece isim olarak süper denmektedir ve dünyaya benzerliği olmayabilirler. Dünyadan on kata kadar daha büyük olabilmektedirler. Su, buz ya da Neptünler gibi yoğun gazlardan oluşan atmosferlere sahip olabilirler. Süper dünyaların en büyük kütleye sahip olanları Mini Neptünler olarak ta tabir edilir. Şimdiye kadar 1329 onaylanmış Süper Dünya keşfedilmiştir [10].

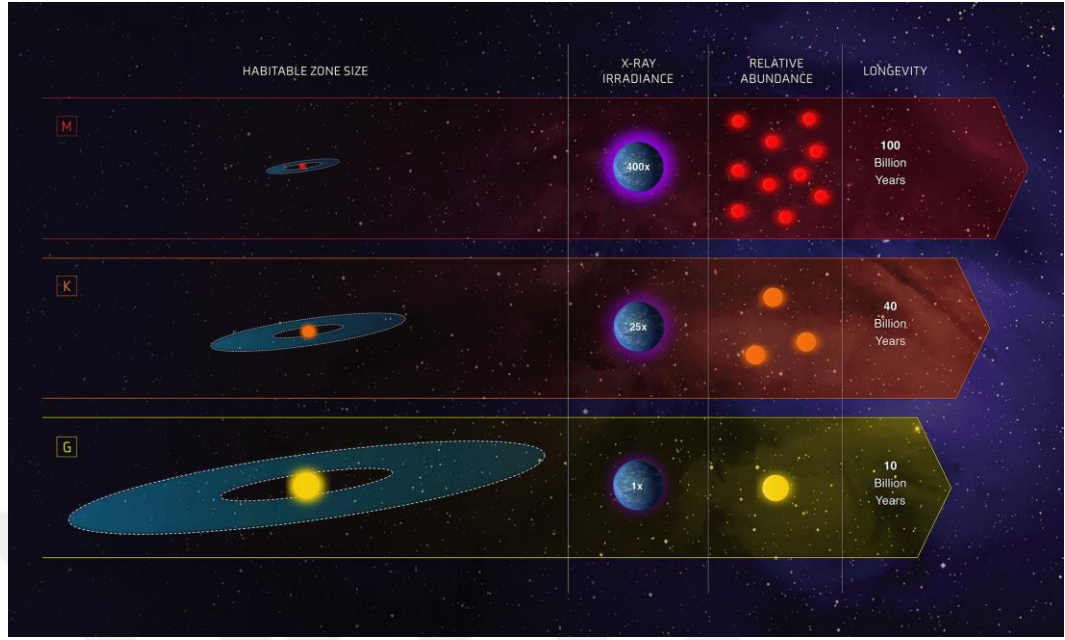
Karasal Gezegenler: Kütleleri Dünyanın yarısı ile iki katı arasında değişebilen kayalık gezegenlerdir. Kaya, silikat ya da karbondan oluşabilmektedir. Bu gezegenlerin aralarında atmosfer, sıvı su ya da yaşam için gerekli olan diğer koşulları sağlayabilirler. Kepler uzay teleskobunun verileri gökyüzündeki yıldızların %20'si yaşanabilir alanlarında karasal gezegene sahip olabileceğini gösterdi. Ancak sonradan yapılan yeni incelemeler ile bu sayının %2 ile 12 arasında olabileceğini gösterdi. Şimdiye kadar onaylanmış 163 onaylanmış karasal gezegen keşfedilse de bu sayı ilerleyen teknoloji ve keşiflerle birlikte artış gösterecektir [11].

Kahverengi Cüceler: Kütleleri Jüpiter'in kütesinin 13 katı ile 75 katı arasında olan gök cisimleridir. Kütleleri nükleer tepkimeler gerçekleştirmek için yeterli olmadığından yıldıza dönüşemezler. Bu yüzden başarısız yıldızlar olarak da adlandırılırlar. Kahverengi cücelerin kendi gezegenleri olabilir. Keşfedilen kahverengi cücelerin birçoğu ikili sistemler halinde gözlemlendi. İlk kez 1995 yılında keşfedilen kahverengi cüceler tahmini 10 milyon yaşlarında olan Gliese 229a ve Gliese 229b'dir [12]

1.4. Yaşanabilir Alan ve Yaşam Arayışı

Güneş sistemi dışında yaşam arayışı her zaman hedef olmuştur. Uygun koşulları aramak için gökyüzü parseller halinde gelişen teleskoplarla incelenmektedir.

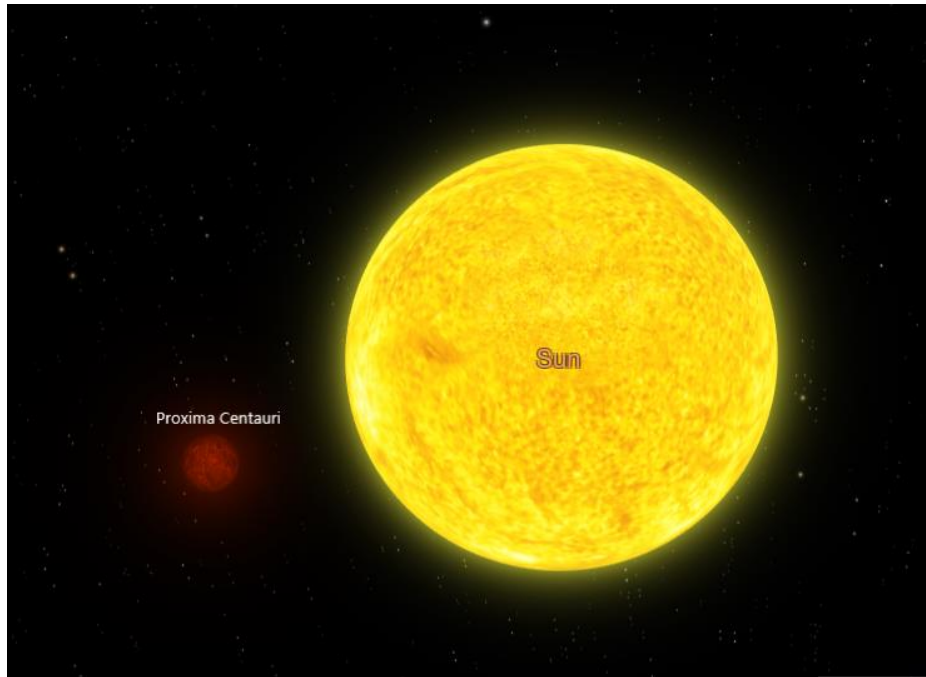
Yaşanabilir alan; yıldızın etki alanında suyun sıvı halde var olabileceği alandır. Bu alan, yıldızın türüne bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 1 Yıldız türlerine göre yaşamsal alanın boyutu [13]

Şekil 1 de gösterildiği gibi yıldızın kütlesi yaşanabilir alanın boyutunu, yaygınlığını ve yaşam süresini belirlemektedir. Daha küçük kütleyle sahip yıldızlar daha uzun süre parlamaktadır.

Örneğin “O” sınıfına ait bir yıldızın yaşanabilir alanı güneş benzeri yıldızlara oranla daha geniş ve daha uzakta olabilmektedir.



Şekil 2 Güneş ve Proxima Centauri Simülasyon Üzerinde Karşılaştırılması [14]

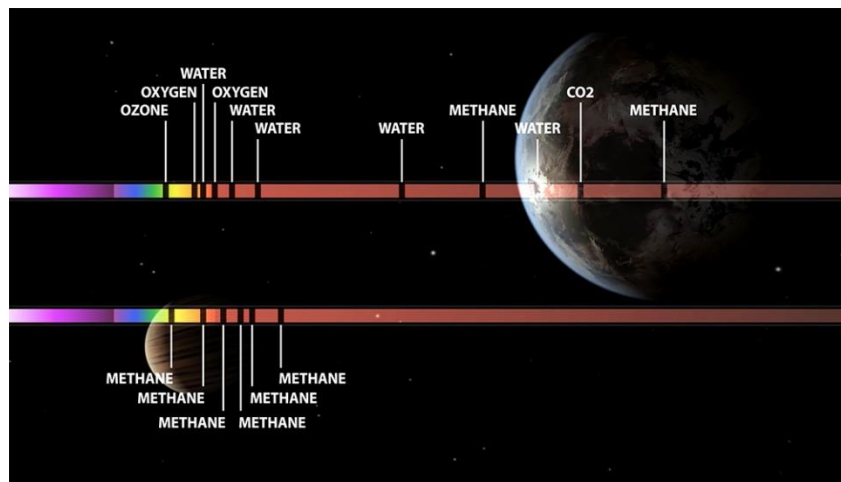


Şekil 3 Güneş Sistemi ve Proxima Centauri Sisteminin Yaşanabilir Alan Karşılaştırması [14]

Şekil 2 ve 3'te örnek olarak gösterildiği gibi Güneş Sistemi ve ortalama 4 ıy uzaktaki daha küçük bir sistem olan Proxima Centauri Sisteminin yaşanabilir alanı kıyaslandığında, Proxima Centauri'nin yaşanabilir alanı çok daha küçüktür. Proxima Centauri sisteminin yıldızı Güneş'ten çok daha küçük olduğu yaşanabilir alanın boyutu da o kadar küçülmüştür.

Yıldızın büyüklüğü ve içeriğinin yanı sıra ömrü de yaşam oluşumu için büyük önem taşımaktadır. Büyük, parlak yıldızlar, küçük yıldızlara göre çok daha çabuk tükenmektedir. Güneşin kütlesinden birkaç kat büyük yıldızların ömrü birkaç yüz milyonu bulurken, daha küçük kütleli yıldızların ömrü onlarca milyar yıl olabilmektedir.

Newton'un ortaya çıkardığı gibi, bir prizmadan yansıyan beyaz ışık dalga boylarına ayrılır. Farklı renkler, ışığın farklı dalga boylarına karşılık gelir. Gezegenlerin atmosferlerindeki gazlar, yıldızdan gelen ışığın belirli bir dilimini emebilir. Uzak bir gezegenin atmosferini incelediğimizde ışığın spektrumu bize atmosferde hangi kimyasal ya da gazların olduğunu söyler.



Şekil 4 Spektroskop Örneği [15].

Şekil 4'te de gösterildiği gibi eksik olan renkler siyah çizgiler olarak görünür. Siyah boşluklar, metanı ya da oksijeni temsil edebilir. İlerleyen araştırmalarla beraber

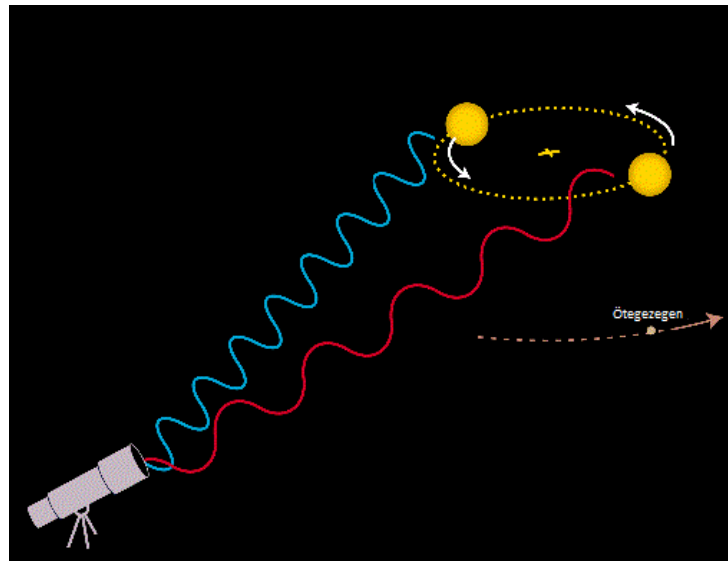
yeni nesil teleskoplar 2030-2040 gibi tarihlerde uzaya fırlatılması planlanmaktadır. Yaşam kanıtı bulmak için teknolojinin yanı sıra şans ta gerektiğini düşünen MIT fizik profesörü Sara Seager ve arkadaşları, yaşam oluşturabilecek element ve bileşiklerini araştırmaktadır. İlk olarak dünyadaki yaşam formları için gerekli olan(karbon (C), Nitrojen (N), oksijen (O), fosfor (P), sülfür (S) ve hidrojen (H) altı ana elemente odaklanmışlardır. [16]

1.5. Ötegezegen Keşif Yöntemleri

İlk keşfedilen ötegezegenden bu zamana kadar gelişen teknoloji ile birlikte keşif yöntemleri de değişme ve çeşitlilik göstermektedir. Bu keşif yöntemlerinden bazıları; radyal hız, geçiş yöntemi, doğrudan görüntüleme, kütleçekimsel merceklenme ve astrometridir.

1.5.1. Radyal Hız

Yıldız ve gezegen arasındaki yerçekimi etkileşimi ile birbiri üzerinde etkileri olmaktadır. Bu çekim etkileri gezegen ve yıldızın boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Gezegen yıldızın etrafında dönerken aynı zamanda da çekim etkilerinden dolayı yıldızı sallamaktadır. Bu sallanmayı gözlemlemek için “Dopler Kayması” denen bir yöntem kullanılır. Enerji-ses ve ışık, dalgalar halinde hareket eder. Bu dalgalar cismin hareketine bağlı olarak daralabilir ve genişleyebilir. Cisim yaklaştığı sırada dalgalar sıkışır, uzaklaştığı sırada ise genişler. Yıldız, gezegenin etkisi yüzünden yörüngesinde sallanırken hem yakınlaşır hem de uzaklaşır. Bu yöntemle 821 adet ötegezegen keşfedilmiştir [17]. Şekil 5’te de, bir gökcismi yörünge hareketi sırasında gözlemciye yakınlaşıp uzaklaştığı gösterilmiştir.

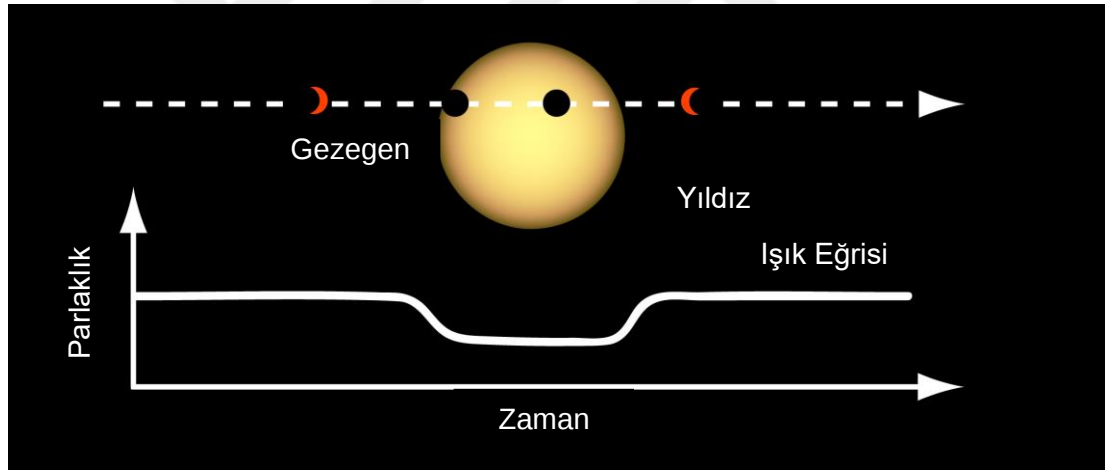


Şekil 5 Radyal Hız Yöntemi [18]

Radyal hız yöntemi, yıldızın sahip olduğu gezegenin minimum kütlesinin belirlenmesini sağlamaktadır. Net kütleyi hesaplayabilmek için sistemin yörünge eğiminin hesaplanabiliyor olması gerekmektedir. Bu yöntem ile keşfedilen gezegenlerin çoğu “Sıcak Jüpiter” sınıfında olmaktadır ve yıldızlarına çok yakın yörüngelerde dolanmaktadırlar. Bu yöntemle yörüngesinde bir gezegen keşfedilen ilk yıldız 51 Pegasi’dir. Lick Gözlemevi’nde 0,6m CAT ve 3m Shane teleskoplarından 325 gecelik tayfsal veriler sonucunda yıldızın bir gezegene sahip olduğunu ortaya koydu. Ancak yıldızla biraz daha uzak olan gezegenlerin kütle çekim etkisi daha düşük olacağından dolayı bu yöntemle keşfedilmeleri daha zor olmaktadır [19].

1.5.2. Geçiş Yöntemi

Bir yıldızın yörüngesinde dolanan gezegenin, gözlemci ve yıldız arasına girmesine geçiş denir. Şekil 6’da gösterildiği gibi geçiş sırasında yıldız ve gezegenin boyutuna bağlı olarak yıldızın akısında bir azalma gözlemlenir. Geçişler bakış doğrultusunda olmadığı sürece bu yöntemle gözlemlenemezler. Yörüngeleri yıldızına yakın gezegenlerin geçişleri, uzak olanlara kıyasla daha kolay tespit edilir.

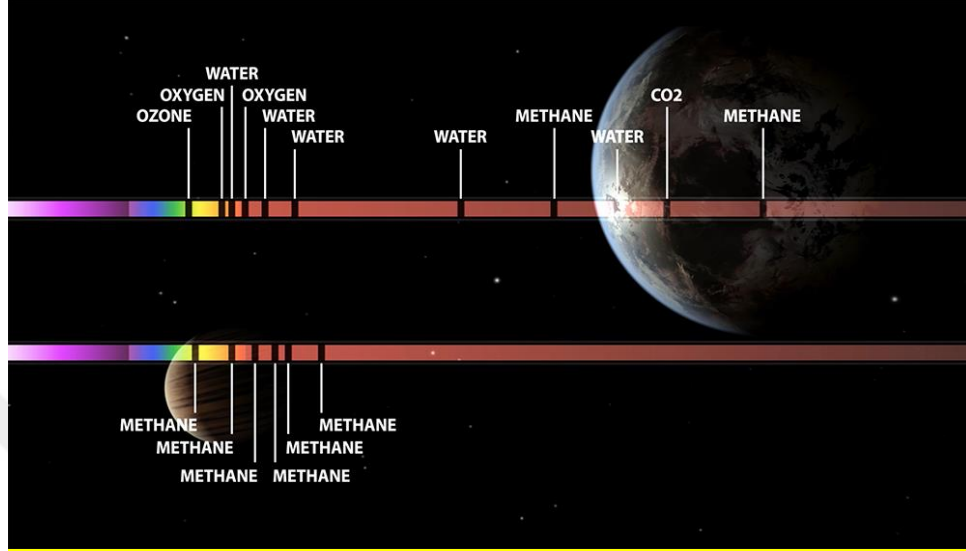


Şekil 6 Geçiş Sırasındaki Parlaklık Değişimi [20]

Işık miktarının ölçümlerini, yer tabanlı ışık gözlemlerde sıklıkla kullanılan CCD (Charge Coupled Device) denen alıcılar kullanılır. CCD alıcı ile yapılan ışık ölçümünün sinyal(S) gürültü(G) oranı, hedef yıldızın yeterince parlak olduğu durumlarda; $S/G = \sqrt{C_* t_b}$ denklemi kullanılabilir. Burada ki C_* hedef yıldızdan alıcıya saniye de gelen elektron miktarı, t_b ise biriktirme süresidir. Aynı yıldızı temel aldığımızda, buradaki süreyi (t_b) belirleyen etmen teleskobun boyutudur.

Örneğin; 10 kadir parlaklığa sahip bir yıldız 1m’lik bir teleskop ve ona bağlı CCD ile 600 s boyunca ölçüm alarak $25 \mu\text{e}^-$ /e duyarlılığına kadar ölçülebilir. Aynı yıldız aynı sürede 5m’lik bir teleskop ile gözlemlersek $5 \mu\text{e}^-$ /e gibi bir duyarlılığa kadar inilebilir [21].

Geçiş yöntemi, gezegenleri keşfetmenin yanı sıra o gezegenlerin atmosferleri hakkında da bilgi vermektedir. Işık bir prizmadan geçerse spektrumlarına ayrılır. Farklı renkler farklı dalga boylarına denk gelmektedir. Gezegen yıldızının önünden geçerken atmosfer ışığı spektrumlarına ayırır ve atmosferindeki gazlar bazı dalga boylarındaki ışıkları emerler.



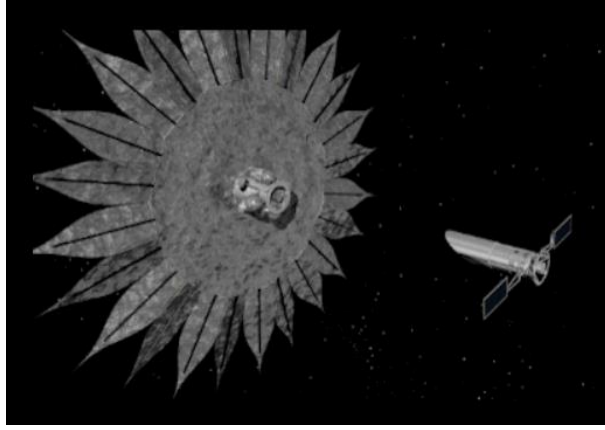
Şekil 7 Tayfta görülen kimyasal izler [15].

Şekil 7'de de gösterildiği gibi ölçümler sonucunda tayflarda bazı bölgelerin siyah olduğu gözlemlenir. Siyah bölgeler, gezegenin atmosferinde bulunan gaz ve elementler tarafından emilen renkleri göstermektedir. Bu yöntem ile 3275 adet onaylanmış ötegezegen keşfedilmiştir [22].

1.5.3. Doğrudan Görüntüleme

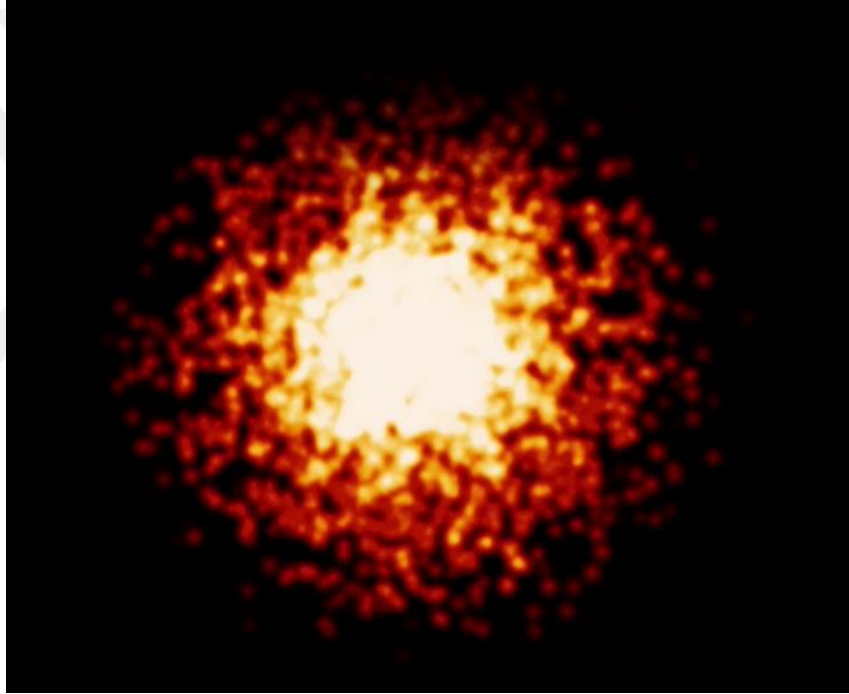
Gezegenler, yıldızından aldığı ışığı yansıtmaktadır. Yine de yıldızın ışığına oranla yansıtıkları ışık çok daha sönük kalmaktadır. Bu da fotoğraflanmasını oldukça zor yapmaktadır. Bu nedenle yeni teknikler geliştirilmiştir. Araştırmacılar, yıldızın ışığını engellemek için iki ana yöntemi kullanmaktadır. Bunlardan ilki koronografi tekniğidir. Bu yöntemde yıldızdan gelen ışığı engellemek için teleskobun içine yerleştirilmiş olan bir alet kullanılır. Koronograflar, yer tabanlı gözlemler için teleskopların içine dâhili olarak yerleştirilir.

İkinci olarak ise “Yıldız Gölgesi” denen yöntem kullanılır. Atmosfer dışı teleskoplarında kullanılan bir yöntem olan yıldız gölgesi; teleskoba uygun mesafede açılarak yıldızın ışığını engelleyen bariyer bir güneş gözlüğü görevi görmektedir. Bu bariyer yıldızın ışığını engelleyerek sistemindeki gezegenlerin kızıl ötesi ışınlamalarını gözlemlemede kullanılır. Şekil 8’de yıldız gölgeleme tekniği simüle edilmiştir.

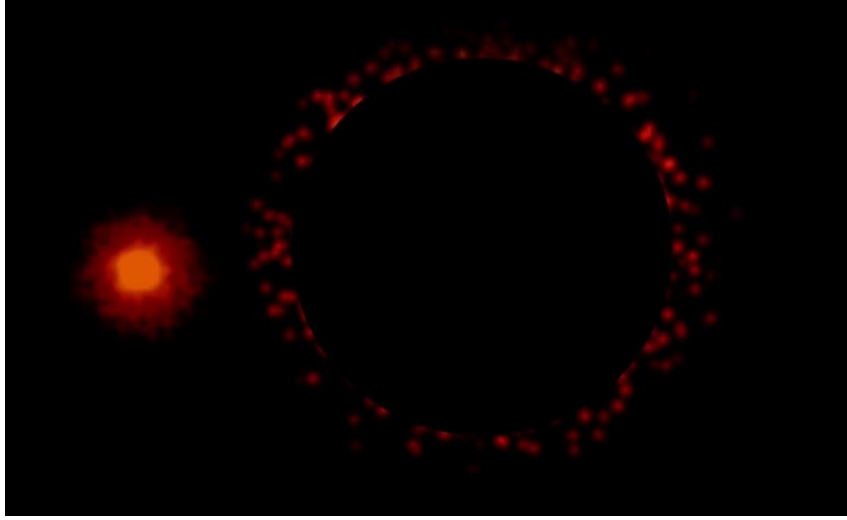


Şekil 8 Yıldız Gölgeleme Örneği [23]

Büyük ışık kaynağı engellendiğinde; yıldızının ışığını yansıtacak gezegenler belirlenebilir. Şimdiye kadar bu yöntemle 51 adet ötegezegen keşfedilmiştir [23]



Şekil 9 Yıldız Işığının Gölgelemenmeden Öncesi [23]



Şekil 10 Yıldız Işığının Gölgelelendikten Sonrası [23]

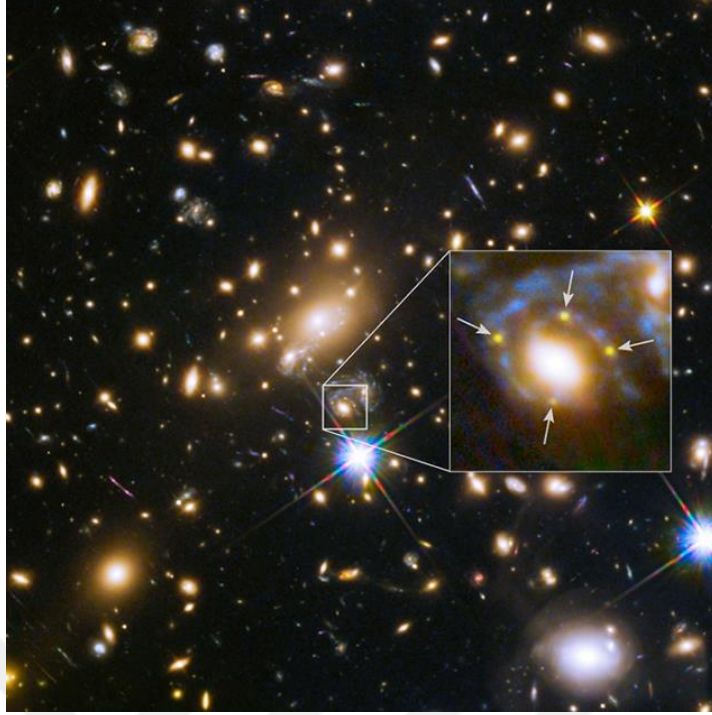
Yıldızın ışığı engellendiği zaman, barındırdığı ötegezegenler kendisini belli etmektedir (Şekil 9 ve 10).

Bir kahverengi cüce olan 2M1207'nin etrafında dönen 2M1207 b ötegezegeni, bu yöntemle keşfedilen ilk ötegezegen olmuştur. Bu yöntemle keşfedilen 51 gezegenin neredeyse hepsi gaz devleridir [24].

1.5.4. Kütleçekimsel Merceklenme

Einstein'ın genel görelilik kuramına göre, uzaydaki kütleler yerçekimi alanı oluşturmak için uzay-zamanı bükerek ve büyük kaynaklardan gelen ışığında bükülmesine neden olur. Kütleçekimsel merceklenme, bir yıldız ya da gezegenin daha uzaktaki başka bir cismin ışığını geçici olarak daha parlak gözükecek şekilde odaklayıp bükmesiyle gerçekleşir. Merceklenme olayı bir ay gibi uzun gözlem süresinde kademeli olarak ışık miktarı artıp sonrasında kaybolan bir yıldız gibi gözükmektedir. Eğer bir gezegen, merceklenirse bu parlatma ve kaybolma olayı kısa bir aydınlanma olarak gözükür. Bu yöntemle şimdiye kadar 105 gezegen keşfedilmiştir [25].

Merceklenme etkisi ne zaman gerçekleşeceği belli olmayacağından dolayı uzunca süre gökyüzü parça parça incelenmek zorundadır. Merceklenen cisim ile gözlemci aynı doğrultuda olduğunda mercekleyen cismin etrafında halka şeklinde gözlemlenir. Bu olay ilk olarak 1924 yılında fizikçi Orest Chwolson tarafından bahsedilmiş ve 1936 yılında Albert Einstein tarafından hesaplanmış ve kayıtlara Einstein halkası olarak geçmiştir [26].

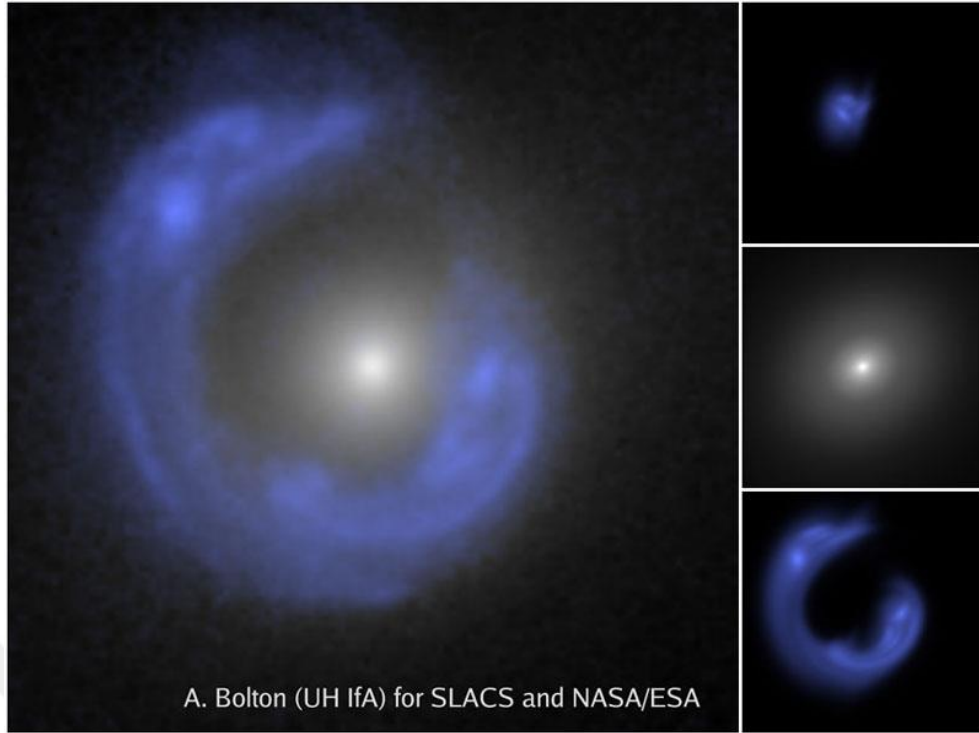


Şekil 11 Bir Galakside Gerçekleşen Süpernova Patlamasının Merceklenmesi [27]

Merceklenme yöntemi, galaksilerde gerçekleşen olaylar hakkında araştırmacıları bilgilendirmektedir. Şekil 11’de bir galaksi, arkasında gerçekleşen süpernova patlamasını mercekleyerek gözlemlenmesini sağlamıştır.



Şekil 12 Önde Bulunan Büyük bir Galaksi Arkasındaki Quasarın Işığını Merceklemektedir [28]

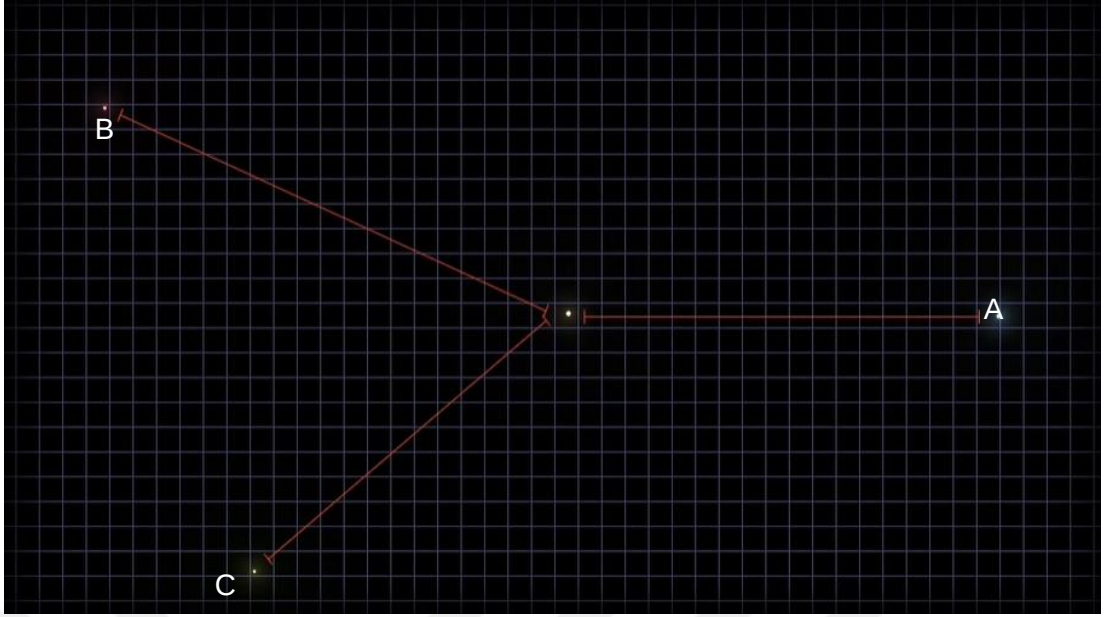


Şekil 13 Önde Bulunan Beyaz Bir Galaksi, Arkasındaki Mavi Galaksiyi Merceklemektedir [29]

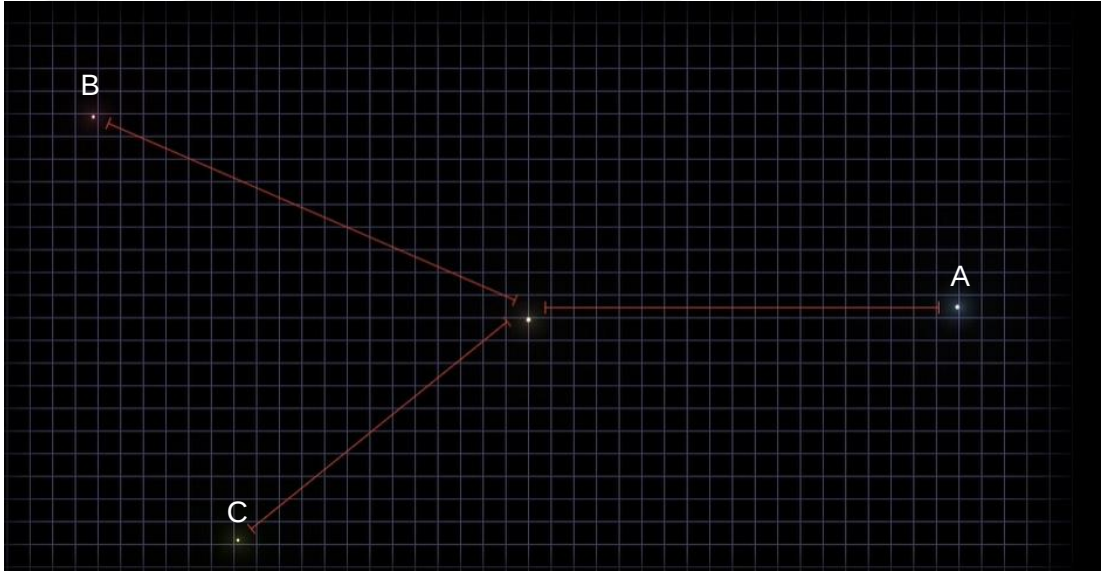
Merceklenme etkisini daha iyi hesaplamak için aynı cisim farklı teleskoplar ile birkaç farklı noktadan gözlemlenmektedir. Araştırmacılar, merceklenmeyi birden fazla teleskop ile iki ayrı noktadan gözlemleyerek konumu hakkında bilgi sahibi olmak için paralaks etkisinden yararlanılır [30].

1.5.5. Astrometri

Radyal hız yöntemi, yalpalanan yıldızları bulmak için kullanılan tek yöntem değildir. Bu yalpalama, yıldızların görünür konumlarındaki değişiklikler olarak ta fark edilebilir. Bu yalpalanma ya da salınım hareketini incelemek için araştırmacılar, o yıldıza yakın diğer birkaç yıldızı temel alarak belli aralıklarla düzenli olarak incelemekte ve fotoğraflamaktadırlar. Her fotoğrafta, temel alınan diğer yıldızlar ile incelenen yıldız arasındaki mesafeyi karşılaştırılmaktadır. Eğer yıldızın konumu diğer yıldızlara göre hareket etmişse, bu hareket ötegezegene sahip olduğunun işareti olabilmektedir. Bu durumda araştırma için o yıldız incelemeye alınır ve diğer yöntemler ile tekrar incelenebilir [31].



Şekil 14 İncelenen Yıldızın Belirlenen Noktalara Göre Simülasyon Üzerindeki İlk Konumu [31].



Şekil 15 İncelenen Yıldızın Belirlenen Noktalara Göre Simülasyon Üzerindeki İkinci Konumu [31].

Şekil 14 ve 15'deki simülasyon örneklerinde A,B ve C noktalar yıldızları, ortadaki nokta ise hedef yıldız temsil etmektedir. Hedef yıldız Şekil 14'te 'A' yıldızına daha yakinken, Şekil 15'te 'C' yıldızına daha yakındır. Yıldız yalpalanma sırasında konumundaki değişiklik ölçülebilmektedir.

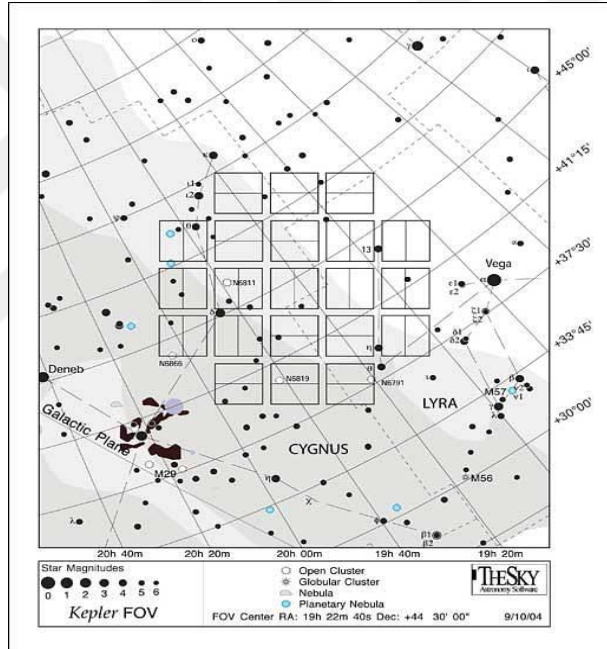
1.6. Kepler Uydusu ve Gözlemleri

Güneş sistemi dışındaki gezegenleri araştırmak için tasarlanan Kepler, yaşanabilir bölge içinde veya yakınındaki karasal ötegezegenleri ve bu ötegezegenlere sahip olan yıldızları incelemek için özel olarak tasarlanmıştır. Kepler'in

ilk görevinin amacı, Samanyolu galaksisindeki yıldız sistemlerinin yapısını ve çeşitliliğini araştırmaktır.

Kepler bir yıldızları incelerken, yıldızların parlaklıklarındaki düşüşleri belirleyerek ötegezegenleri aramaya çalışır. Bu azalmalar belirlendiğinde, ötegezegenin yörüngesi, yörünge süresi ve yıldızın kütlesini kullanarak hesaplanır. Ötegezegenin boyutu ise, geçiş derinliği ve yıldızın boyutundan bulunur. Ötegezegenin yörüngesinden ve yıldızın türünden de gezegenin sıcaklıkları ile ilgili bilgiler elde edilir.

Geçişler kısa sürdükleri için yıldızların sürekli izlenmesi gerekmektedir. Parlaklıkları birkaç saatte bir ölçülmelidir. Yıldızları sürekli olarak gözlemlemek için görüş alanının (FOV) engellenmemeli ve en yüksek yıldızla sahip olan bölge olmalıdır. Bu nedenle de şekil 16'da gösterildiği gibi Cygnus ve Lyra takımyıldızlarının olduğu bölge seçilmiştir [32].

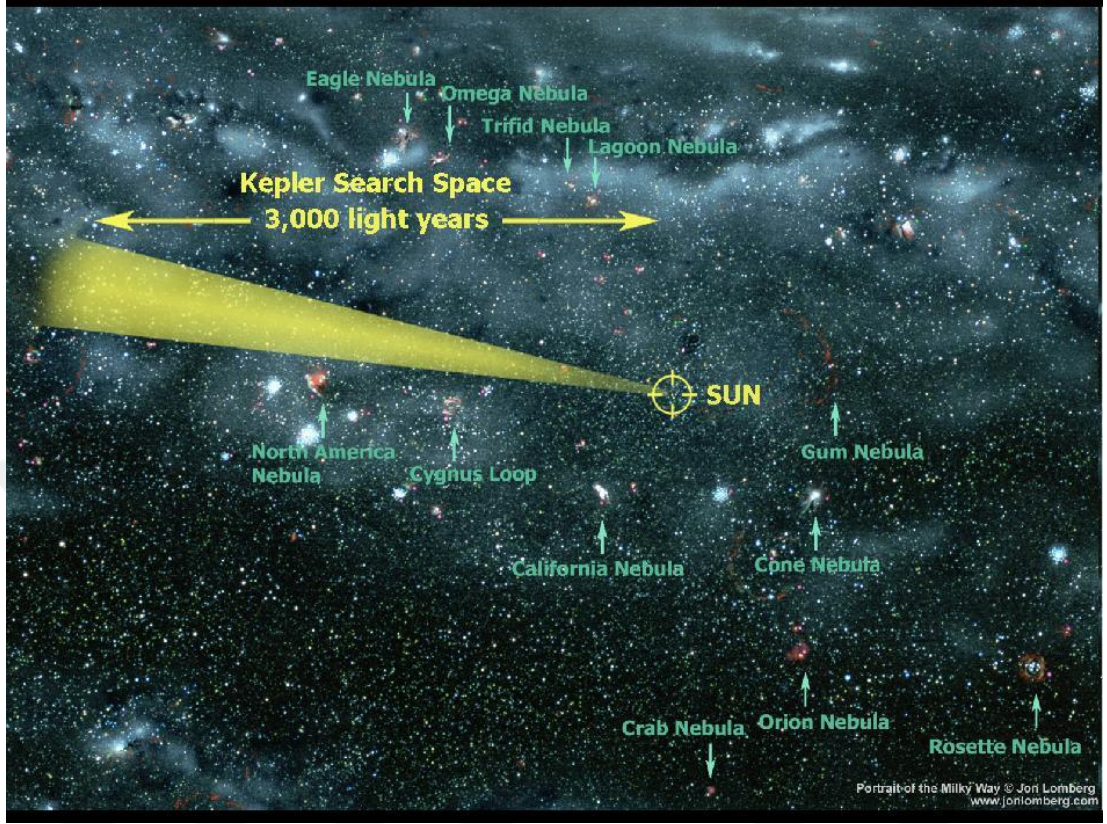


Şekil 16 Keplerin Gözlem Alanı [33]

Kepler ilk görevi boyunca 2814 adet kesinleştirilmiş, 3257 adette aday ötegezegen keşfetmiştir. 2013 yılında Kepler'in iticilerinden ikisi arızalandıktan sonra mühendisler K2 adlı ikinci görevi planlamışlardır.

K2 görevinde Kepler, ötegezegenler ile birlikte süpernovalar gibi diğer olayları da gözlemlemiştir. Bu görev sırasında Kepler bakış doğrultusunda üç aya kadar sabit kalıp görüntü almıştır. Yer teleskopları, süpernovaların değişimlerini inceleyebilir. Kepler ise yıldızın nasıl ve neden patladığını, patlamanın ilerleme aşamalarını incelemiştir. Bu nedenle araştırmacılar K2 görevi sayesinde süpernovalar ile ilgili daha ayrıntılı bilgilere ulaşmışlardır [34].

9 yıllık görev süresi boyunca 100.000'den fazla yıldızın parlaklıklarını ışıkölçer yardımı ile gözlemleyip geçiş hareketlerini inceledi. NASA teleskobun iticilerinin yakıtının tükenmesi sonucu 30 Ekim 2018'de görevini sonlandırdı [35].

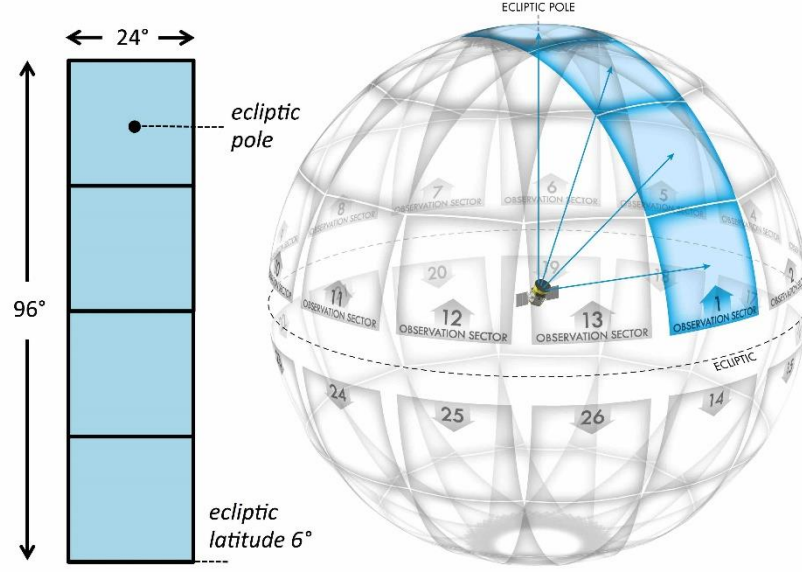


Şekil 17 Kepler Uydu Teleskobunun Bakış Doğrultusu [36].

Şekil 17'de Samanyolu Galaksisinin nasıl görüldüğü tasvir edilmiştir. Tasvirde sarı koni ile keplerin bakış doğrultusu gösterilmiştir. Yaklaşık 3000 IY mesafeyi gözlemlemiştir.

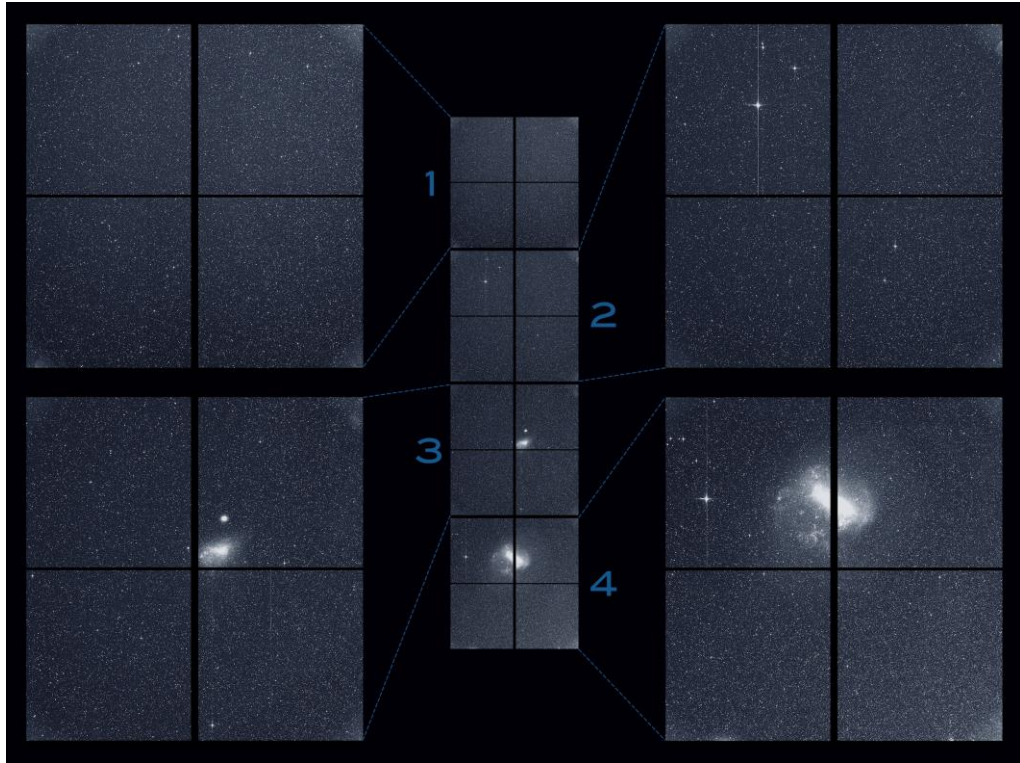
1.7. TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) Uydusu ve Gözlemleri

TESS uydusu, gökyüzündeki parlak yıldızları ve yörüngelerindeki gezegenleri incelemek için tasarlanmıştır. TESS uydusu geçiş yöntemini kullanarak aday ötegezegen sistemleri için veriler elde etmektedir. Bir gezegen yıldızının önünden geçerken, yıldızın ışığını bir miktar kapatır ve yıldızın ışığında azalma meydana getirir. Bu azalmaları inceleyerek yıldızın kaç gezegene sahip olduğu, gezegenin büyüklüğü, gezegenin türü, gezegenin yıldızına olan uzaklığı ve gezegenin atmosferi hakkında bilgiler elde edilir. 2 yılda bu uydu teleskobu 66 onaylanmış 2100'de aday gezegen bulmuştur.



Şekil 18 TESS'in Gökyüzünü Ayırdığı Sektörler [37].

Şekil 18'te temsil edildiği gibi, TESS ilk görev sırasında, üstündeki dört gelişmiş kamera ile gökyüzünü 26 bölgeye ayırarak taramıştır. Şekil 19'daki gibi bu kameralarla bakış açısındaki her yıldızı bir ay kadar izleyip her 2 dakika da bir parlaklıkları ölçerek incelemiştir [38].



Şekil 19 TESS'in Dört Kamerasından Gelen İlk Görüntünün Birleşik Görüntüsü [39].

TESS, yıldız ve gezegenleri incelemek için geçiş yönteminden yararlanır. TESS bakış doğrultusundaki yıldızların geçiş yörüngelerini inceler ve ışık eğrilerini analiz eder. İlk görevinde TESS, ilk olarak gök kubbenin ekvator bölgesinde dünya yarıçapının 2,5 katı olan ve yörünge periyotları on günden fazla olan gezegenleri araştırmak için 200,000 yıldızı incelemiştir. Daha sonra gök kubbenin kutup bölgelerindeki yıldızları ve periyotları 120 güne kadar uzayan ötegezegenleri inceledi.

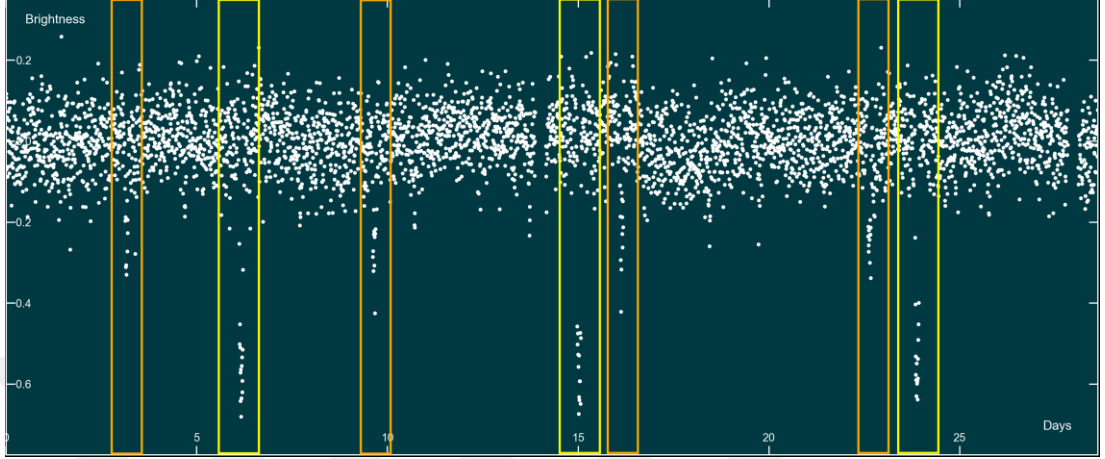
Genişletilmiş görevi yaklaşık 2 yıl daha sürecek olan TESS, sektörleri biraz daha ayrıntılı olarak inceleyecek ve yeni verilerini paylaşacaktır [39].

TESS uydusu verileri iki şekilde halka sunulmaktadır. Bunlardan ilki Planet Hunters TESS vatandaş bilim projesidir. Çok fazla sayıda veri olduğundan ötegezegen keşiflerinin daha hızlı yapılabilmesi için ve aynı zamanda bilimin yaygınlaştırılması için Planet Hunters TESS vatandaş bilim projesi ile TESS'in topladığı orijinal verilerin bir kısmı çeşitli zamanlarda Zooniverse sitesi üzerinden araştırmacılara ve halka sunulmaktadır. TESS uydu verilerinin olduğu ikinci yöntem ise, daha çok profesyonel araştırmacıların kullandığı bilimsel veri tabanlarıdır.

1.8 Planet Hunters TESS Projesi

Zooniverse, araştırma için desteklenen ve kullanılan en büyük platformlardan birisidir. Bu platformda araştırmacılara yardımcı olmak için dünya çapında milyonlarca gönüllü, sunulan verileri incelemektedir. Böylece daha hızlı şekilde daha çok veri incelemeyi mümkün kılmaktadır. Zooniverse, projeleri incelemek için uzmanlığa, eğitime ya da özel bir özgeçmişe sahip olmasına gerek duymadan isteyen herkese projelerini sunmaktadır. İsteyen herkes bu araştırmaları evinden, ofisinden kendi bilgisayarları ile yapabilmektedir. Zooniverse'te ilgi alanlarına uygun olarak birçok çalışma bulunmaktadır. Bu alanlardan biri de astronomidir. Zooniverse'nin tüm verileri halka açık şekilde yayınlanmaktadır ve bu verilere Zooniverse'nin kendi sitesi üzerinden erişmek mümkündür. Herkese açık olan bu veriler ticari amaç güdülmediği sürece yazılı bir izne gerek duyulmadan herkes tarafından incelenip kullanılabilir. Zooniverse'te Planet Hunters TESS projesi de yer almaktadır. TESS ölçtüğü hedef kaynak verilerini bu proje kapsamında sisteme yüklemektedir. Katılımcılar sisteme yüklenen kaynakların ışık eğrilerindeki azalmaları inceleyerek gezegene sahip olup olmadığı hakkında araştırmalarda bulunabilmektedir. Sistem, katılımcılara örnek olması amacıyla ilk olarak simülasyon verileri sunarak pratik yapmalarını ve bilgi sahibi olmalarını sağlamaktadır. Ardından çeşitli zamanlarda gelen yeni veriler üzerinden katılımcılar, yıldızların gezegene sahip olup olmadığını ışık eğrilerine

bakarak incelemektedir. Aynı proje ve yıldız farklı kişiler tarafından da incelenebilmektedir. Bu sistem üzerinde, yeni araştırmacılar için öğretici olması amacıyla simülasyon verileri ile alıştırımlar yapılmaktadır. Simülasyon verileri üzerinden yanlış ya da doğru yapılan noktalara değinilerek araştırmacıların öğrenimini kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda merak edenler için ek açıklamalarda sunmaktadır.

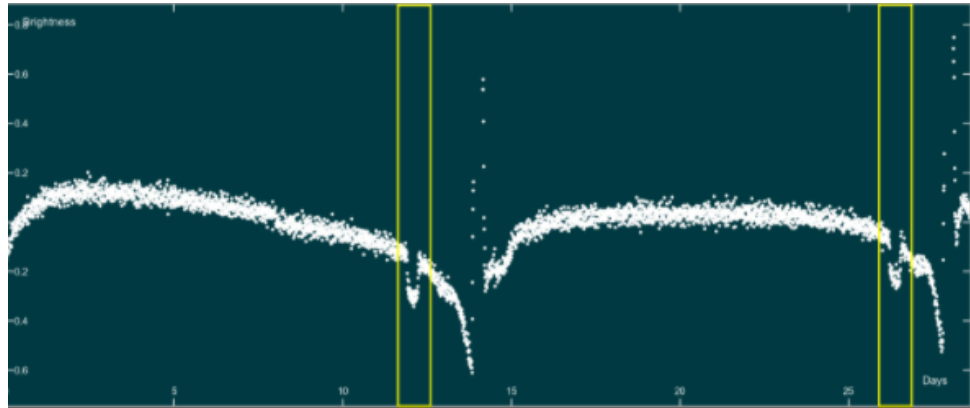


Şekil 20 Planet Hunters TESS Çoklu Gezegen Geçiş İşığ Eğrisi Simülasyon Örneği [40].

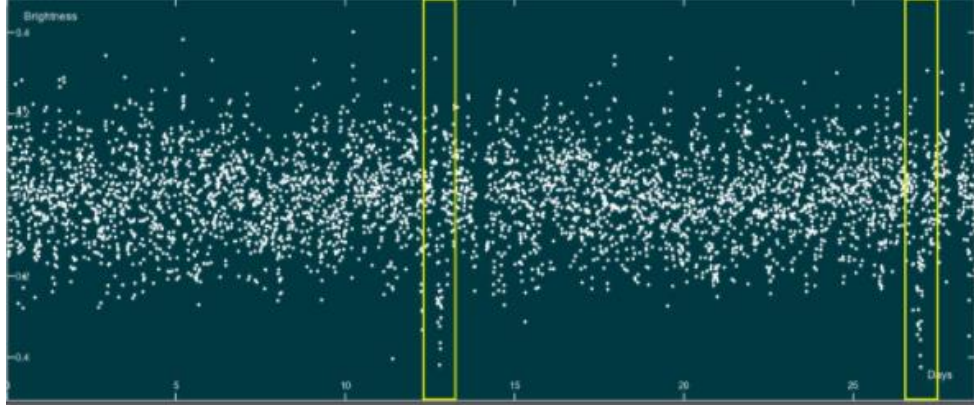
Bir ışık eğrisinde çoklu gezegen geçişinin nasıl görüleceği Şekil 20'deki simülasyon örneğinde gösterilmiştir. Bu örnekte geçiş yapan gezegenler, geçiş yaptığı sırada yıldızın ışık miktarındaki azalmalar gözlemlenerek seçilmektedir.

Planet Hunters TESS projesinde verileri incelerken dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar; yıldız türleri, tekli ya da çoklu yıldız sistemleri, bir veya birden çok gezegene sahip olmaları, geçiş yörünge süreleri ve sistemden kaynaklanan problemlerdir [40].

Yörünge süresi kısa olan gezegenler gösterilen Şekil 20'de birden çok kez geçiş yapar ve ışık eğrisinde azalmaya sebep olur. Yörünge süresi ne kadar kısa ise geçişte tabloda o kadar sık tekrarlanır. Şekil 21'deki simülasyon örneğinde, bir aylık gözlem sırasında iki kez geçiş yapan bir ötegezegen gösterilmiştir.



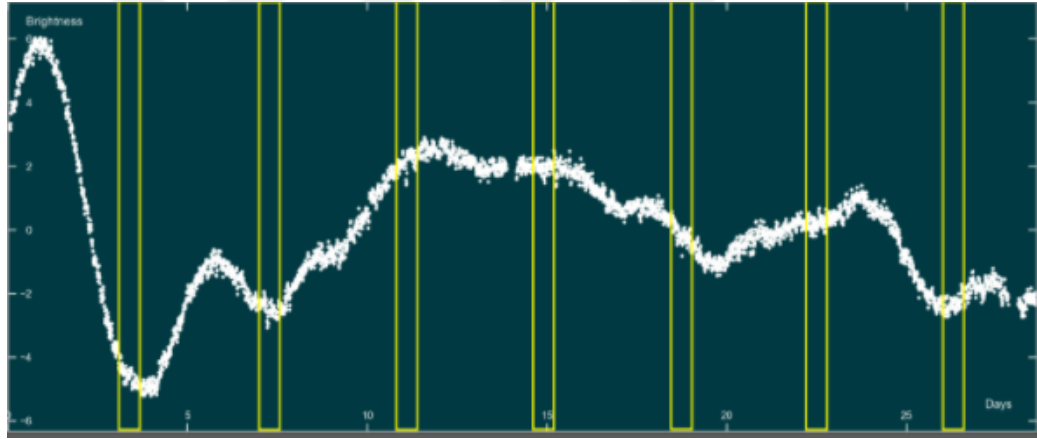
Şekil 21 Planet Hunters TESS Tekrarlanan Gezegen Geçiş İşığ Eğrisi Simülasyon Örneği [40].



Şekil 22 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 1 [40].

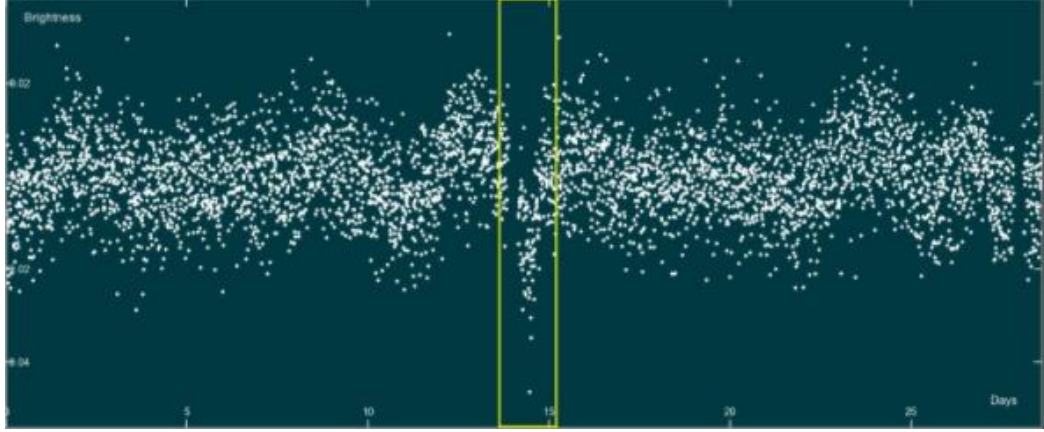
Bazı durumlarda geçişi belirlemek biraz daha karmaşık olabilmektedir. Şekil 22’de verilen örnekte geçişi bulmak biraz daha zor olabilir. Bunun gibi örneklerde, Şekil 21’deki gibi ışık eğrisindeki azalma belirgin bir “U” şekli göstermez.

Her gezegenin yıldızında yaptığı ışık azalması aynı miktarda değildir. Gezegenin kütlelerine bağlı olarak etkilediği azalma miktarı da değişiklik göstermektedir. Şekil 23’teki örnekte oldukça küçük bir gezegen geçişi gösterilmiştir.



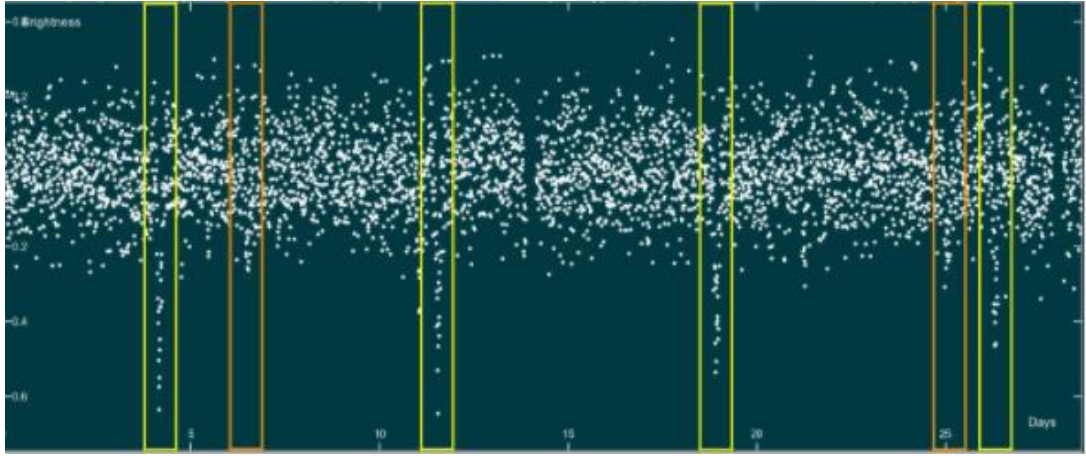
Şekil 23 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 2 [40].

TESS bakış doğrultusundaki yıldızları bir ay boyunca gözlemler. Ancak bazı gezegenlerin geçiş periyotları bir ay ya da daha fazla sürebilmektedir. Bu yüzden de geçişin karşılaştırılabileceği başka bir azalma gözlenmeyebilir (Şekil 24).



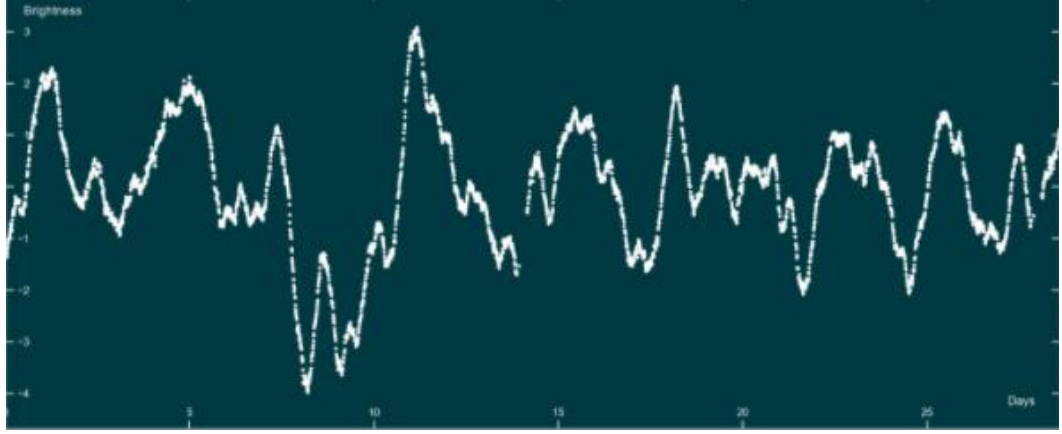
Şekil 24 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 3 [40].

Her gezegen yıldızının etrafında tek başına dönmeyebilir. Bazı yıldız sistemleri birden çok gezegene ev sahipliği yapar. Bu farklı gezegenlerin yaptığı geçişlerin derinlikleri birbirlerinden farklı olacaktır. Şekil 25'teki örnekte iki gezegene ev sahipliği yapan bir yıldız örnek gösterilmiştir. Sarı çizgi ile belirtilen geçiş ilk gezegen, turuncu ile belirtilen geçiş ise ikinci gezegeni göstermektedir. Burada da görüldüğü gibi geçiş derinlikleri birbirlerinden farklıdır. Bu da gezegenlerin mesafeleri ve boyutu hakkında bilgi vermektedir.



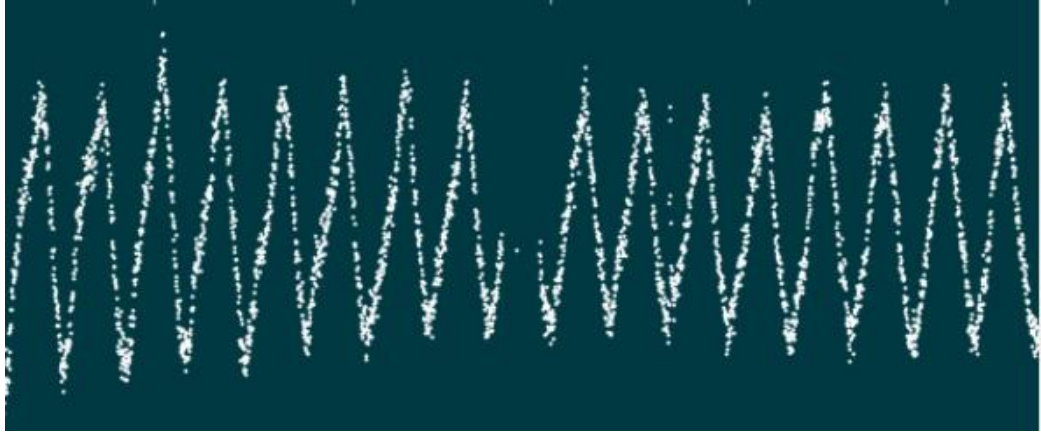
Şekil 25 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 4 [40].

Yıldızlarda oluşan lekeler, yıldızın geri kalan kısmına kıyasla daha sönük olmaktadır. Yıldız kendi etrafında dönerken bu lekeler de aynı şekilde dönmektedir. Bu nedenle yıldız gözlemlenirken bu değişimler de gözlenebilir. Işık eğrilerinde yıldız lekelerinden dolayı oluşan artma ve azalmalar daha pürüzsüz olmaktadır (Şekil 26).

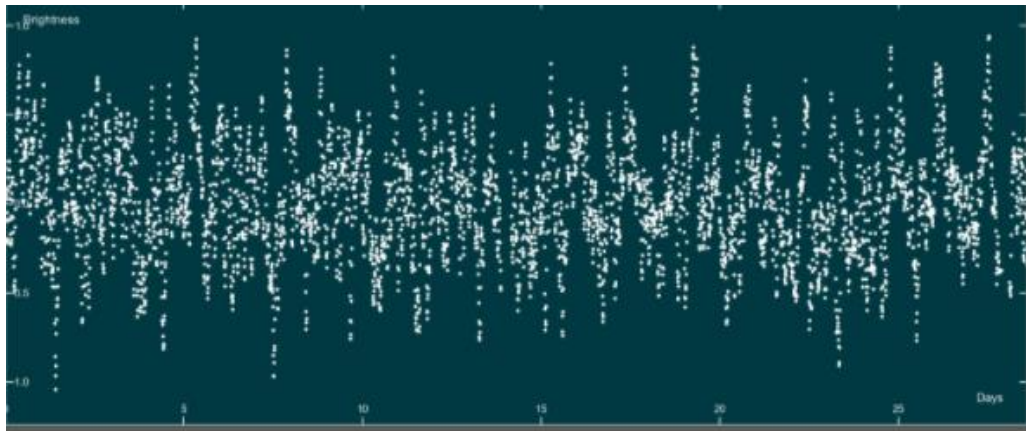


Şekil 26 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Simülasyon Örneği 5 [40].

Yıldızlardan kaynaklanan ve ışık eğrisini etkileyen diğer etmen ise yıldızın türüdür. Atarcılar (Pulsarlar) çok süratli döndükleri için parlaklıkları düzenli olarak artıp azalır. Bu artış ve azalışlar çok hızlı gerçekleştiği için gezegen geçişlerinin fark edilmesini daha da zorlaştırır. Aşağıda Şekil 27 ve Şekil 28 örnek olarak gösterilmiştir. Şekil 28'deki atarca örneğinin dönüş hızı daha fazla olduğundan ışık miktarındaki artış ve azalış nedeni ile geçişi gözlemlemek zorlaşmaktadır.

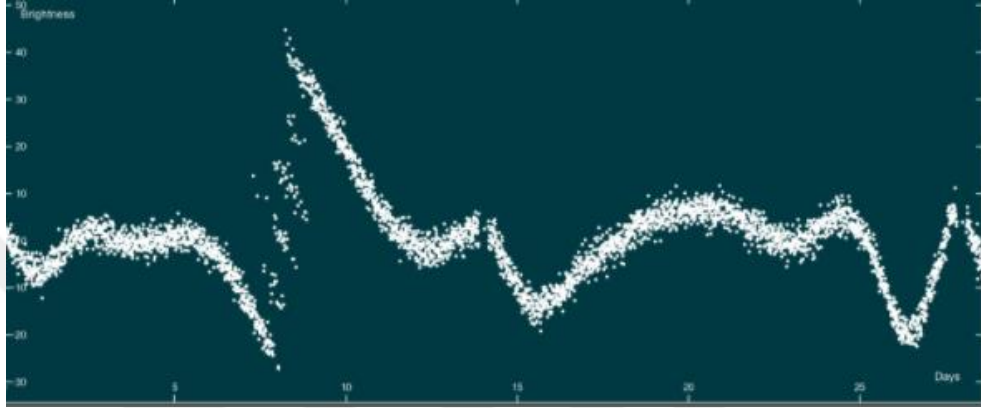


Şekil 27 Planet Hunters TESS Yavaş Atarca Işık Eğrisi Simülasyon Örneği [40].

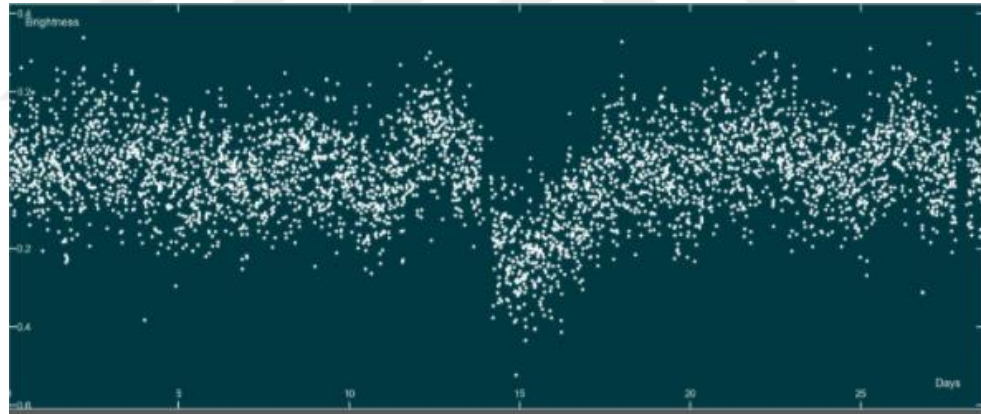


Şekil 28 Planet Hunters TESS Hızlı Atarca Işık Eğrisi Simülasyon Örneği [40].

Yukarıdaki etkiler dışında sistemlerden kaynaklanan bazı hatalarda geçişleri belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Bu hatalara nelerin sebep olduğu henüz bilinmemektedir. Teleskoptan kaynaklı hatalarda ışık eğrisinde ani bir sıçrama olabilir (Şekil 29). Bazı durumlarda ise hatalar verileri dünya üzerindeki işlem merkezlerine yollanırken gerçekleşir. TESS yön değiştirirken tekrar odaklanma sırasında verilerde hatalara yol açabilmektedir (Şekil 30). Tüm bu hatalar geçiş gözlemlemeyi zorlaştırabilmektedir. Gezegen geçişleri “U” benzeri derinliğe neden olurken, sistematik hatalar “V” şeklinde derinliğe neden olabilmektedir.



Şekil 29 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Sistematik Hata Örneği 1 [40].



Şekil 30 Planet Hunters TESS Işık Eğrisi Sistematik Hata Örneği 2 [40].

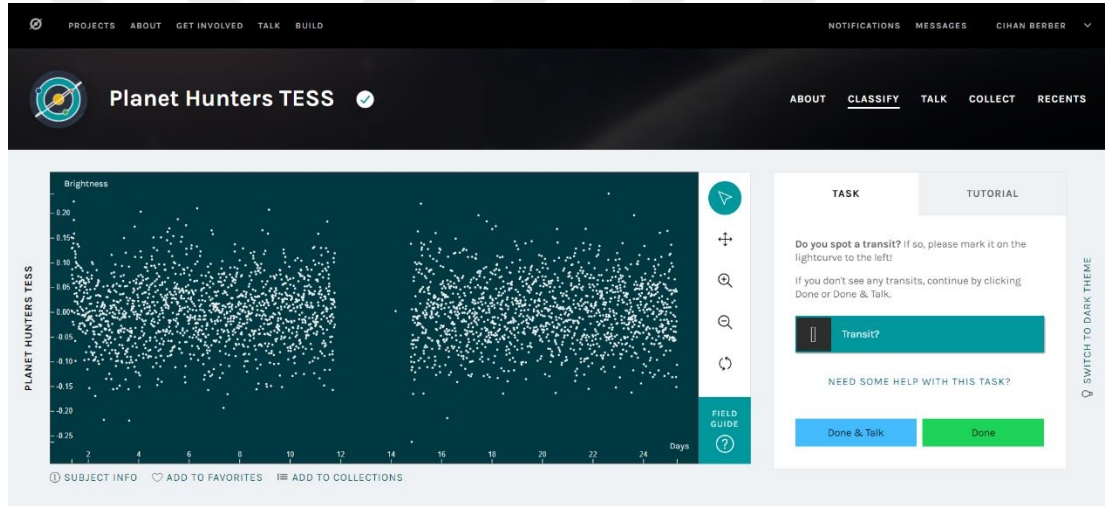
2. YÖNTEM

Bu çalışmada, ötegezegen gözlemleri için kullanılan TESS uydu teleskobunun verileri kullanılmıştır. Öncelikle hem TESS uydu verilerine aşina olmak, hem de aday ötegezegen geçiş gözlemlerine indirgemesi hakkında tecrübe sahibi olmak için Planet

Hunters TESS proje verileri kullanılmıştır. TESS uydusu verilerinin görünümü ve analizi konusunda pratik edindikten sonra profesyonel araştırmacılar için sunulan ham verilerin bulunduğu veri tabanlarından faydalanılmıştır. Her iki veri üzerinde de ötegezegen sisteminin özelliklerinin belirlenmesi için 1.5.2’de anlatılan geçiş yöntemi kullanılmıştır.

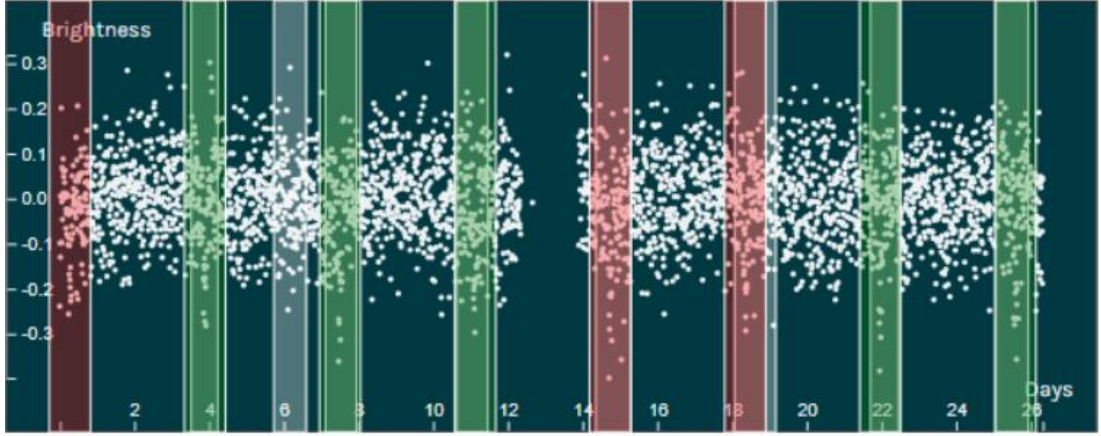
2.1. Planet Hunters TESS Projesi Simülasyon Verilerinin incelenmesi

Planet Hunters TESS projesi verilerine ulaşmak için Zooniverse sitesi üzerinden bir kullanıcı hesabı oluşturulur. Projenin “Classify” sayfasındaki çevrim içi interaktif ölçüm aracı kullanılarak gelen ışık eğrileri üzerinde olası geçiş alanları işaretlenir. Bu işlem sırasında yukarıda 1.8’de bahsi geçen konulara dikkat edilmesi gereklidir.



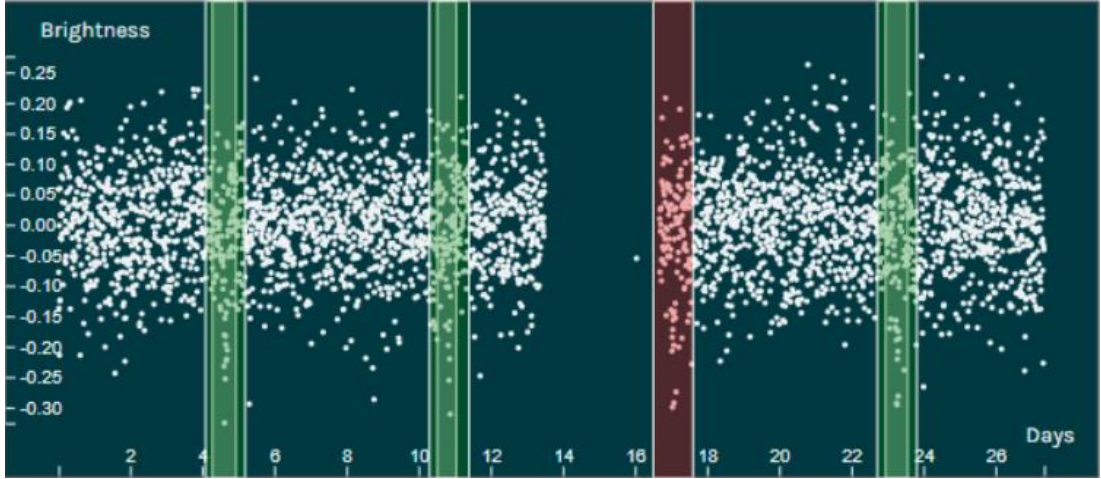
Şekil 31 Planet Hunters TESS Projesi Çevrimiçi İnteraktif Ölçüm Ara Yüzü

Bu çalışmada uydu verileri kullanımından önce simülasyon verileri üzerinde çalışma yapılmıştır. Projede verilen simülasyon verileri, yeni katılımcılar için sistemin sunduğu verilerdir. Bu verilerde, olası geçişler işaretlendikten sonra sistem tarafından katılımcının simülasyon verileri üzerinde yaptığı yanlışlar, doğrular ve varsa eksiklikler gösterilir. Böylece orijinal verilerde daha az hata yapılması için bir çeşit eğitim yapılmış olur. Simülasyon verileri, araştırmacılara tecrübe kazandırarak normal uydu verilerin incelenmesi sırasındaki hataları daha az seviyeye indirmektedir. Aşağıdaki beş simülasyon verisi görüntüsü proje sayfasına giriş yapılan dönemde sunulan simülasyon verileridir.



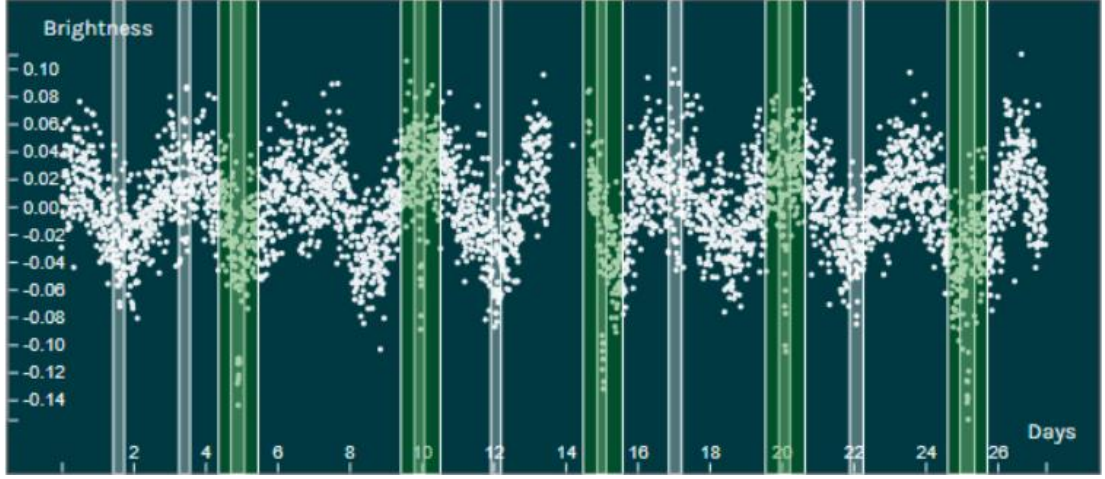
Şekil 32 Simülasyon Verisi 1

Yukarıda Şekil 32'deki ilk simülasyon verisinde sekiz geçişten yalnızca beş geçiş doğru olarak işaretlenmiştir. Şekil 32'deki yeşil çubuklar doğru geçişleri, kırmızı çubuklar kaçırılmış geçişleri ya da geniş işaretlenmiş geçişleri göstermektedir. Gri çubuklarda ise olmayan bir geçiş işaretlendiği ifade edilmektedir. Birinci gündeki işaretlenmemiş geçişin nedeni, azalmaların sistematik bir hatadan kaynaklandığını düşünerek işaretlenmemiştir. Diğer bir yanlış ise altıncı gündeki gri çubuktur. Geçiş olmayan bir yerin işaretlendiği belirtilmektedir. Açık kırmızı renklerdeki hatalar ise geçiş aralığının yanlış belirlendiğini ve olması gerekenden daha dar işaretlendiğini göstermektedir.



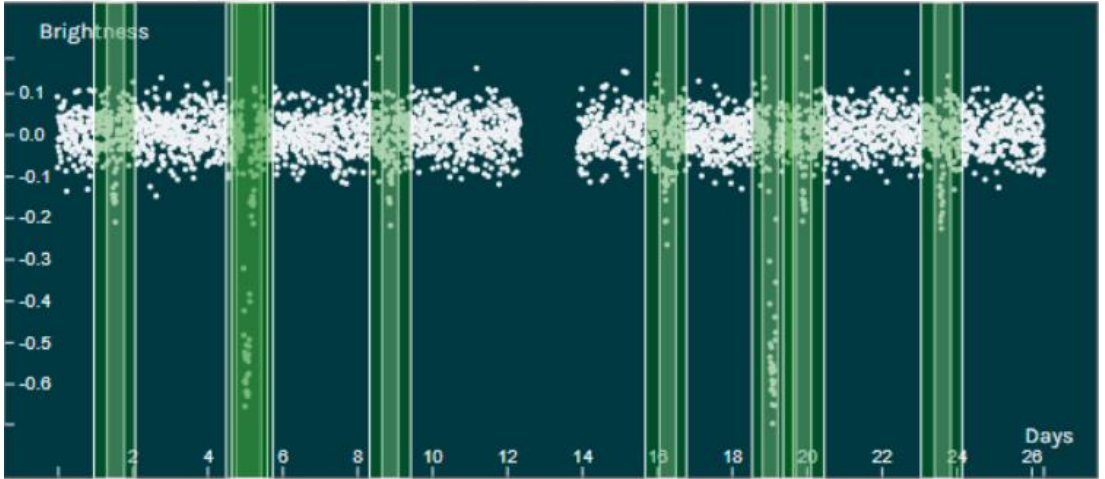
Şekil 33 Simülasyon verisi 2

Şekil 33'teki simülasyon verisinde dört geçişten üçü doğru yerde belirlenmiştir. Geçiş periyodu altı gün olan bu gezegen örneğinde üçüncü geçiş, gözlem yapılmayan günlerden sonra geldiği için sistematik bir hatadan kaynaklandığı varsayılarak işaretlenmemiştir.



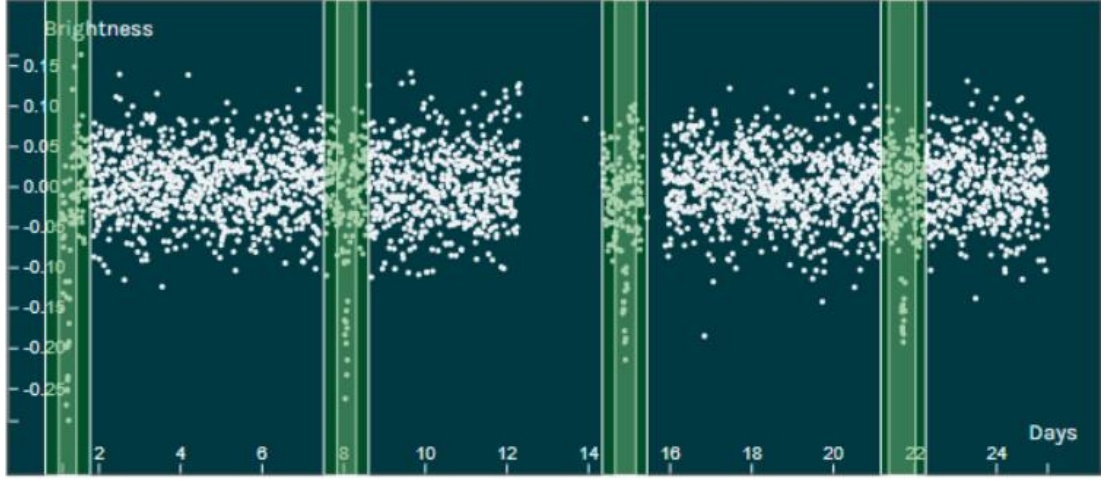
Şekil 34 Simülasyon Verisi 3

Şekil 34 simülasyonunda geçiş periyodu beş gün olan gezegenin beş geçişi de doğru olarak işaretlenmiştir. Gri çubuklarda ise geçiş olmayan azalmalar işaretlenmiştir.



Şekil 35 Simülasyon verisi 4

Şekil 35'deki simülasyonda iki gezegene sahip bir yıldız örneği verilmiştir. Sekiz geçişin tamamı da doğru işaretlenmiştir. Şekil 35'te yedi adet çubuk gözükmesine karşın sekiz geçiş bulunmaktadır. İkinci geçişin gerçekleştiği beşinci günde, iki gezegende aynı zamanda yıldızın önünde bulunmaktadır. İlk gezegen daha küçük olup geçiş periyodu yaklaşık dört gün, diğer gezegen ise daha büyük olup periyodu on dört gündür.



Şekil 36 Simülasyon Verisi 6

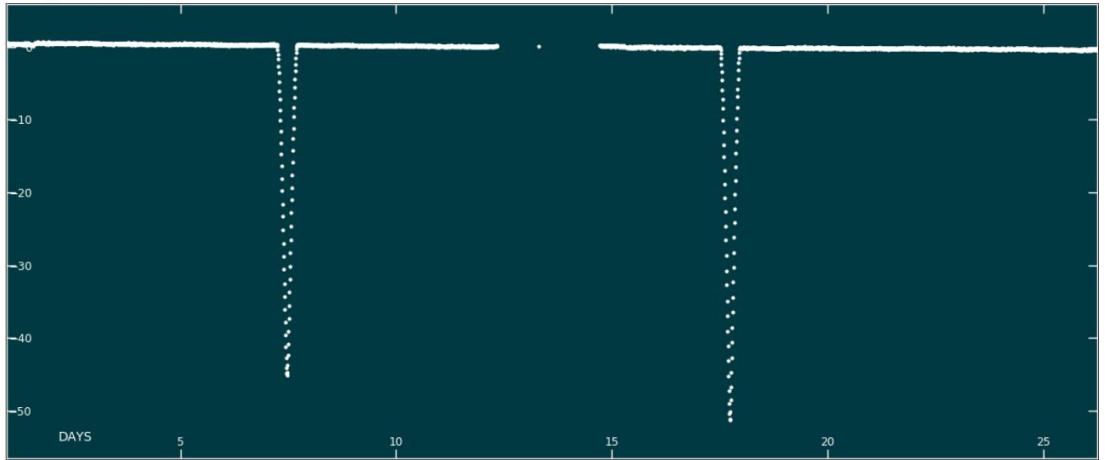
Şekil 36'teki simülasyon verisinde bir aylık gözlem döneminde dört geçiş yapan bir gezegen örneği verilmiş ve dört geçiş de doğru işaretlenmiştir.

Yukarıdaki simülasyon verileri ile yapılan incelemeler sırasında gezegen geçişlerinin bulunması konusunda hata sayısının giderek azaldığı ve geçişlerin belirlenmesindeki başarının arttığı görülmektedir.

2.2. Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verilerinin incelenmesi

Planet Hunters Projesi içerisindeki orijinal TESS Uydu verileri, simülasyon örneklerinde başarı gösteren araştırmacılara sunulan gerçek uydu verileridir. Bu veriler başarılı olan her araştırmacı tarafından incelenebilmektedir. Aynı veriler birden çok araştırmacıya sunulur ve araştırmacılar bu veriler altında bilgilerini paylaşabilir ve tartışabilmektedir. Bu çalışmada da 112 adet hedef yıldız sisteminin ışık eğrileri incelenmiş olup bir kaçı aşağıda gösterilmiştir.

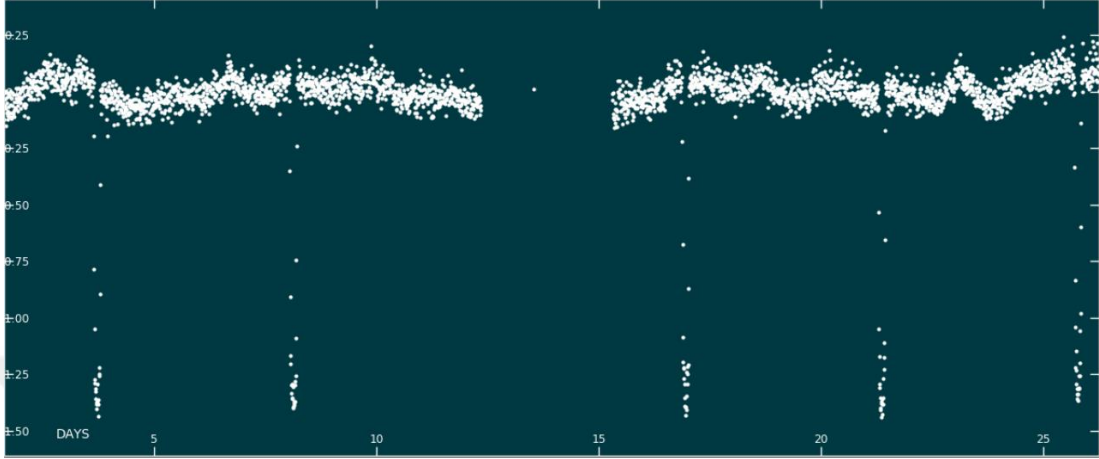
Subject 34090955



Şekil 37 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 1

Şekil 37'deki 34090955 numaralı kaynağın uydu verisinde bir çift yıldız sistemi örneği gözükmemektedir. Çift yıldız sistemi olduğu, ışık miktarındaki azalmadan belli olmaktadır. Işık miktarındaki azalma derin bir “V” şeklinde olması bunun bir örten çift yıldız sistemi olduğunu göstermektedir.

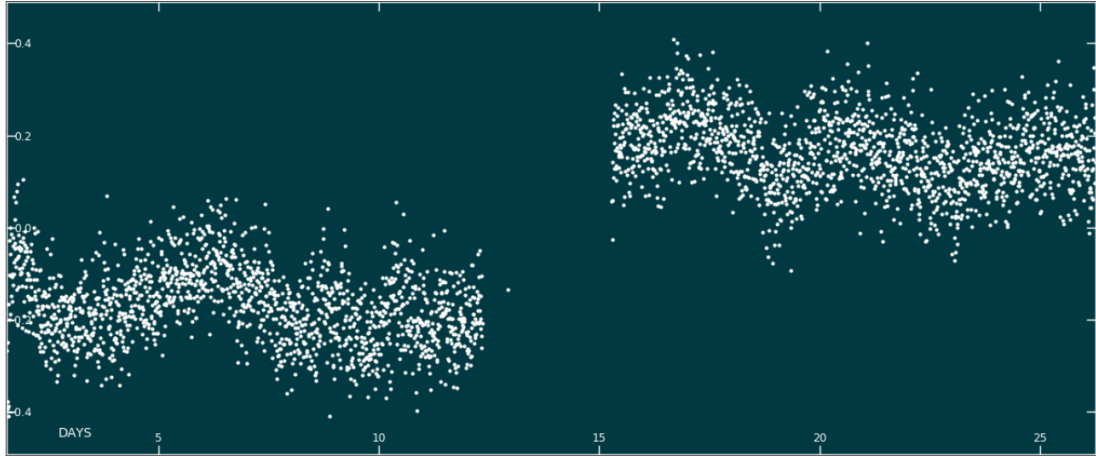
Subject 34092802



Şekil 38 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 2

Şekil 38'deki 34092802 numaralı kaynağın uydu verisinde olası bir gezegene sahip bir yıldız sistemi olduğu görülmüştür. Bu yıldız sistemindeki yıldızın 1,3 güneş yarıçapına sahip olduğu ve yüzey sıcaklığının da 6300K olduğu TESS arşivinde verilmiştir. Şekil 38'de aday gezegenin yaklaşık beş günlük bir geçiş periyoduna sahip olduğunu gözükmemektedir. Şekil 38'de beş geçiş gözüksede gezegen bir aylık gözlem süresinde 6 geçiş yapmaktadır. Gözükmeyen geçiş ise teleskobun gözlem yapmadığı üç gün içerisinde olmalıdır. Geçişin derinliğine bakıldığında gezegenin boyutu hakkında bilgi sahibi olunabilir.

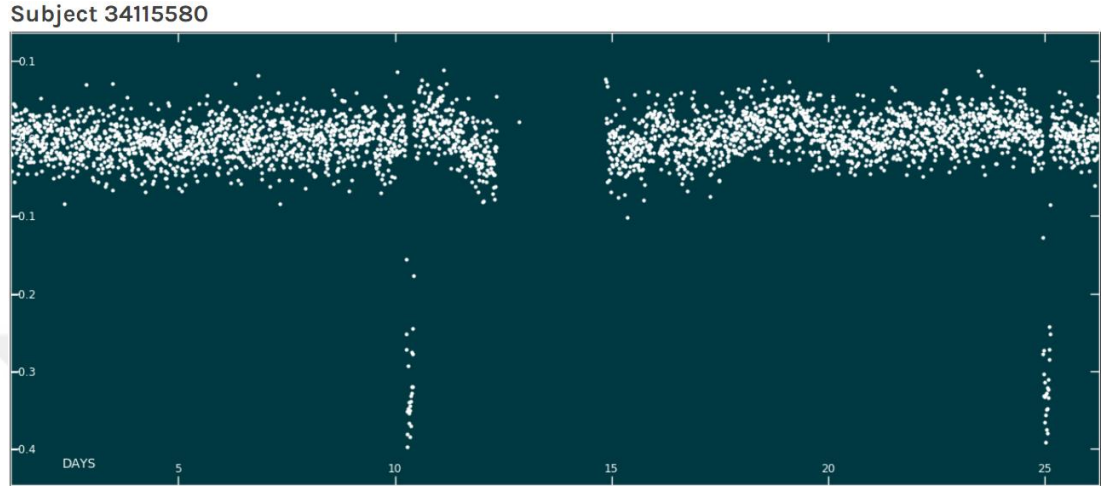
Subject 34089627



Şekil 39 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 3

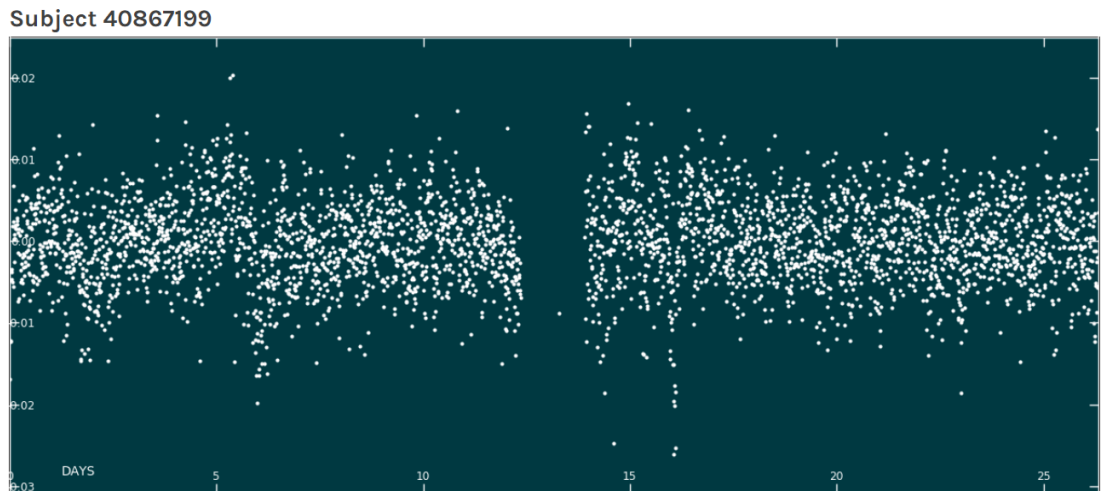
Şekil 39'da 34089627 numaralı kaynağın ışık eğrisinde yüksek oranda gürültü ve şeklin ortasındaki kırılmadan görüldüğü gibi sistematik bir hata da bulunmaktadır.

Bu tür gürültü ve sıçrama geçişlerin belirlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır. 1,2 güneş yarıçapına sahip olan bu yıldız 10. sektörde yer almakta ve yüzey sıcaklığı yaklaşık 6400K olarak verilmektedir. 23. güne dikkat edildiğinde potansiyel bir geçişin olduğu gözükabilmektedir. Ancak kirlilikten ve hatadan dolayı bundan emin olunamaz.



Şekil 40 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 4

Şekil 40'taki 34115580 numaralı kaynağın ışık eğrisi geçiş periyodu yaklaşık 15 gün olan olası bir gezegene sahip yıldız sistemini göstermektedir. Yüzey sıcaklığı yaklaşık TESS arşivlerine göre 6500K olan bu yıldız 10. sektörde yer alıp 1.8 güneş yarıçapına sahiptir.

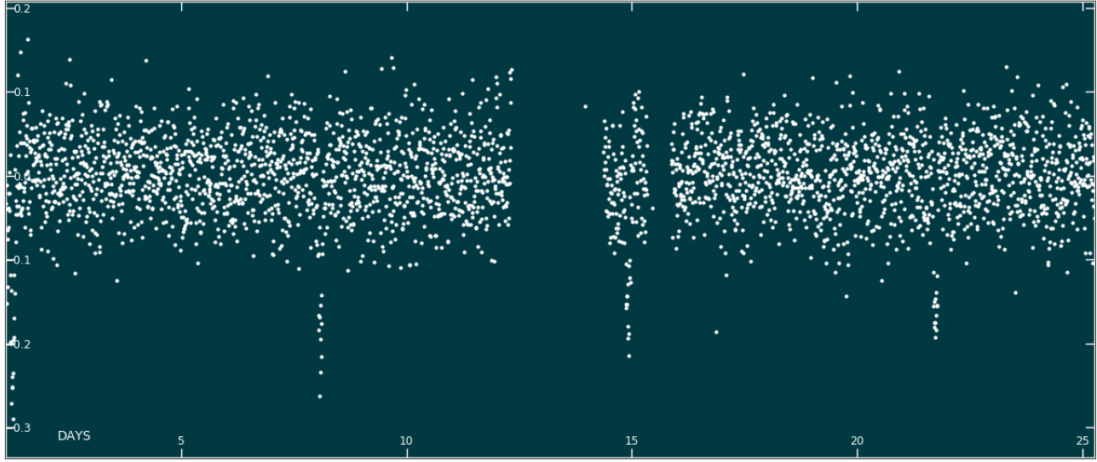


Şekil 41 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 5

Şekil 41'deki 40867199 numaralı ışık eğrisinde 6 ve 16. günlerde olası gezegen geçişleri gözlenmiştir. TESS arşiv verisine göre 20. sektörde yer alan bu

yıldız sistemi yaklaşık 9150K yüzey sıcaklığına sahip olup, yarıçapı 1,9 güneş yarıçapına sahiptir.

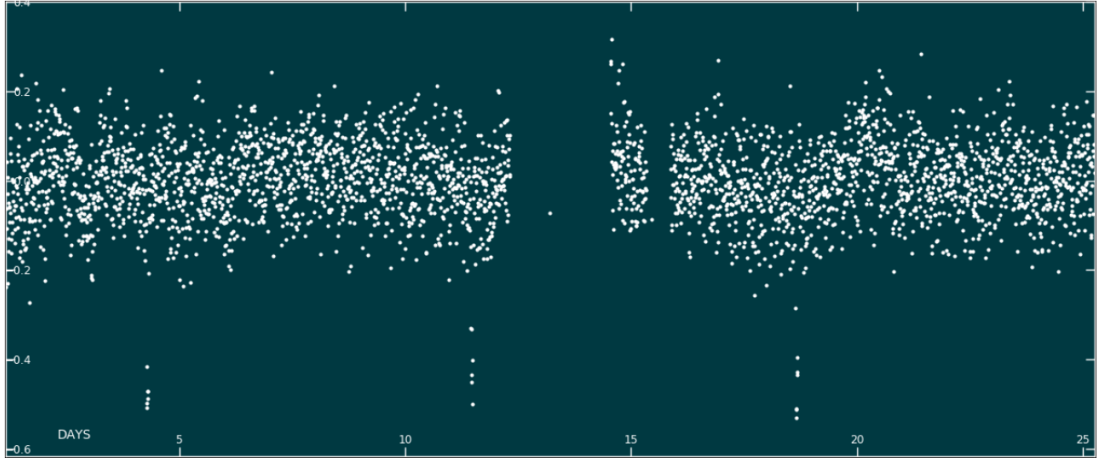
Subject 41424873



Şekil 42 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 6

Şekil 42'deki 41424873 numaralı ışık eğrisine bakıldığında potansiyel tek gezegenli yıldız sistemi görülmektedir. TESS arşiv verilerine göre 9. sektörde yer alan bu yıldız 6130K yüzey sıcaklığına sahip olup, 1,3 güneş yarıçapındadır. Geçiş periyodu yaklaşık 7-8 gün olan bu potansiyel gezegen 4 geçiş göstermiştir. 1-8-15 ve 22. günlerde geçiş göstermiştir.

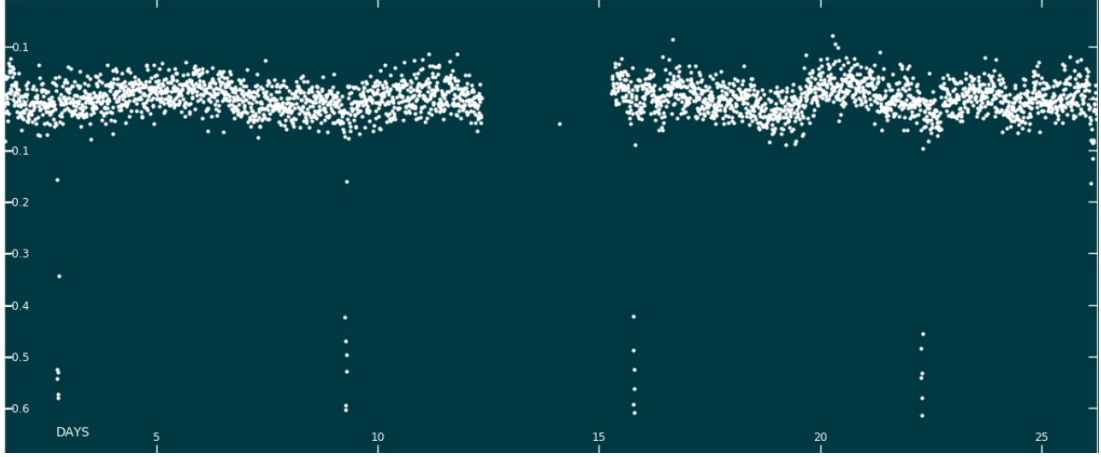
Subject 41424233



Şekil 43 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 7

Şekil 43'teki 41424233 numaralı kaynağın ışık eğrisinde potansiyel bir gezegenli yıldız sistemi görülmektedir. TESS arşivlerine göre 9. sektörde yer alan bu yıldız, yukarıdaki örneklerden çok daha küçük boyuttadır. 3850K yüzey sıcaklığına sahip olup 0,56 güneş yarıçapındadır. Ortalama 8 günlük bir geçiş periyoduna sahip olan potansiyel gezegen, 4-11 ve 19. günlerde geçiş göstermiştir.

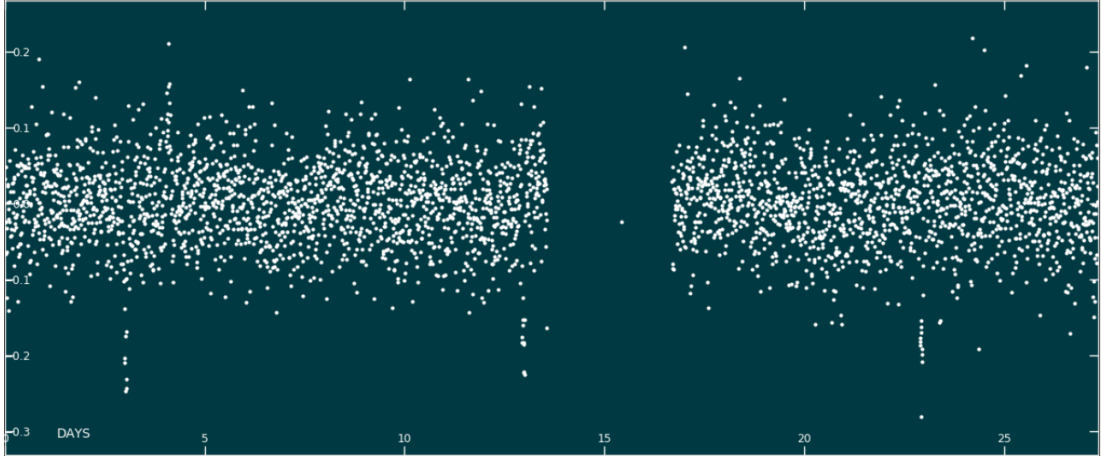
Subject 34113695



Şekil 44 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 8

Şekil 44'deki 34113695 numaralı kaynak olası iki gezegene sahiptir. TESS arşiv verilerine göre sektör 10'da yer alan bu yıldız 1,040 güneş yarıçapına sahip olup yüzey sıcaklığı 5440K'dir. Olası gezegenlerden biri 4 geçiş göstermiştir. 2-9-16 ve 23. günlerde geçiş gösteren olası ilk gezegen yıldızına daha yakın olup, diğer gezegenden daha büyüktür. Diğer olası gezegen geçişi ise 26. günde yer alan azalmadır. Bu azalmaya neden olan muhtemel diğer gezegen ise yıldızına uzak olup ilkine kıyasla biraz daha küçüktür.

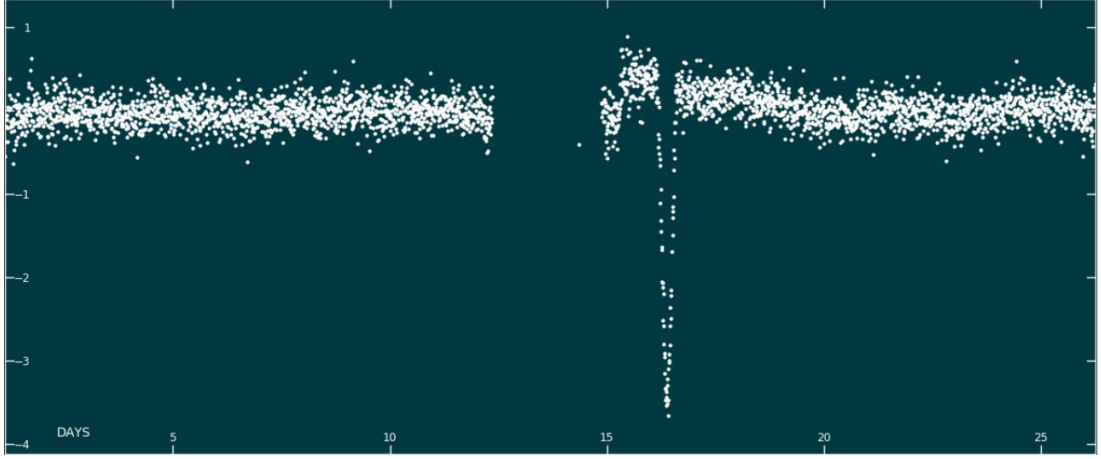
Subject 41020347



Şekil 45 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 9

Şekil 45'teki 41020347 numaralı kaynak olası tek gezegene sahip yıldız sistemine aittir. Veriler biraz gürültülü olsa da geçiş periyodu yaklaşık 10 gün olan olası bir gezegen geçişi gözükmemektedir. TESS arşiv verilerine göre 21. sektörde yer alan bu yıldızın yüzey sıcaklığı 5500K ve yarıçapı neredeyse güneş ile aynıdır. Muhtemel gezegenin geçişleri 4-14 ve 24. günlerde gerçekleşmiştir.

Subject 34095393



Şekil 46 Planet Hunters TESS Projesi Uydu Verisi 10

Şekil 46'daki 34095396 numaralı kaynakta ikili yıldız sistemi örneği bulunmaktadır. TESS arşiv verisine göre sektör 10'da yer alan bu yıldız 6700K sıcaklığa sahip olup, yaklaşık 1,2 güneş yarıçapına sahiptir. Işık eğrisindeki azalma derin bir "V" şeklinde olduğu için bir gezegen geçişi değil örten ikili yıldızdır.

Planet Hunters TESS projesindeki çevrim içi interaktif ışık eğrisi analiz aracı kullanılarak toplamda 112 farklı kaynağa ait ışık eğrisi incelenmiş ve varsa gezegen geçişleri işaretlenerek Planet Hunters TESS proje yönetimine gönderilmiştir. Bildirilen gezegen geçişleri proje yönetimi tarafından diğer yöntemlerle de doğrulandıktan sonra keşfe yaptığımız katkı olursa tarafımıza bildirilecektir. Yukarıda örnekleri verilen orijinal uydu verileri analizinin devamına aşağıdaki linkten ulaşılabilir. Cihnn00 kullanıcı altında listelenen 112 farklı kaynağa ait ışık eğrisi bu çalışmada incelenen uydu verileridir.

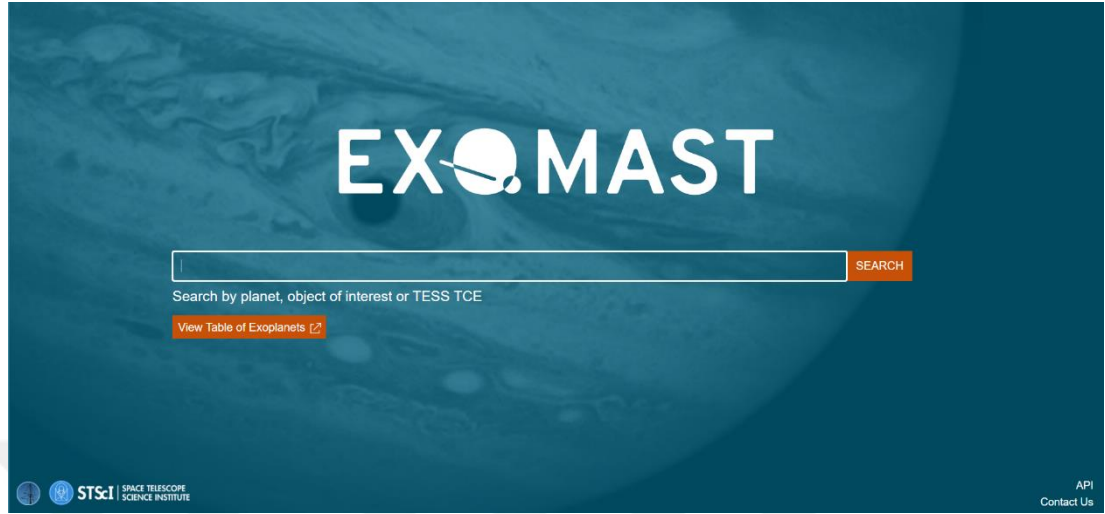
<https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-tesse/collections/cihnn00/data-1>

2.3 exo.MAST Veri Tabanı:

Planet Hunters TESS proje verilerinin incelenmesinden sonra daha çok profesyonel araştırmacılar için TESS arşiv verilerinin sunulduğu exo.MAST veri tabanından faydalanılarak ham veriler indirilmiştir.

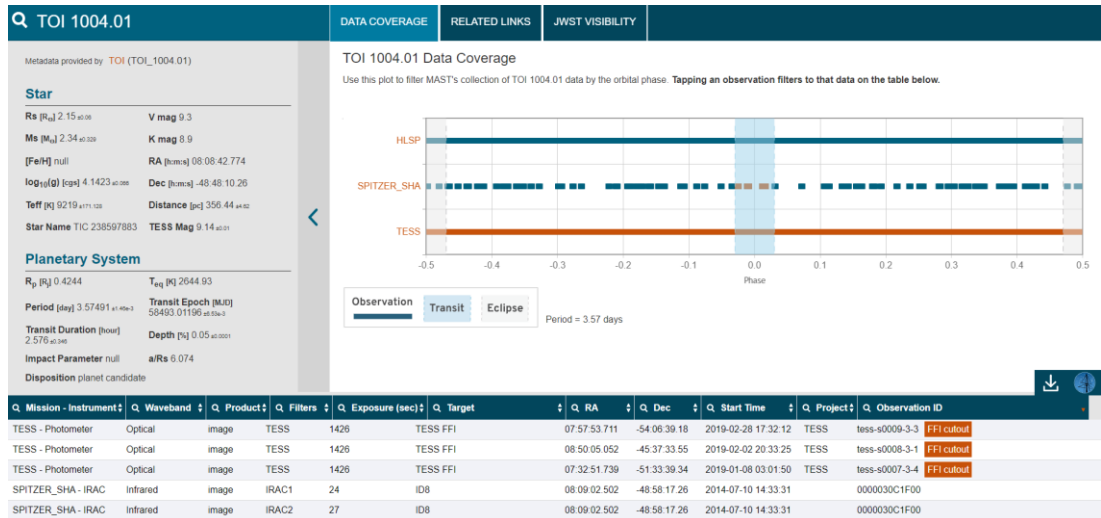
STScI' deki Mikulski Uzay Teleskopları Veri Arşivi (MAST), ötegezegen verilerinin incelenmesi için yeni bir web arşivi olan exo.MAST' ı sunmaktadır. MAST, Kepler, K2 ve TESS için bir arşivdir. exo.MAST, TESS ve Kepler tarafından keşfedilen geçiş verilerini alır, geçiş modelinin incelenebilir ve yakınlaştırılabilir çizimlerini sunar. JWST ile tespit etmeye çalışılan ötegezegenlerin sınıflandırılması sağlanır.

exo.MAST web arşivinin giriş sayfasında basit bir arama çubuğu yer almaktadır (Şekil 47). Bu arama çubuğu yardımı ile detaylı arama yapılarak Kepler veya TESS' in geçiş verilerine ulaşılabilir.



Şekil 47 exo.MAST Giriş Sayfası [41]

Arama sonucunda ulaşılan hedef kaynağın sayfası üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan ilki sayfanın sol kısmında yer almaktadır. Bu kısımda yıldızın özellikleri ve gezegen hakkında bilgiler verilmektedir. İkinci kısımda yıldızın veri grafiği ve geçiş tablosu bulunmaktadır. Bu bölgede gözlemlenmek istenen yıldızın ilgili bağlantıları, JWST görüntüsü, TESS ışık eğrisi gibi ekstra bölümler de yer almaktadır. Son bölümü ise sayfanın alt kısmında yer almaktadır (Şekil 48). Bu kısımda incelenen yıldızın, alınan veri bilgileri yer almaktadır. Bu bilgiler, yıldız verilerinin hangi teleskopla, hangi dalga boylarında alındığı, pozlama süresi gibi bilgiler yer almaktadır [41][42].



Şekil 48 exo.MAST Arama Sayfası [41]

2.4. Hedef Yıldız Seçimi

Bu çalışmada exo.MAST veri tabanından TOI (TESS Object of Interest) kataloğu indirilmiştir. Bu katalog incelenerek, yarıçaplarına ve Güneşe olan benzerliklerine göre 15 adet aday yıldız belirlenmiştir (Tablo-1). Bu aday yıldızlar teker teker exo.MAST veri tabanında aratılmış ve TESS uydu verileri incelenmiştir. Güneş'in yarıçapına ve sıcaklığına yakın olması açısından ve exo.MAST veri tabanındaki uydu verilerine bakıldığında yüksek sinyal/gürültü oranına sahip verileri olduğundan aday yıldızlar arasından TOI 126.01 (TIC 70440470) seçilmiştir.

Tablo 1 Ötegezegen Aday Yıldız Listesi

YILDIZ SİSTEMLERİ	YILDIZ YARIÇAPI (R _{Güneş})	V BANDI PARLAKLIĞI (Kadir)	YILDIZIN YÜZEY SICAKLIĞI (°K)
TOI 1499.01	-	11,6	3686
TOI 1469.02	0.75	5,6	4884
TOI 1773.01 (55 Cnc e)	0,94	6	5172
TOI 1236.01	0,85	11,4	5230
TOI 108.01	0,89	13,9	5523
TOI 780.01	0,83	11,6	5545
TOI 354.01	1,41	11,9	5767
TOI 1165.01	1,00	10,3	5899
TOI 126.01(TIC 70440470)	1,07	13,4	5957
TOI 2128.01	1,13	7,2	5991
TOI 144.01	1,10	5,7	6037
TOI 480.01	1,50	7,3	6213
TOI 150.01	1,53	11,4	6255
TOI 554.01	1,43	6,9	6338
TOI 2221.01	0,70	8,8	-

2.5. TIC 70440470 Yıldızın Özellikleri

Yıldızın farklı kataloglarca; TIC (TESS Input Catalog) 70440470, TOI (TESS Object of Interest) 126.01, Gaia DR2 970584887167977216 kimlikleri ile adlandırılmıştır. Simbad'taki literatür taramasına bakıldığında bu yıldız hakkında daha

önce hiçbir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Şekil 49'da bu kaynağın Aladin Gökyüzü Atlas'ındaki görüntüsü gösterilmiştir. Bu yıldız hakkında bulunan tek çalışma exo.MAST veri tabanında bulunan TESS' in verdiği hazır ışık eğrilerini içeren rapordur. Tablo 2'de hedef yıldızın özellikleri verilmiştir.

Tablo 2 TIC 70440470 Kaynağının Özellikleri

Hedef Özellikleri	Değer	Belirsizlikler	Birimler	Kaynak
Katalog Kimlik Numarası	70440470			
TOI Kimlik Numarası	126.01			
TESS Adı	-			
Sağ Açıklık (RA)	339.48933700	0	Derece	TIC7
Sapma Mesafesi (Dec)	-35.15398200	0	Derece	TIC7
Büyüklik	12,725	0,018		TIC7
Yarıçap	1,112	1,112	Güneş Yarıçapı	TIC7
Yüzey Sıcaklığı	5751	189	Kelvin	TIC7
Yıldız Yüzey Çekimi (log(g))	4.350	0	cm/s ²	TIC7
Fe/H	-	-	Güneş Metalliği	Güneş
Yıldız Yoğunluğu	0,728	0,728	Güneş Yoğunluğu	TIC7
Aday Gezegen Sayısı	1	-	-	-
Sektör	1-28			TESS-SPOC



Şekil 49 TIC 70440470'in CDS Portal 'da Simbad veri tabanındaki Aladin Görüntüsü

2.6. Işık Eğrisi Analizi

Bu çalışmada hedef kaynak olarak belirlenen TIC 70440470 isimli gök cisminin TESS uydu verileri, exo.MAST veri tabanından indirilmiş, Python bilgisayar dili ile uyumlu çeşitli yazılımlar kullanılarak indirgenmiş ve analiz edilmiştir. Işık eğrilerinin oluşturulmasında ve analizinde TESS'in web sitesinde önerilen yazılımlardan biri olan Lightkurve yazılımı tercih edilmiştir.

2.6.1 Lightkurve Yazılımı

Lightkurve; gezegenleri, yıldızların, galaksilerin parlaklık-zaman verilerini incelemek için kullanılan bir Python paketidir. Bu paket, yıldız kataloglarına kolayca erişim sağlayabilmektedir.

Lightkurve için gerekli olan uygulamalar:

Python: 3.6 veya sonrası.

Astropy: 4.1 veya sonrası.

Numpy: 1.11 veya sonrası.

Scipy: 0.19 veya sonrası.

Matplotlib: 1.5.3 veya sonrası.

Astroquery: 0.3.10 veya sonrası.

Bokeh: 1.0 veya sonrası. (interaktif bileşenler için).

Pandas.

Lightkurve' u yüklemenin yollarından biri; Anaconda uygulamasını yükledikten sonra Anaconda Navigator arayüzünde Environments' in içinde yüklü olarak gelmektedir. Ancak lightkurve son versiyonuna yükseltilmesi gerekmektedir.

Bir diğer yol ise Visual Studio Code programı yüklendikten sonra arama bölümünden Jupyter ve Python eklentisini kurmaktır. Ardından bir Jupyter New Blank Notebook penceresini kullanmaktır.

2.6.2 TargetPixelFile verileri

TargetPixelFile dosyaları (TPF'ler), Kepler/K2 ve TESS görevlerinde kullanılan ortak bir dosya türüdür. Tek bir hedef yıldızda ortalanmış piksel verilerinin görüntülerini içerirler.

TPF'ler, teleskopun veri aldığı her zaman damgası için bir görüntü olacak şekilde görüntü yığınlarıdır. Her zaman damgası bir candence olarak adlandırılır. Bu görüntüler, çalışmayı kolaylaştırmak için tam gözlemin kesilmiş 'posta pulları' olarak düşünülebilir. TPF'ler, FITS dosyaları halinde arşivlenmiştir. Lightkurve, bu dosyalarla çalışmak için araçlar içermektedir.

Lightkurve'de her göreve ait sınıflar vardır. Örneğin KeplerTargetPixelFile, Kepler (ve K2) görevinden gelen verilerle ilgilenir. TessTargetPixelFile, ise TESS görevinden gelen verilerle ilgilenir. Ayrıca, search_targetpixelfile() komutu kullanılarak da arşivde otomatik olarak aratılabilir. Bu, tüm TESS, Kepler ve K2 verilerini içeren MAST veri arşivinde doğru dosyayı aramayı sağlar.

Veri arşivinden yıldız için TESS tpf dosyalarını elde etmek için search_targetpixelfile komutu şu şekilde kullanılır.

```
[1]: import lightkurve as lk
import numpy as np
%matplotlib inline
lk.search_targetpixelfile("TIC 70440470")
```

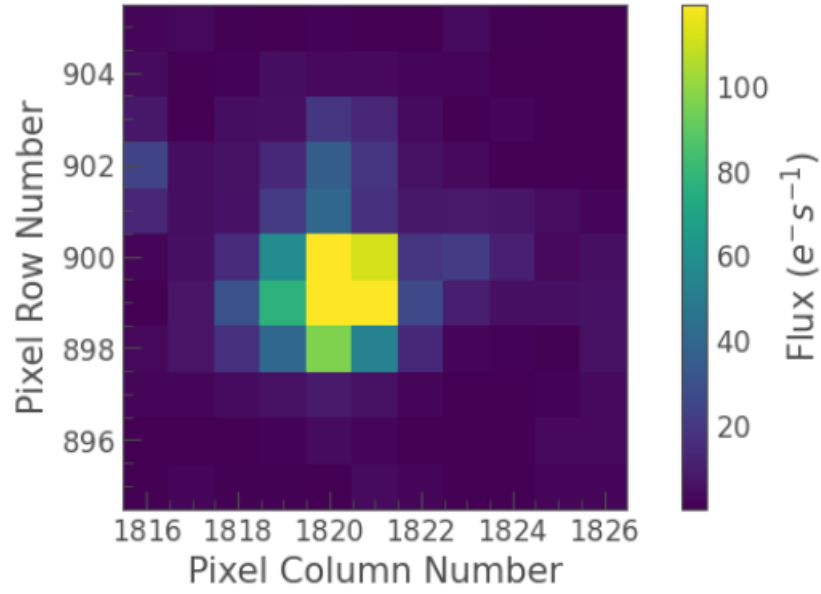
Lightkurve kütüphanesini indirmek için kullanılan emir "import" tur, "lk" olarak kısaltılarak yazımı kolaylaştırılır. Matplotlib, Python'da görseller oluşturmak için kullanılır. Bu komutun çıktısı olarak Tablo 3'e ulaşılır. Bu dosyalara sırasıyla indirgeme işlemi uygulanır.

Tablo 3 TIC 70440470 Kaynağının TESS Arşivindeki TPF Dosyaları

#	mission	year	author	exptime	target_name	distance
				s		arcsec
0	TESS Sector 01	2018	SPOC	120	70440470	0.0
1	TESS Sector 01	2018	TESS-SPOC	1800	70440470	0.0
2	TESS Sector 28	2020	SPOC	120	70440470	0.0
3	TESS Sector 28	2020	TESS-SPOC	600	70440470	0.0

```
[2]: pixelfile = lk.search_targetpixelfile("TIC 70440470").download_all();
[3]: pixelfile[1].plot();
```

Target ID: 70440470, Cadence: 70445



Şekil 50 TIC 70440470 Kaynağına Ait TPF Dosyalarından Biri.

Şekil 50'de yıldız izole bir nesne gibi görüldüğünden görüntüdeki tüm piksel değerlerini basitçe toplayarak bir ışık eğrisi çıkarılabilir.

2.6.3 Işık Eğrisi Dosyaları

Işık eğrisi dosyaları, bir yıldızın zaman içindeki parlaklığını kapsayan veri nesneleridir. Teleskoplara özgü ışık eğrisi nesnelerinin bir dizi alt sınıfı vardır, bunlara Kepler için KeplerLightCurve ve K2 verileri ve TESS verileri için TessLightCurve dâhildir. Lightkurve paketi Kepler, K2 ve TESS düşünülerek tasarlanmış olsa da, bu nesneler farklı astronomi verileri için de kullanılabilir.

Basit Açıklık Fotometrisi'ni kullanarak bir TargetPixelFile nesnesinden bir Işık Eğrisi nesnesi oluşturulabilir. Açıklık Fotometrisi, önceden tanımlanmış bir açıklıktaki tüm piksellerin değerlerini zamanın bir fonksiyonu olarak toplamanın basit bir yoludur. Açıklık maskesinin şeklini dikkatli bir şekilde seçerek, yakındaki etkilerden kaçınabilir veya arka plana göre ölçmeye çalışılan sinyalin gücü artırılabilir. TPF dosyaları kullanılarak kendi ışık eğrimizi oluşturmamızın faydası hazır ışık eğrisi dosyalarına nispeten daha dikkatli bir maske geçirerek ölçmek istediğimiz kaynağa özel, daha uygun ve daha temiz sinyaller elde edilebilmesidir.

Aşağıdaki komutla tpf dosyaları, açıklık fotometrisi kullanılarak ışık eğrisine dönüştürülür ve oluşturulan ışık eğrisi dosyasının içeriği görüntülenir.

```
[4]: lc = pixelfile.to_lightcurve(aperture_mask='all');
```

```
[5]: lc
```

Tablo 4: TIC 70440470 kaynağının oluşturulan ışık eğrisindeki veriler.

Time	flux	flux_err	centroid_co l	centroid_r ow	caden ceno	qual ity
	electron / s	electron / s	pix	pix		
object	float32	float32	float64	float64	int32	int3 2
1325.349162 7556227	2103.63867 1875	4.084154605 8654785	1819.602984 8968158	900.614807 431894	4698	0
1325.369996 8219282	2091.14013 671875	4.102878093 719482	1819.608417 3756333	900.619044 4384879	4699	0
1325.411664 9498822	2109.57104 4921875	4.137779235 839844	1819.605816 946863	900.607944 338575	4701	0
1325.515835 2408982	2113.24316 40625	4.211411952 972412	1819.611246 85104	900.610209 5665401	4706	0

Tablo-4'teki komutlar TESS uydusu tarafından zaman içinde alınan fotonların sayısına (bu değere akı (Flux) denir) erişmemizi sağlayan bir ışık eğrisi dosyası verir. Dosyanın içerisindeki veriler yukarıdaki Tablo-4'de gösterilmiş olup zaman ve akı değerlerini vermektedir. Zaman, Julyen günü birimi cinsinden akı ise elektron/saniye cinsindendir. Aşağıdaki komutlarla da akı ve zaman değerleri yazdırılır.

[6]: lc.time

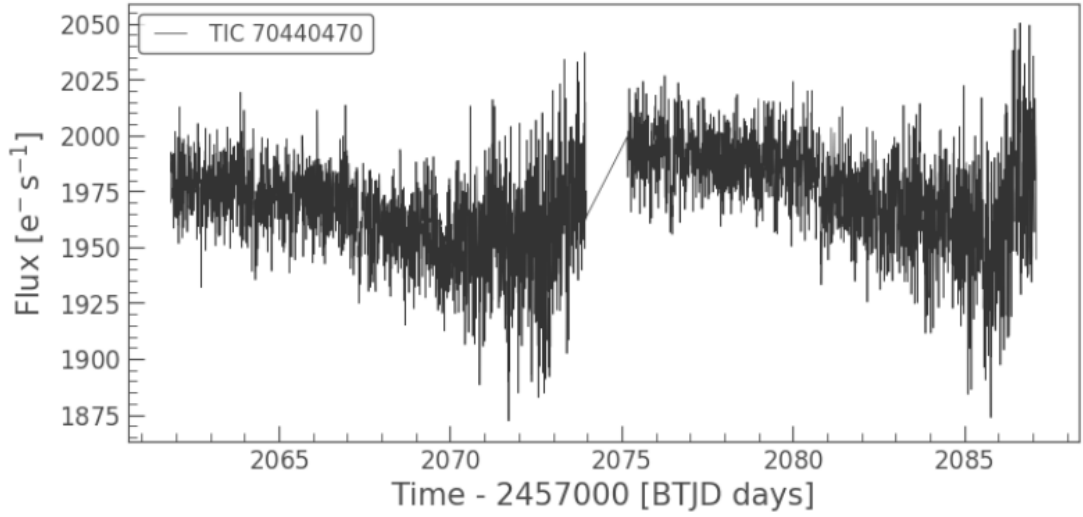
```
<Time object: scale='tdb' format='btjd' value=[1325.34916276 1325.36999682
1325.39083089 ... 1353.12044576 1353.14127907 1353.16211237]>
```

[7]: lc.flux

```
[2103.6387, 2091.1401, 2094.76, ..., 2122.6799, 2162.8909, 2101.9033] e-/s
```

[8]: lc.plot();

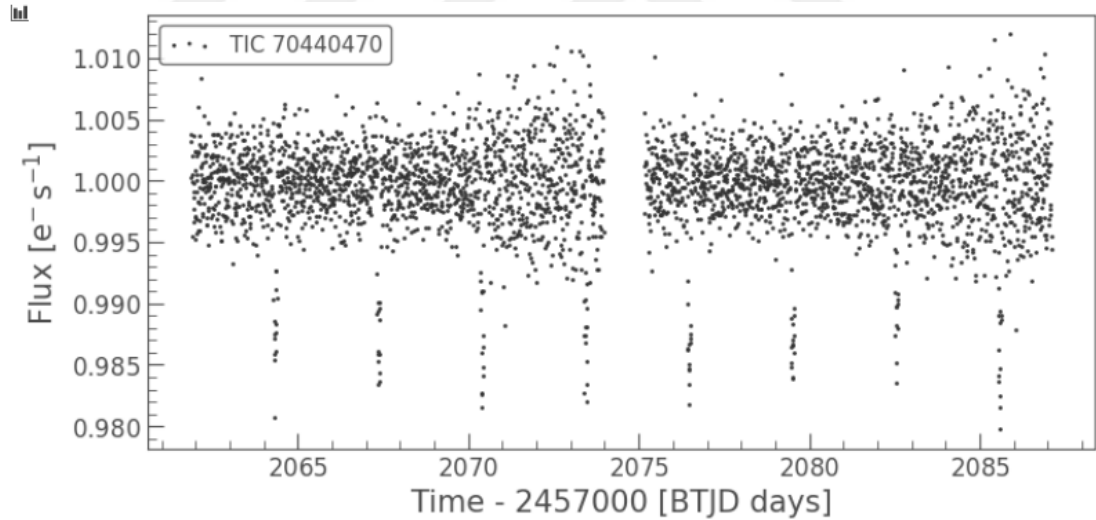
```
<AxesSubplot: xlabel='Time - 2454833 [BKJD days]', ylabel='Flux [ $e^{-}$ 
 $s^{-1}$ ]'>
```



Şekil 51 TIC 70440470 İçin Oluşturulan Işık Eğrisi

Şekil 51'deki grafikte görülen büyük ölçekli dalgalanmalar, Güneş benzeri olan TIC 70440470 kaynağının üzerindeki lekelerin görünmesindendir. Şekil 51'deki gibi ışık eğrisi dosyasındaki saçılmaları çıkartarak noktasal dağılım şeklinde ve normalize edilmiş olarak çizdirmek için aşağıdaki komut kullanılır.

[9]: `lc = pixelfile.to_lightcurve(method="aperture").remove_outliers().flatten().scatter()`

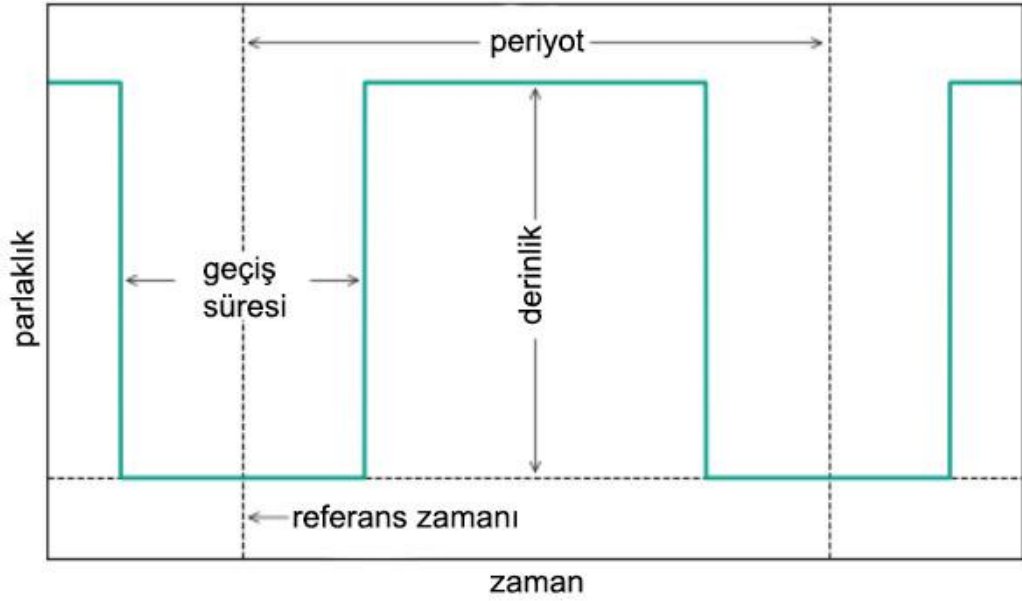


Şekil 52 TIC 70440470 İçin Oluşturulan Normalize Işık Eğrisi

Şekil 52'deki bu grafik; 9 numaralı komut kullanılarak ışık eğrisinin normalize edilmiş ve aykırı noktaların atılmış halidir.

Geçiş yapan ötegezegenleri belirlemek için kullanılan en yaygın yöntem Kutu En Küçük Kareler (BLS) periodogram analizidir. BLS, ters bir silindir şapka kullanarak bir geçişi dört parametreyle modelleyerek çalışır: periyod, süre, derinlik ve referans süresi (Şekil 53). Bunlar, aşağıdaki şekilde görülebilir. Bu parametreler daha sonra BLS geçiş modeli ile gözlem arasındaki kare farkı en aza indirilerek optimize edilir.

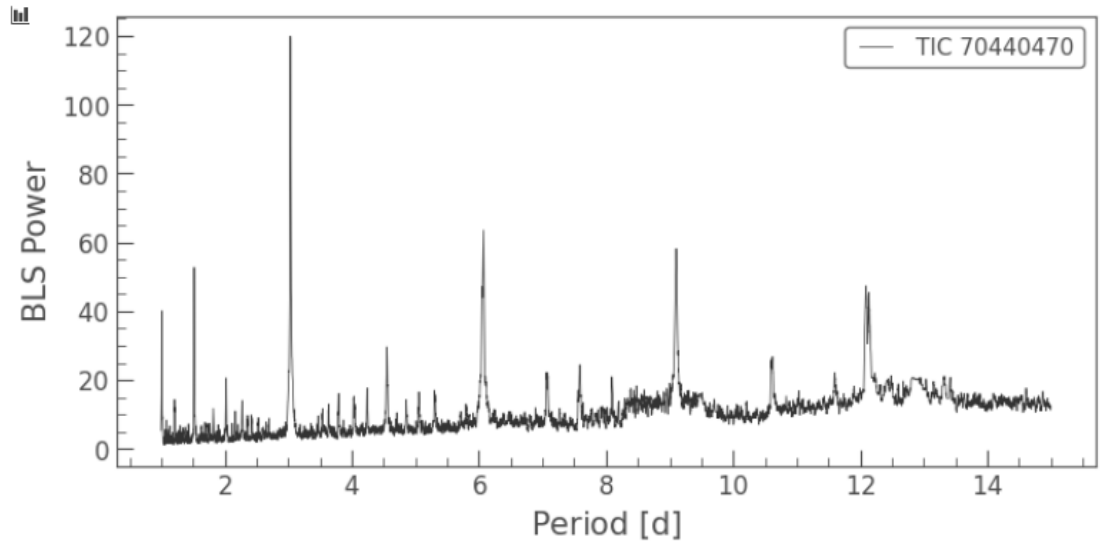
BLS (The Box Least Squares), ışık eğrilerinde geçiş yapan ötegezegenleri ve çift yıldızları tespit etmek için kullanılır.



Şekil 53 BLS Periodogram Grafiği

Geçişin periyodunu, geçiş süresini bulmak için periyodogram aşağıdaki komutlarla çizdirilir:

```
[10]: import numpy as np
period = np.linspace(1, 20, 10000)
bls = lc.to_periodogram(method='bls', period=period, frequency_factor=500);
bls.plot();
<AxesSubplot:xlabel='Period [ $\mathrm{d}$ ]', ylabel='BLS Power'>
```



Şekil 54 TIC 70440470 İçin BLS Periodogram Grafiği

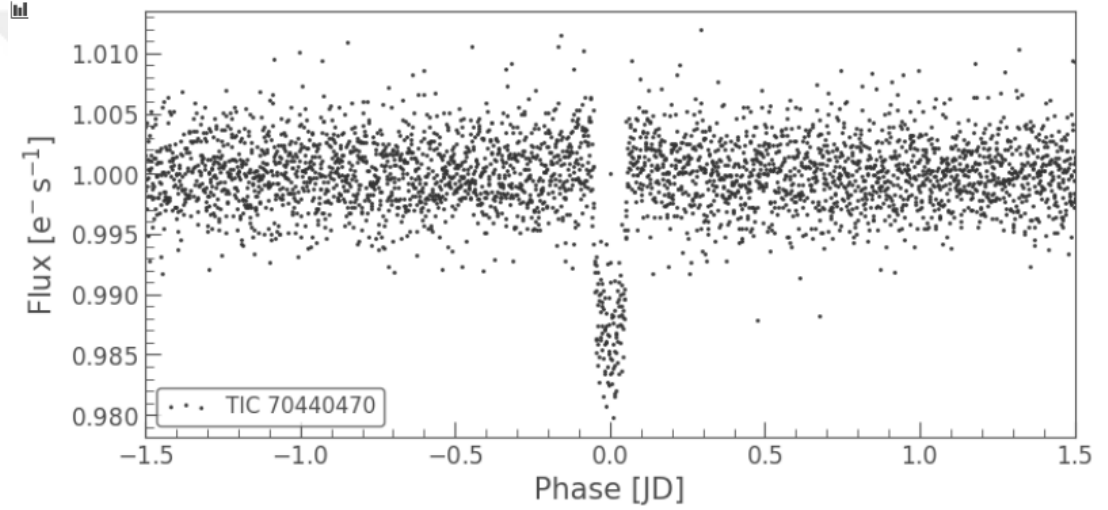
Şekil 54'deki grafik, dizideki geçen periyotların her biri için BLS fitini veya gücünü gösterir. Bu çizim, ayrı dönemlerde yüksek güç tepe noktalarını

göstermektedir; bu, bir geçiş olduğunun göstergesidir. En yüksek güç artışı en olası periyodu göstermektedir. BLS parametrelerinin maksimum güçteki değerlerini alarak en olası geçişi çıkartılır. Bu geçiş nesnesine “b gezegeni” adı verilir.

```
[11] planet_b_period = bls.period_at_max_power  
planet_b_t0 = bls.transit_time_at_max_power  
planet_b_dur = bls.duration_at_max_power  
planet_b_period  
3.0358036
```

Bu periyodun ve geçiş süresinin (dönem) bir geçiş sinyaline karşılık geldiğini doğrulamak için, bu değerleri kullanarak ışık eğrisi evre cinsinden çizdirilir (Şekil 55).

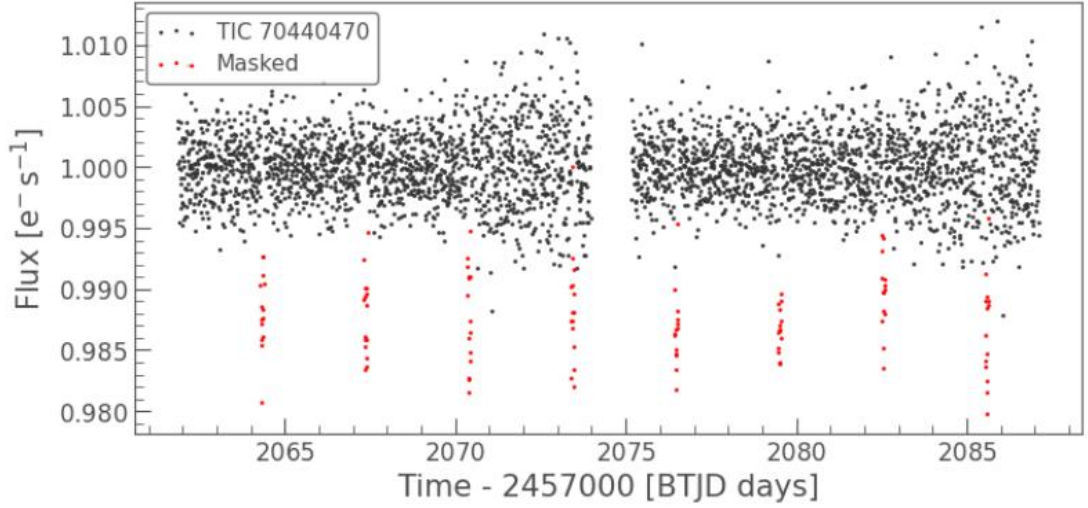
```
[12]: ax = lc.fold(period=planet_b_period, epoch_time=planet_b_t0).scatter()  
ax.set_xlim(-1.5, 1.5);
```



Şekil 55 TIC 70440470 İçin Çizdirilen Evre Cinsinden Işık Eğrisi

BLS periodogramındaki geçiş parametrelerini kullanarak ışık eğrisi için bir maske oluşturulur (Şekil 56). Böylece geçiş zamanları daha belirgin görülür. Bu işlem özellikle ana geçişlerin yanı sıra, daha düşük şiddette gerçekleşen geçişlerin olup olmadığını kontrol etmek için yapılır.

```
[13]: planet_b_mask = bls.get_transit_mask(period=planet_b_period,  
transit_time=planet_b_t0,  
duration=planet_b_dur)  
[14]: masked_lc = lc[~planet_b_mask]  
ax = masked_lc.scatter();  
lc[planet_b_mask].scatter(ax=ax, c='r', label='Masked');
```



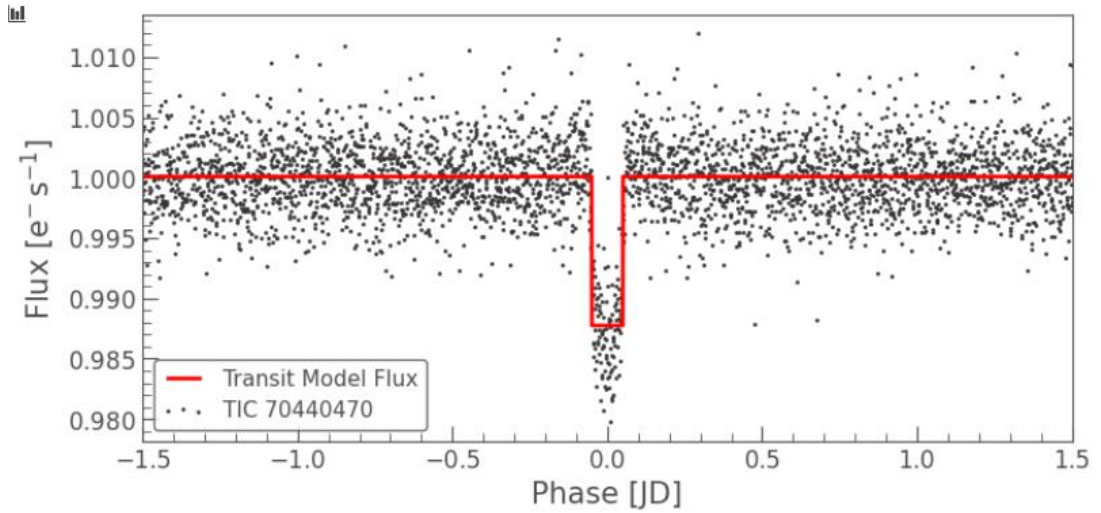
Şekil 56 TIC 70440470 Işık Eğrisinde Maskelenmiş Geçişler

Geçiş uyumunu görselleştirmek için aşağıdaki komutlar kullanılarak bir BLS modeli oluşturulur. Bunun çıktısı olarak akı kolonunda BLS modeli olan bir ışık eğrisi elde edilir. Bu modeli normalize ışık eğrisinin üzerinden geçirerek geçişi temsil edip etmediğine bakılır (Şekil 57).

```
[15]: planet_b_model = bls.get_transit_model(period=planet_b_period,
                                             transit_time=planet_b_t0,
                                             duration=planet_b_dur)

[16]: ax = lc.fold(planet_b_period, planet_b_t0).scatter()

planet_b_model.fold(planet_b_period, planet_b_t0).plot(ax=ax, c='r', lw=2)
ax.set_xlim(-1.5, 1.5);
```

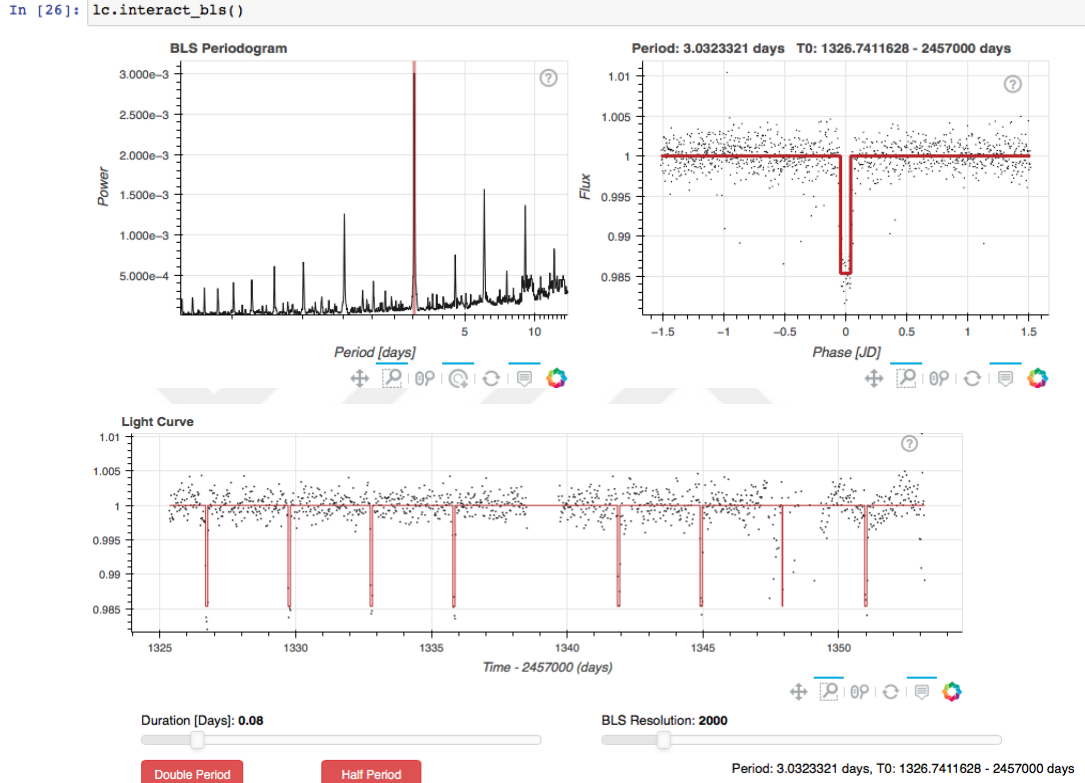


Şekil 57 TIC 70440470 Işık Eğrisi İçin BLS Model Eğrisi

Lightkurve paketinde aynı zamanda interaktif bls çizimi yapmak mümkündür. Aşağıdaki komut kullanılarak etkileşimli çizim araçları açılır ve bls periodogramı çizdirilir. Şekil 58'deki gibi sol üst paneldeki bls periodogramında zirveler kaydırılabilir

ve istenen zirve için evreli ışık eğrisi katlanmış olarak sağ üst panelde çizdirilir. Alt panelde ise tam ışık eğrisi görülür. En yüksek güce sahip bls modeli için çizdirilen evreli ışık eğrisinde gözlemsel değerlere en iyi uyum sağlayan model eğrisi geçirilir (kırmızı eğri). En alttaki geçiş süresi parametresi değeri değiştirilerek sağ üst paneldeki model eğrisinin gözlemsel değerler ile uyumu artırılarak en uygun model belirlenir. Daha sonra bu model üzerinden geçiş derinliği, periyodu, geçiş zamanı ve geçiş süresi değerleri ölçülür.

[17] lc.interecat_bls()



Şekil 58 Lightkurve Etkileşimli BLS Periodogramı ve Işık Eğrileri

TPF dosyalarından kendi ışık eğrimizi oluşturduğumuz yukarıdaki yöntemin yanı sıra TESS arşivinde bulunan ve çeşitli düzeltmeler yapılmış hazır ışık eğrileri kullanılarak ta geçişin özellikleri saptanabilir. TESS uydusunun kendi otomatik veri analiz algoritmaları ile indirgediği gözlemlerden çıkan hazır ışık eğrilerine aşağıdaki şekilde ulaşılır.

```
[1]: import lightkurve as lk
    %matplotlib inline
```

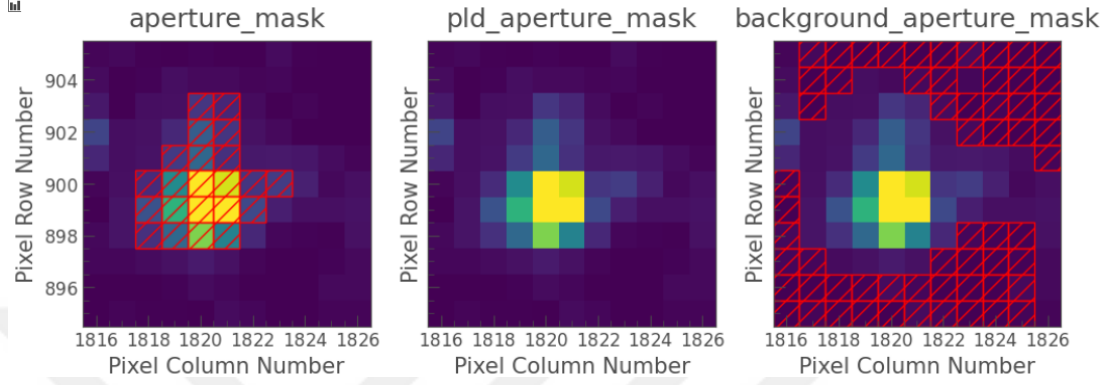
```
[2] search_result = lk.search_lightcurve("TIC 70440470")
search_result
```



```

print(pld)
pld = tpf.to_corrector('pld')
print(pld)
corrected_lc = pld.correct()
corrected_lc = pld.correct()
uncorrected_lc = tpf.to_lightcurve()
pld.diagnose_masks();

```



Şekil 60 TIC 70440470 İçin Açıklık Fotometrisi Maskeleri

Bu çizimle ise piksel dosyası izole edilir.

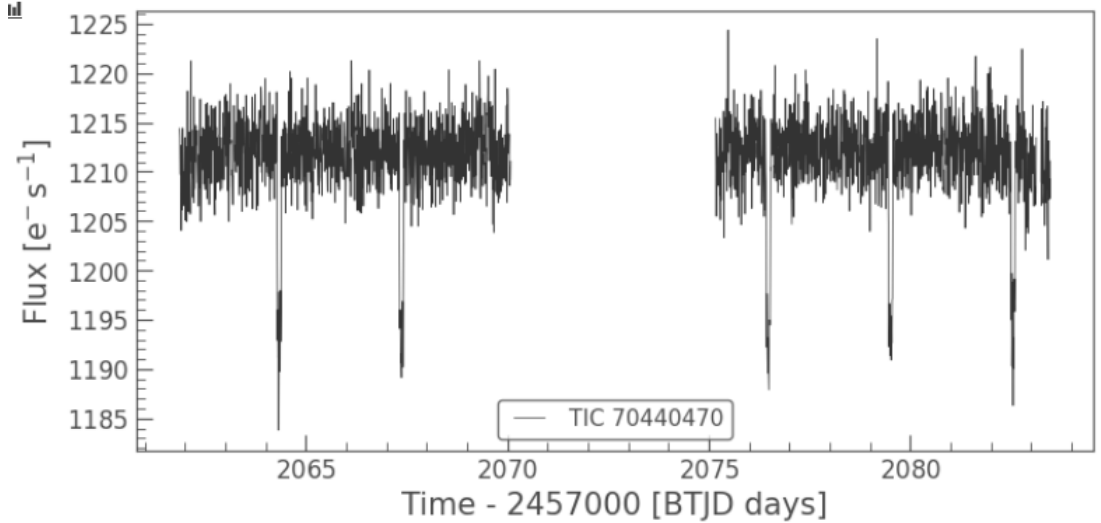
- aperture_mask: SAP akı ışık eğrisini oluşturmak için kullanılan pikselleri gösterir.
 - pld_aperture_mask: Modeli oluşturmak için kullanılan pikselleri gösterir.
- background_aperture_mask: Arka plan modelini oluşturmak için kullanılan pikselleri gösterir.

Daha sonra ışık eğrisi dosyalarından biri çizdirilir.

```

[6]: %matplotlib inline
lc.plot();

```



Şekil 61 TIC 70440470 TESS Hazır Işık Eğrisi

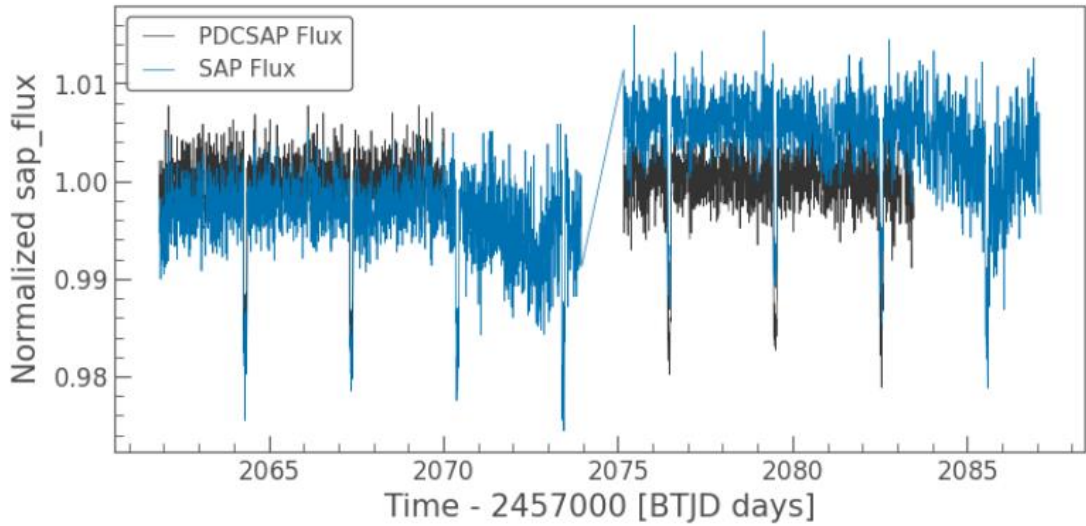
Bu grafikteki (Şekil 61) y eksenı akıyı yani saniyedeki elektron miktarını göstermektedir. CCD kameralar sayesinde elektron yükünü ölçerler. Bu ölçüm foton

olarak değil, elektron olarak kaydedilir. X ekseninde ise BTJD (Barycentric Julian Date) yer almaktadır. BTJD, TESS uydusunun göreve başlamasından bu yana geçen gün sayısıdır. Parlaklıkta tekrar eden düşüşler geçişleri göstermektedir.

Aşağıdaki komut satırı ile hazır ışık eğrisinin açıklık fotometrisi grafikleri çizdirilir. Işık eğrisi dosyasında yer alan iki farklı akı türü vardır. Bunlardan ilki SAP (Simple Aperture Photometry) yani basit açıklık fotometrisidir. Bir diğeri ise PDCSAP (Presearch Data Conditioning) ön arama veri koşullandırma SAP' tır (Şekil 62).

- SAP ışık eğrisi, seçilen piksellerdeki parlaklığın bir toplamıdır.
- PDCSAP ışık eğrisi SAP ışık eğrisinden daha fazla hata elemesi yapabilmektedir. Özellikle gezegen geçişlerini tespit etmek için tasarlanmıştır. PDCSAP ışık eğrisi gezegen geçişlerini ve derinliklerini korurken, sistematik hataları da kaldırmaya çalışır. Bu sebeplerden ötürü hazır ışık eğrisi ile çalışılırken PDCSAP akısı tercih edilir.

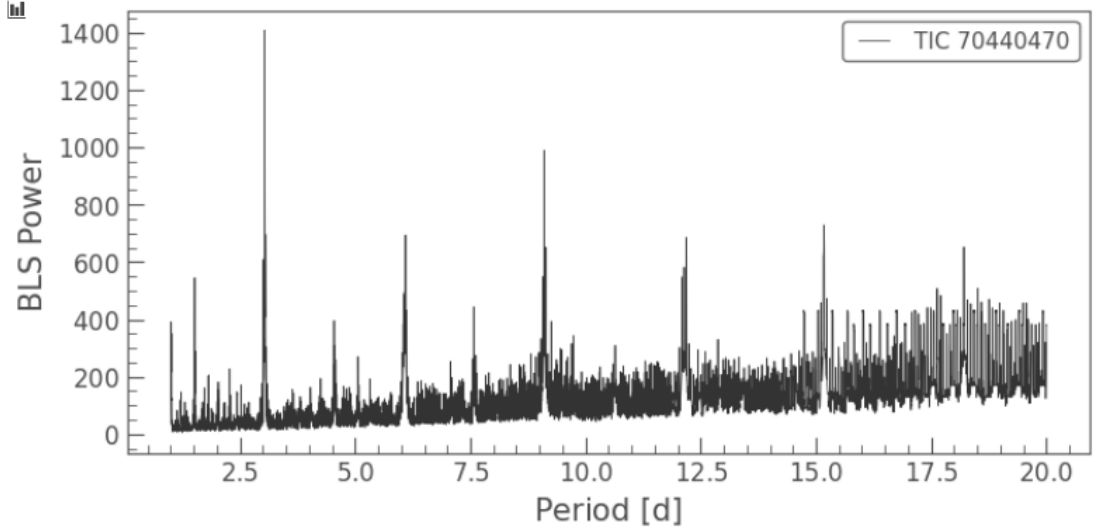
```
[7]: ax = lc.plot(column='pdcsap_flux', label='PDCSAP Flux', normalize=True)
lc.plot(column='sap_flux', label='SAP Flux', normalize=True, ax=ax);
```



Şekil 62 TIC 70440470 için TESS Hazır Işık Eğrilerinin Karşılaştırılması

Hazır ışık eğrilerinden bls periyodogram oluşturmak için aşağıdaki komut kullanılır (Şekil 63). Önceki yöntemde olduğu gibi, periyodogramdan en yüksek bls güç değerlerini veren değerler için analize devam edilir.

```
[8]: import numpy as np
period = np.linspace(1, 20, 10000)
bls = lc.to_periodogram(method='bls', period=period, frequency_factor=500);
bls.plot();
```

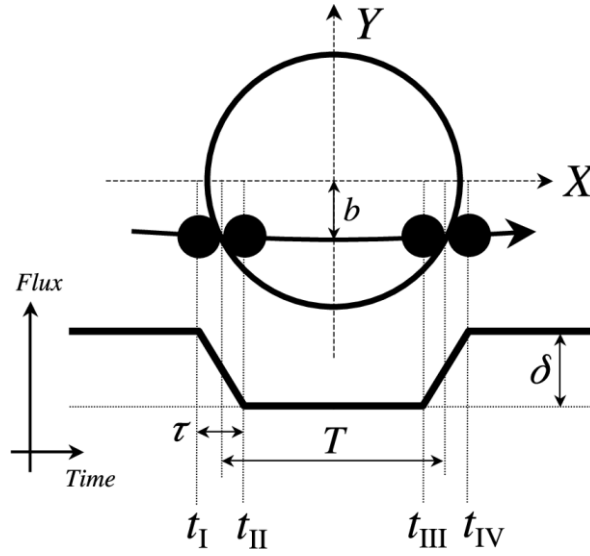


Şekil 63 TIC 70440470 İçin TESS Hazır Işık Eğrisinden Elde Edilen BLS Periodogramı

Daha önce gösterildiği gibi interaktif bls komutu kullanılarak etkileşimli çizim araçları açılır ve bls periodogramı ile ışık eğrileri çizdirilir. En uygun model eğrisi seçilerek geçiş parametreleri ölçülür.

2.6.4 Geçiş Yöntemi ile Gezegen Özelliklerinin Belirlenmesi

Gezegen geçişi basit bir anlatım ile birbirinden farklı iki dairenin geometrisi ile çözülür. Bakış doğrultumuzdaki gezegenin yörüngesinin, yıldız çemberinin merkezine olan uzaklığına geçiş parametresi (etki parametresi) denir. Gezegen çemberinin yörünge hareketinde yıldız çemberine değdiği anda(t_I), yani geçişin başladığı an ile gezegenin tamamen yıldız çemberinin önüne geçmesine (t_{II}) kadar geçen süreye 'geçişe giriş süresi' denir. Gezegenin, yıldız çemberinin önüne tamamen geçmesi (t_{II}) ile yıldız çemberinin önünden çıkmasına kadar geçen süreye (t_{III}) 'tam geçiş süresi' denir. Gezegen çemberinin, yıldız çemberinden ayrılmaya başlaması (t_{III}) ve geçişin tamamen sonlandığı süreye (t_{IV}) 'geçişten çıkış süresi' denir (Şekil 64). Sadece geçişi içeren durumda, giriş ve çıkış süreleri eşittir. Geçiş derinliği ise bileşenlerin yarıçapına bağlıdır. $\delta = R_{gezegen}^2 / R_{yıldız}^2$. Kesirsel yarıçaplar $r_{yıldız} = R_{yıldız} / a$ ve $r_{gezegen} = R_{gezegen} / a$ olarak yazılır.[2]



Şekil 64 Geçiş Geometrisi [43]

Süreklilik akısı $F_{geçiş\ dışı}$ ve t_0 geçiş ortası anında ölçülen akı $F_{geçiş\ ortası}$ olmak üzere geçiş derinliği:

$$\delta = \frac{F_{geçiş\ dışı} - F_{geçiş\ ortası}}{F_{geçiş\ dışı}} = \frac{R_{gezegen}^2}{R_{yıldız}^2};$$

Buradan, yarıçaplar oranı;

$$k = \frac{R_{gezegen}}{R_{yıldız}} = \sqrt{\delta}$$

Şeklinde yazılabilir.

3. BULGULAR ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, ötegezegen gözlemleri için kullanılan TESS uydu teleskobunun verileri kullanılmıştır. Öncelikle hem TESS uydu verilerine aşina olmak, hem de aday ötegezegen geçiş gözlemlerine indirgemesi hakkında tecrübe sahibi olmak için Planet Hunters TESS proje verileri kullanılmıştır. TESS uydusu verilerinin görünümü ve analizi konusunda pratik edindikten sonra profesyonel araştırmacılar için sunulan ham verilerin bulunduğu veri tabanlarından faydalanılmıştır. Her iki veri üzerinde de ötegezegen sisteminin özelliklerinin belirlenmesi için 1.5.2’de anlatılan geçiş yöntemi kullanılmıştır.

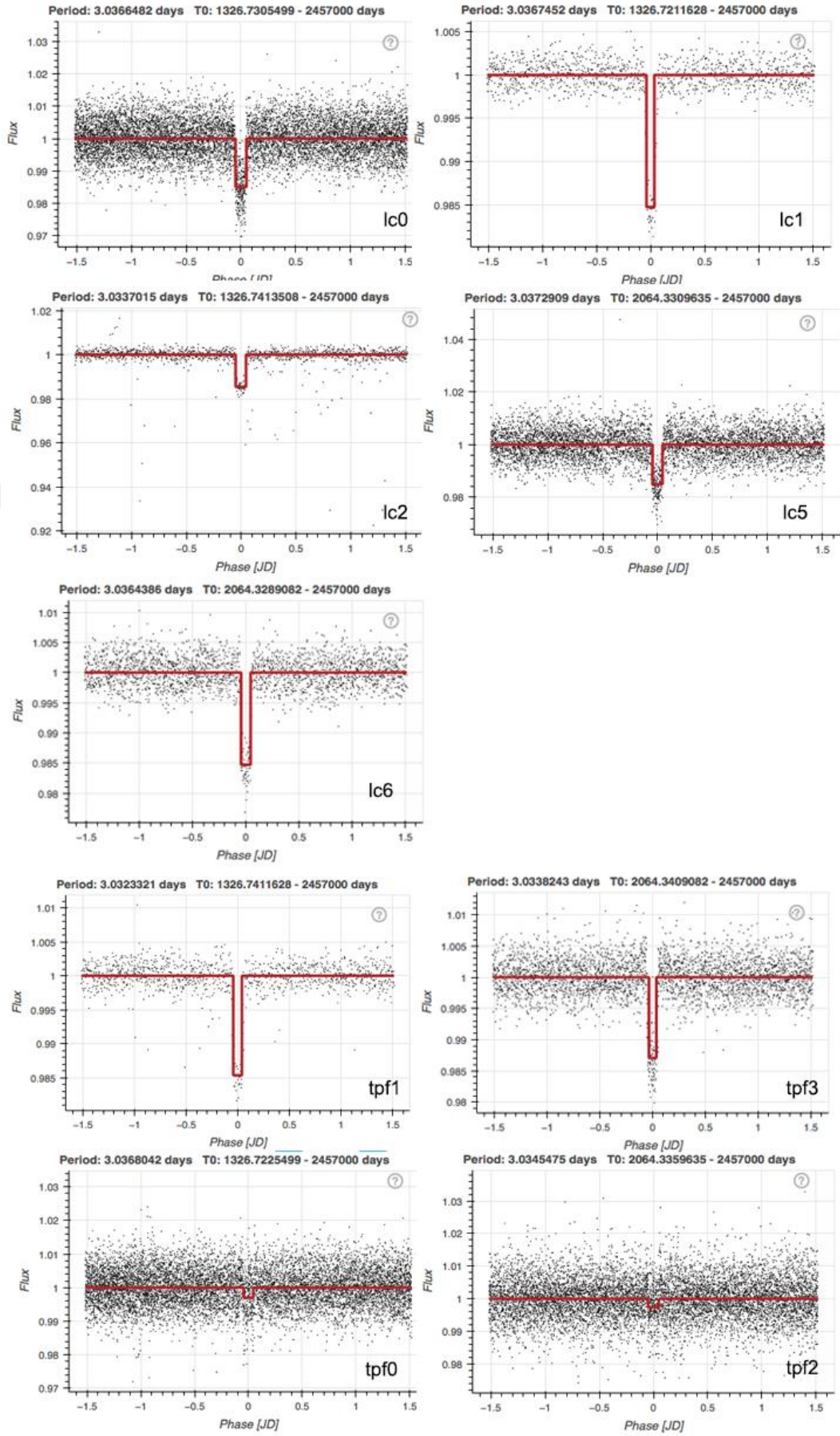
Planet Hunters TESS projesindeki çevrim içi interaktif ışık eğrisi analiz aracı kullanılarak simülasyon verileri ile deneme yapıldıktan sonra toplamda 112 farklı

kaynağa ait orijinal ışık eğrisi incelenmiş ve varsa gezegen geçişleri işaretlenerek Planet Hunters TESS proje yönetimine gönderilmiştir. Bildirilen gezegen geçişleri proje yönetimi tarafından diğer yöntemlerle de doğrulandıktan sonra ötegezegen keşfine yaptığımız katkı olmuşsa tarafımıza bildirilecektir. Planet Hunters TESS projesi kapsamında Cihnn00 kullanıcısı altında listelenen 112 farklı kaynağa ait ışık eğrisi bu çalışmada incelenen uydu verileridir ve analiz sonuçlarına aşağıdaki linkten ulaşılabilir.

[https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-
tess/collections/cihnn00/data-1](https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-
tess/collections/cihnn00/data-1)

Planet Hunters TESS proje verilerinin incelenmesinden sonra daha çok profesyonel araştırmacılar için TESS arşiv verilerinin sunulduğu exo.MAST veri tabanından TOI kataloğu indirilmiştir. Bu katalogdan seçilen 15 aday yıldız arasından Güneş'in yarıçapına ve sıcaklığına yakın olması açısından ve exo.MAST veri tabanındaki uydu verilerine bakıldığında yüksek sinyal/gürültü oranına sahip verileri olduğundan TOI 126.01 (TIC 70440470) kaynağı seçilmiştir.

TIC 70440470 kaynağının gözlemsel verilerine ulaşmak için exo.MAST ve Mast veri tabanlarından faydalanılmıştır. Verilerin indirgenmesi ve ışık eğrisi analizleri için Python bilgisayar dilinde çalışan Lightkurve yazılımı kullanılmıştır. Ek-1'de verilen lightkurve yazılımı komutlarıyla evre cinsinden katlanmış ışık eğrileri oluşturulmuş, interaktif bls periodogramları yardımı ile en uyumlu teorik model tespit edilmiştir. Şekil 65'de gözlemsel ve teorik evre cinsinden oluşturulan katlanmış ışık eğrilerinin karşılaştırması gösterilmektedir. Lc etiketli olanlar hazır ışık eğrilerinden elde edilen evre cinsinden katlanmış gözlemsel ışık eğrileri ve teorik model ışık eğrilerini göstermektedir. TPF etiketli olanlar ise tpf dosyalarından oluşturulan evre cinsinden katlanmış gözlemsel ışık eğrileri ve teorik model ışık eğrilerini göstermektedir.



Şekil 65 TIC 70440470 İçin Gözlemsel ve Teorik Işık Eğrileri

İnteraktif bls periodogramların yardımı ile en uyumlu teorik ışık eğrisi modeli belirlendikten sonra, bu modelin üzerinden geçiş parametreleri ölçülmüştür. Tablo-6'da TIC 70440470 için TPF dosyalarından oluşturulan ışık eğrileri ve TESS'in hazır ışık eğrilerinin analizi sonucunda elde edilen periyot, geçiş zamanı, geçiş süresi, derinlik değerleri verilmiştir. TPF dosyalarından oluşturulan ışık eğrisi ve periyodogramlar incelendiğinde iki dosyanın zemin gürültüsünün fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden derinlik hesabında kullanılmamıştır. Aynı zamanda arşivdeki hazır ışık eğrisi dosyalarından ikisi astrosismoloji için hazırlanmış olduğundan periyot hesabında kullanılmamıştır. Kendi oluşturduğumuz ışık eğrilerinden hesaplanan değerler ile hazır ışık eğrilerinden hesaplanan değerlerin ortalaması alınmıştır. Buna göre TIC 70440470 için TESS uydusunun yapmış olduğu 2018 ve 2020 gözlemlerinden geçiş tekniği kullanılarak aday gezegenin geçiş periyodu $3,0353924 \pm 0,0008147$ gün, geçişin süresi $0,0843 \pm 0,0113$ gün, geçiş derinliği $0,01467 \pm 0,0008$ e/s (%1,4670 $\pm$ 0,0808) olarak bulunmuştur. Aday gezegenin yarıçapının hesaplanması için geçiş derinliği kullanılmıştır.

Tablo 6 TIC 70440470 İçin Işık Eğrilerinden Elde Edilen Değerler

TPF dosyalarından oluşturulan ışık eğrilerinden elde edilen değerler.								
DOSYA NO: ▾	PERİYOT ▾	TO GEÇİŞ ZAMANI (BTJD) ▾	GEÇİŞ SÜRESİ (GÜN) ▾	DERİNLİK ▾	DERİNLİK (%) ▾	CİHAZ ▾	SEKTÖF ▾	GÖZLEM YII ▾
TPF 0	3,0368042	1326,72255				SPOC	1	2018
TPF 1	3,0323321	1326,741163	0,08	0,014666	1,4666	TESS-SPOC	1	2018
TPF 2	3,0345475	2064,335964				SPOC	28	2020
TPF 3	3,0338243	2064,340908	0,07	0,012938	1,2938	TESS-SPOC	28	2020
ORTALAMA	3,0343770		0,075	0,013802	1,3802			
STANDART SAPMA	0,001862567		0,0071	0,001222	0,1222			
Hazır ışık eğrilerinden elde edilen değerler:								
LC 0	3,0366482	1326,73055	0,1	0,014938	1,4938	SPOC	1	2018
LC 1	3,0367452	1326,721163	0,07	0,01527976	1,527976	TESS-SPOC	1	2018
LC 2	3,0337015	1326,741351	0,09	0,0146	1,46	QLP	1	2018
LC 5	3,0372909	2064,330964	0,09	0,0149874	1,49874	SPOC	28	2020
LC 6	3,0364386	2064,328908	0,09	0,015278	1,5278	TESS-SPOC	25	2020
ORTALAMA	3,0361649		0,088	0,01502	1,5017			
STANDART SAPMA	0,0012634		0,0098	0,00025	0,0252			
GENEL ORTALAMA	3,0353703		0,0843	0,01467	1,4670			
GENEL STS.	0,0017851		0,0113	0,0008	0,0808			

Gezegenin yarıçapını hesaplamak için 2.6.4'te belirtilen denklemlerden faydalanılmıştır. Buna göre yarıçaplar oranı;

$$k = \frac{R_{gezegen}}{R_{yıldız}} = \sqrt{\delta}$$

Formülünden aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Burada $R_{yıldız}$ değeri exo.MAST veri tabanından alınan ve Tablo-2'de verildiği üzere $1,07 R_{Güneş}$ olarak alınmıştır.

$$k = \frac{R_{gezegen}}{1,07 R_{Güneş}} = \sqrt{0,01467}$$

$$k = 0,12112$$

$$R_{gezegen} = 0,1296 R_{Güneş}$$

Yukarıdaki işlem ile aday gezegenin Güneş yarıçapı cinsinden yarıçapı hesaplanmıştır. Çıkan sonucun Jüpiter yarıçapına aşağıdaki şekilde dönüştürülür

$$\frac{R_{Jüpiter}}{R_{Güneş}} = 0,10045.$$

$$\frac{R_{gezegen}}{R_{Jüpiter}} = \frac{0,1296}{0,10045} = 1,29$$

Bu işleme göre gezegenin yarıçapı $1,29 R_{Jüpiter}$ olarak bulunmuştur. Şimdiye kadar yapılan ötegezegen araştırmalarına bakıldığında çoğunlukla Jüpiter boyutlarında veya daha büyük ötegezegenlerin keşfedildiği görülmektedir. Bulunan bu sonuç TIC 70440470 kaynağının Jüpiter boyutlarında bir gezegene sahip bir yıldız sistemi olduğuna dair bir göstergedir.

3.1 Tartışma

Ötegezegen araştırmaları son 10 yıldır özellikle uydu verileri sayesinde önemli gelişmeler kat etmiştir. 2018 yılına kadar çalışan Kepler Uydusu ile TESS Uydusunun ötegezegen keşiflerine katkısı büyüktür. Bu çalışmada ötegezegen araştırmalarının tarihçesi ve keşif yöntemleri hakkında özet bilgi sunulmuştur. Daha sonra özellikle geçiş yöntemi ile ötegezegen keşifleri için tasarlanmış TESS Uydusunun güncel verileri ile çalışılmıştır. Kepler uydusuna göre daha geniş bir gökyüzü alanı taraması sebebi ile TESS uydu verilerinde daha önce hiç çalışılmamış kaynaklar bulunmaktadır. Bu çalışmada seçilen TIC 70440470 kaynağı da daha önce hiç çalışılmamış aday ötegezegen kaynaklarından biridir. Bu açıdan bakıldığında bu tez çalışmasında bulunan sonuçlar literatüre katkı sağlayacaktır.

TESS uydu verilerinin indirgenmesi ve ışık eğrisi analizinde kullanılan Lightkurve yazılımı 1. versiyonu ile istediği ilgiye ulaştıktan sonra 2. versiyonunu araştırmacıların kullanımına sunulmuş yeni bir yazılımdır. Lightkurve yazılımını kullanmaya başlayacak yeni kullanıcılar için kaynak oluşturması amacıyla bu tez çalışmasında yazılımın geçiş gözlemlerinin analizindeki kullanımına dair komutlar dizini ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Lightkurve yazılımının Windows işletim sisteminde

çok kararlı çalışmadığı gözlenmiştir. Bu sebepten işlem gücü yüksek Unix tabanlı işletim sistemleri kullanan bilgisayarlarda çalışılması önerilmektedir.

Işık eğrisi analizleri sırasında karşılaşılan zorluklardan biri, evre cinsinden katlanmış ışık eğrilerine en uyumlu teorik modelin seçilmesi işlemidir. Bu tez çalışmasının devamında belirlenen kaynak için ışık eğrilerinde gürültü temizleme işlemi uygulanarak daha iyi bir model geçirilebileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda model ışık eğrisinin gözlemsel veriler ile uyumu aranırken interaktif bls periodogramı kullanımının sınırları sebebi ile en iyi model seçilmiş olsa da komut seçenekleri kullanılarak daha da iyi model geçirmesi ideal olacaktır.

Bu tez çalışmasının devamı olabilecek nitelikte olan bir çalışmada yine veri tabanlarından bu kaynağa ait tayf gözlemleri alınarak geçiş gözlemlerinin doğrulanması uygun olacaktır. Bu kaynak için özellikle radial hız ölçümlerinin yapılması önerilmektedir.

EKLER

EK-1

Lightkurve Işık Eğrisi Oluşturma Komut Dizini

```
[1]:import lightkurve as lk  
import numpy as np
```

```
%matplotlib inline
```

```
lk.search_targetpixelfile("TIC 70440470")
```

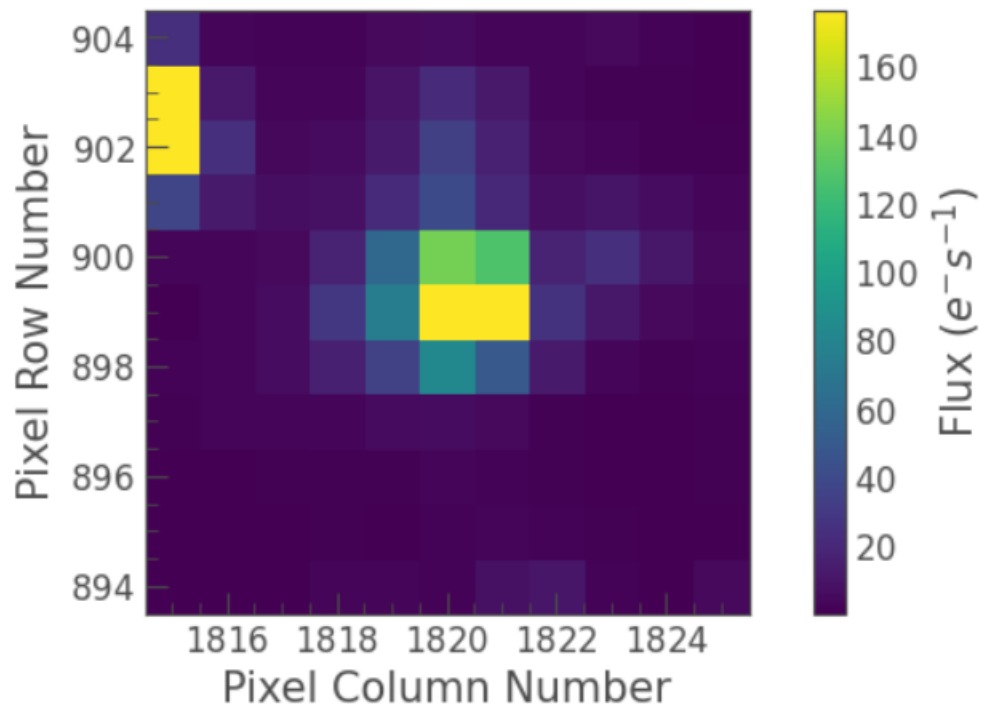
SearchResult containing 4 data products.

#	mission	year	author	exptime	target_name	distance
				s		arcsec
0	TESS Sector 01	2018	SPOC	120	70440470	0.0
1	TESS Sector 01	2018	TESS-SPOC	1800	70440470	0.0
2	TESS Sector 28	2020	SPOC	120	70440470	0.0
3	TESS Sector 28	2020	TESS-SPOC	600	70440470	0.0

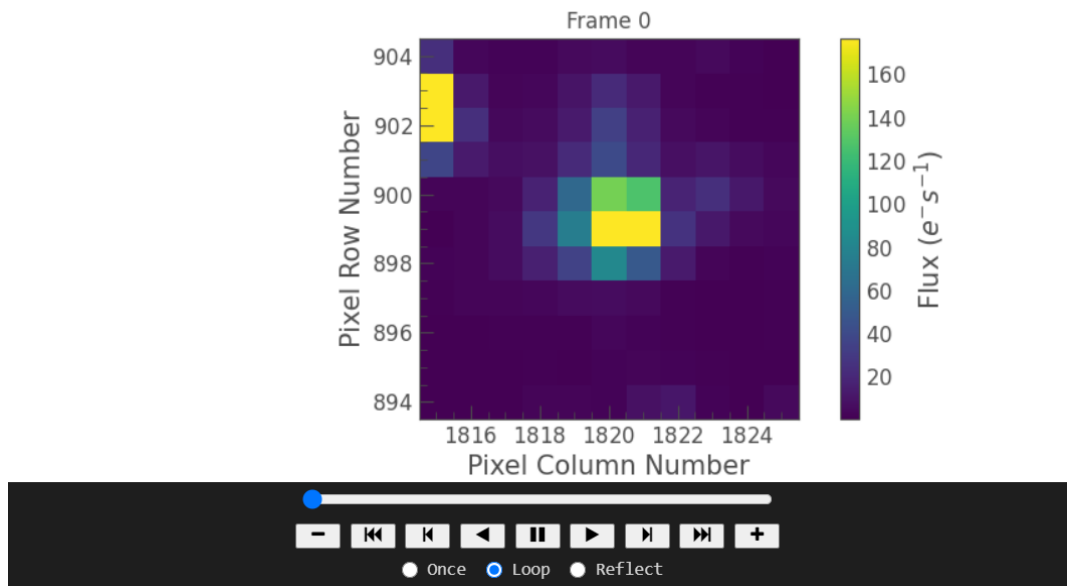
```
[2]:pixelfile = lk.search_targetpixelfile("TIC 70440470").download_all();
```

```
[3]:pixelfile[1].plot();
```

Target ID: 70440470, Cadence: 4698



```
[4]: pixelfile[1].animate()
```



```
[5]: lc = pixelfile[1].to_lightcurve(aperture_mask='all');
```

```
[6]: lc
```

TessLightCurve length=1184 LABEL="TIC 70440470" SECTOR=1

time	flux	flux_err	centroid_col	centroid_row	cadenceno	quality
	electron / s	electron / s	pix	pix		
object	float32	float32	float64	float64	int32	int32
1325.3491627556227	2103.638671875	4.0841546058654785	1819.6029848968158	900.614807431894	4698	0
1325.3699968219282	2091.14013671875	4.102878093719482	1819.6084173756333	900.6190444384879	4699	0
1325.3908308868363	2094.760009765625	4.124751567840576	1819.5967008474734	900.615283868689	4700	0
1325.4116649498822	2109.571044921875	4.137779235839844	1819.605816946863	900.607944338575	4701	0
1325.4324990115313	2103.06396484375	4.150872707366943	1819.617059446948	900.623228765658	4702	0
1325.4533330708525	2115.8779296875	4.164609432220459	1819.6079243663935	900.6074993595238	4703	0
1325.4741671292425	2092.749267578125	4.175614833831787	1819.6087883889113	900.6163698120621	4704	0
1325.4950011857686	2093.642333984375	4.191540241241455	1819.6014325645729	900.6094599417233	4705	0
1325.5158352408982	2113.2431640625	4.211411952972412	1819.61124685104	900.6102095665401	4706	0
...	...	...	...	...	...	...
1352.9746125909157	2169.0380859375	6.369396209716797	1819.1269382851108	900.7127432896473	6024	4096
1352.9954459047356	2176.71826171875	6.968105792999268	1818.7897330620851	900.9783864259837	6025	4096
1353.0162792171584	2153.055419921875	7.827882289886475	1818.453431056384	901.8376931801697	6026	4096
1353.0371125281843	2104.8759765625	9.876059532165527	1817.0743103686254	903.2581142847957	6027	4096
1353.0579458382779	2105.251953125	11.123973846435547	1819.0470025463108	901.3126910875083	6028	4096
1353.0787791474409	2081.58203125	10.925726890563965	1820.4515930453176	899.9981820367212	6029	4096
1353.099612454742	2057.92138671875	10.4768705368042	1820.9237734622966	899.135461936969	6030	4096
1353.1204457611104	2122.679931640625	8.839324951171875	1822.5710625882612	897.7636920958992	6031	4096
1353.1412790656163	2162.890869140625	8.073225975036621	1820.1639416364833	899.9838959820208	6032	4096
1353.1621123687266	2101.9033203125	7.8701934814453125	1819.7475405329405	900.6460844430145	6033	4096

[7]: lc.time

```
<Time object: scale='tdb' format='btjd' value=[1325.34916276 1325.36999682 1325.39083089 ... 1353.12044576 1353.14127907 1353.16211237]>
```

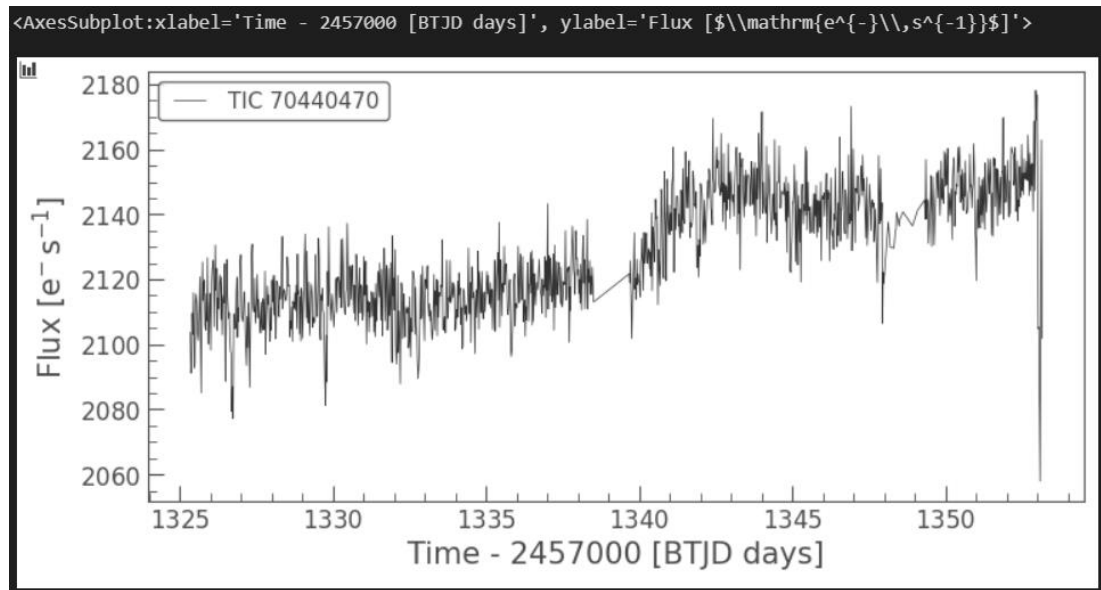
[8]: lc.flux

[2103.6387, 2091.1401, 2094.76, ..., 2122.6799, 2162.8909, 2101.9033] $\frac{e^-}{s}$

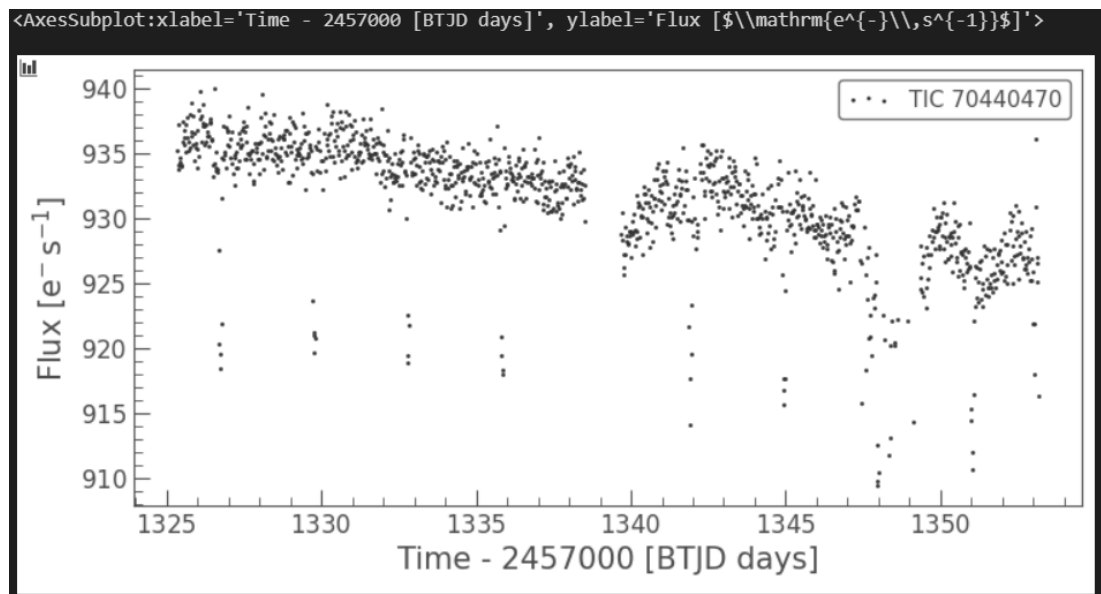
[9]: min(lc.flux), max(lc.flux)

```
(<Quantity 2057.9214 electron / s>, <Quantity 2178.1235 electron / s>)
```

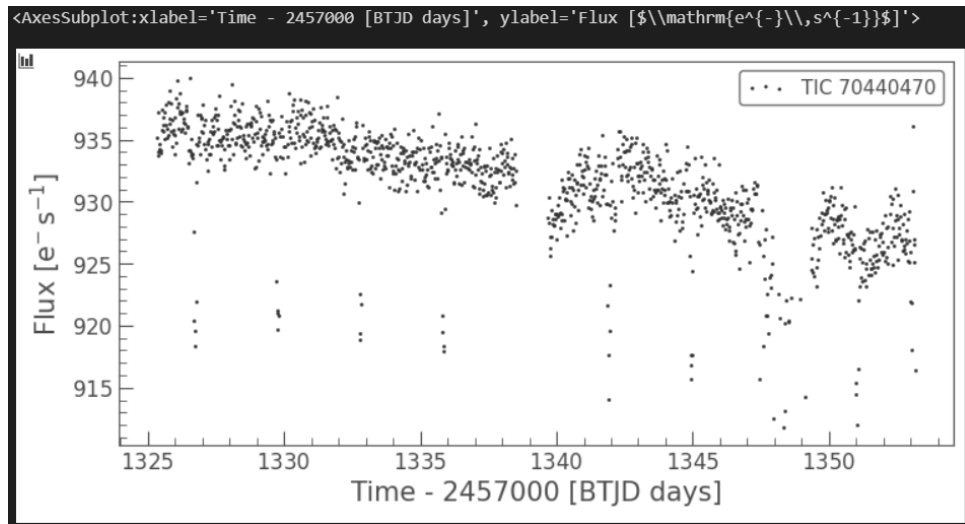
[10]: lc.plot()



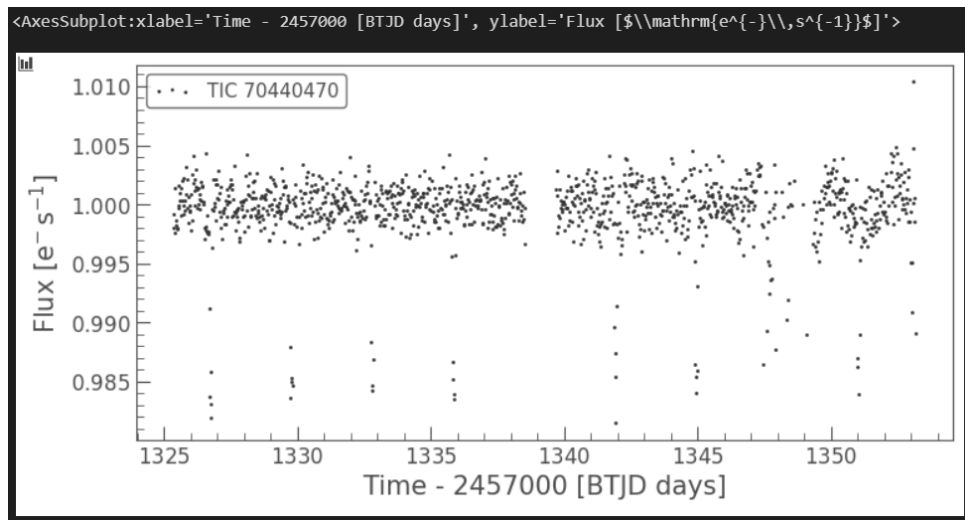
```
[11]: pixelfile[1].to_lightcurve(method="aperture").scatter()
```



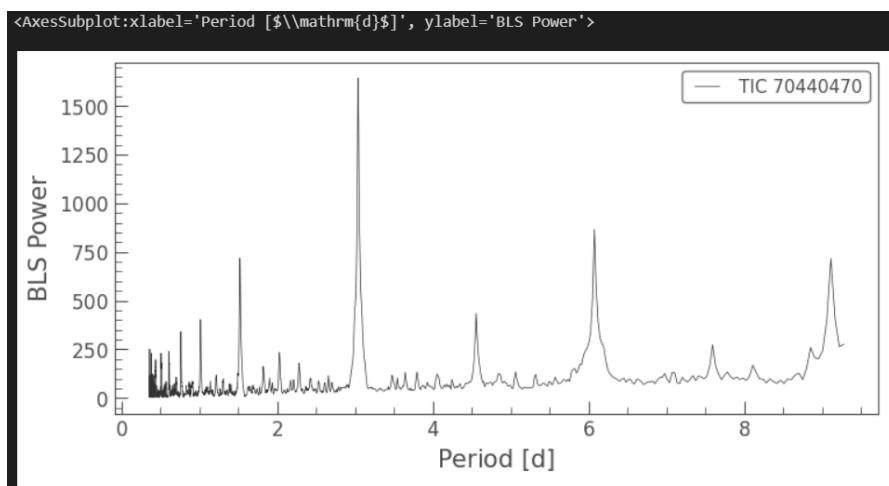
```
[12]: pixelfile[1].to_lightcurve(method="aperture").remove_outliers().scatter()
```



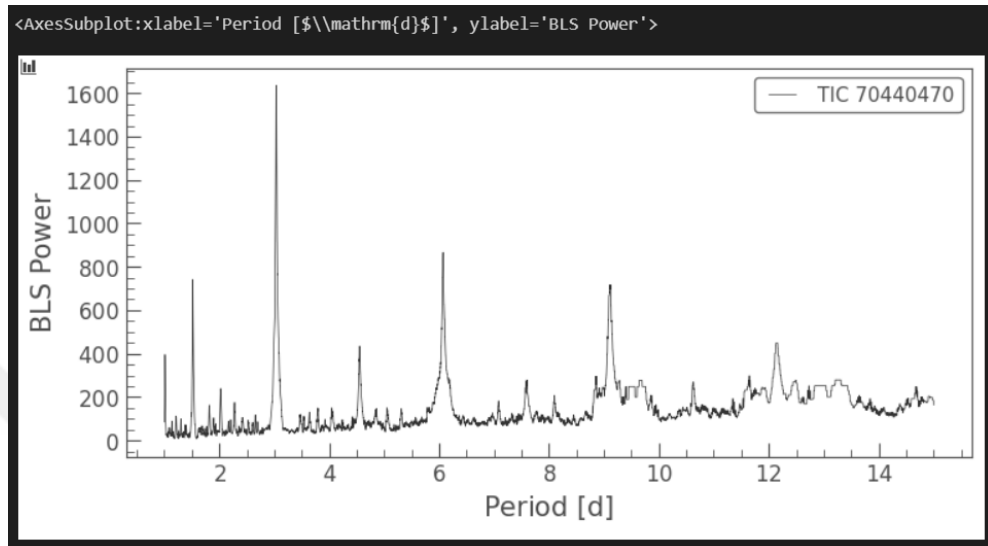
```
[13]:
pixelfile[1].to_lightcurve(method="aperture").remove_outliers().flatten().scatter()
```



```
[14]:
lc = pixelfile[1].to_lightcurve(method="aperture").remove_outliers().flatten()
lc.to_periodogram("bls").plot()
```



```
[15]: period=np.linspace(1,15,10000)
bls = lc.to_periodogram(method='bls', period=period, frequency_factor=5
00);
bls.plot()
```



```
[16]: lc.to_periodogram("bls").show_properties()
```

lightkurve.Periodogram properties:		
Attribute	Description	Units
targetid	70440470	
default_view	period	
label	TIC 70440470	
time_unit	day	
depth_at_max_power	0.0143	electron / s
duration_at_max_power	0.1	d
frequency_at_max_power	0.3295	1 / d
max_power	1642.7291	
period_at_max_power	3.0345	d
depth	array (4244,)	electron / s
duration	array (4244,)	d
flux	array (1180,)	electron / s
frequency	array (4244,)	1 / d
period	array (4244,)	d
power	array (4244,)	
snr	array (4244,)	
meta	<class 'dict'>	
nyquist	<class 'NoneType'>	
time	<class 'astropy.time.core.Time'>	
transit_time	<class 'astropy.time.core.Time'>	
transit_time_at_max_power	<class 'astropy.time.core.Time'>	

```
[17]: planet_b_period = bls.period_at_max_power
planet_b_t0 = bls.transit_time_at_max_power
planet_b_dur = bls.duration_at_max_power
planet_b_period
```

3.0358036 d

```
[18]: planet_b_t0
```

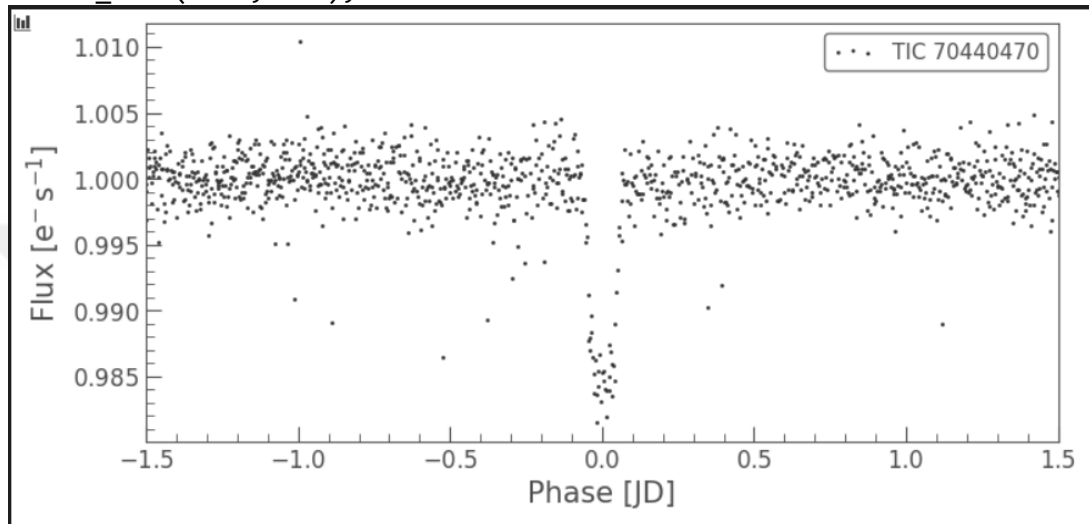
```
<Time object: scale='tdb' format='btjd' value=1326.7291627556228>
```

```
[19]: planet_b_dur
```

0.1 d

```
[20]:
```

```
ax = lc.fold(period=planet_b_period, epoch_time=planet_b_t0).scatter()  
ax.set_xlim(-1.5, 1.5);
```

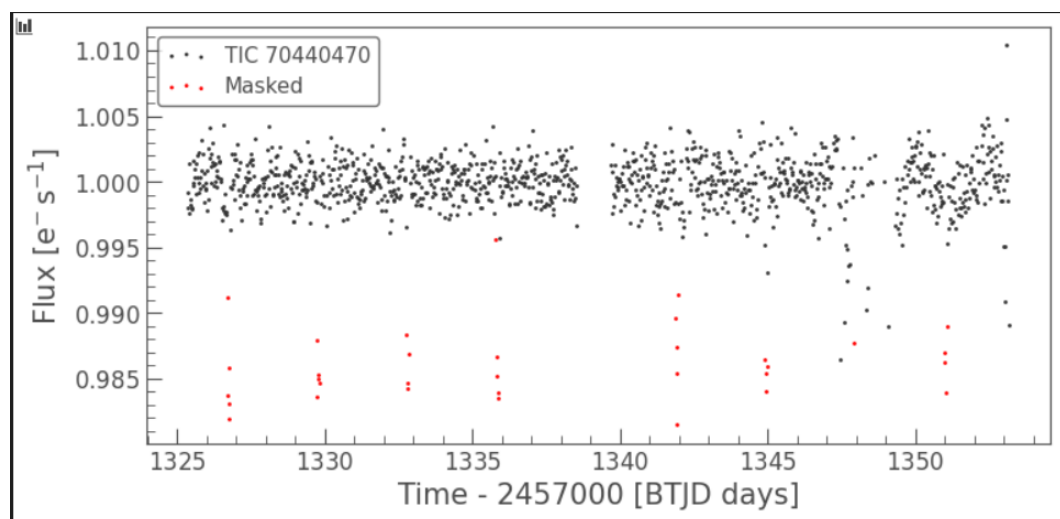


```
[21]: planet_b_mask = bls.get_transit_mask(period=planet_b_period,  
                                           transit_time=planet_b_t0,  
                                           duration=planet_b_dur)
```

```
[22]: masked_lc = lc[~planet_b_mask]
```

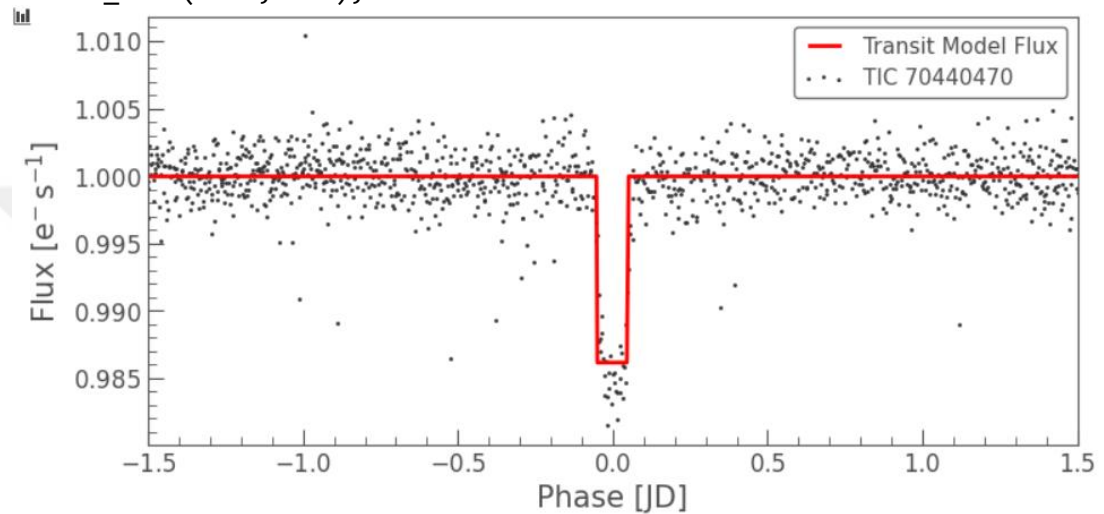
```
ax = masked_lc.scatter();
```

```
lc[planet_b_mask].scatter(ax=ax, c='r', label='Masked');
```



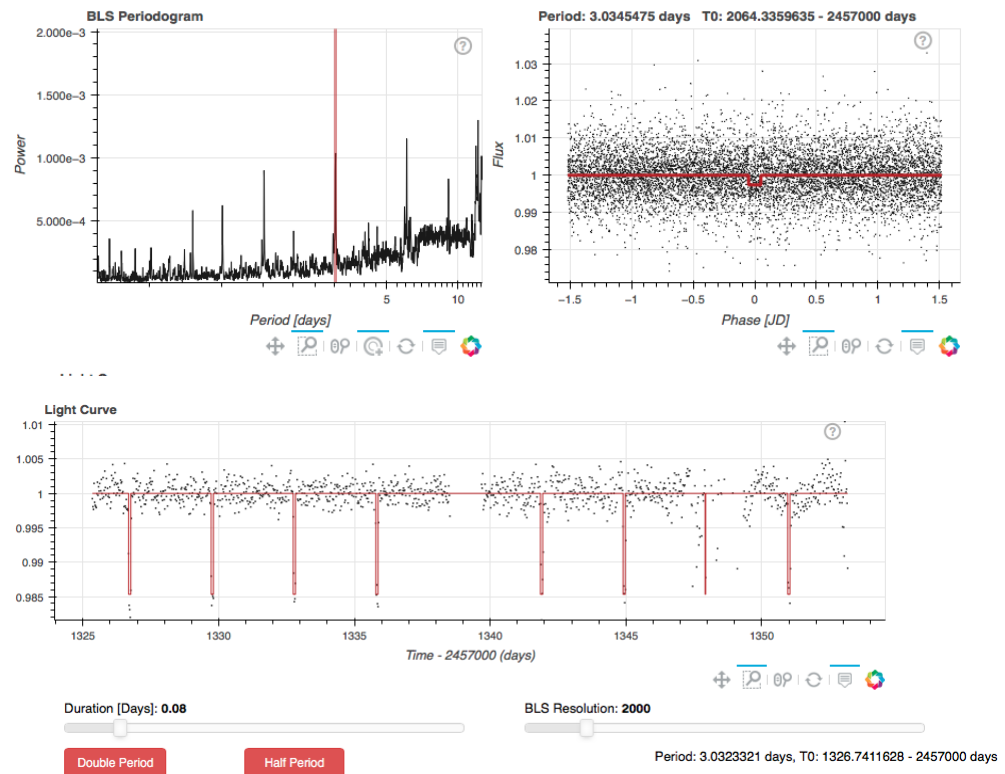
```
[23]: planet_b_model = bls.get_transit_model(period=planet_b_period,
                                             transit_time=planet_b_t0,
                                             duration=planet_b_dur)
```

```
[24]: ax = lc.fold(planet_b_period, planet_b_t0).scatter()
planet_b_model.fold(planet_b_period, planet_b_t0).plot(ax=ax, c='r', lw
=2)
ax.set_xlim(-1.5, 1.5);
```



[25]: lc.interact_bls()

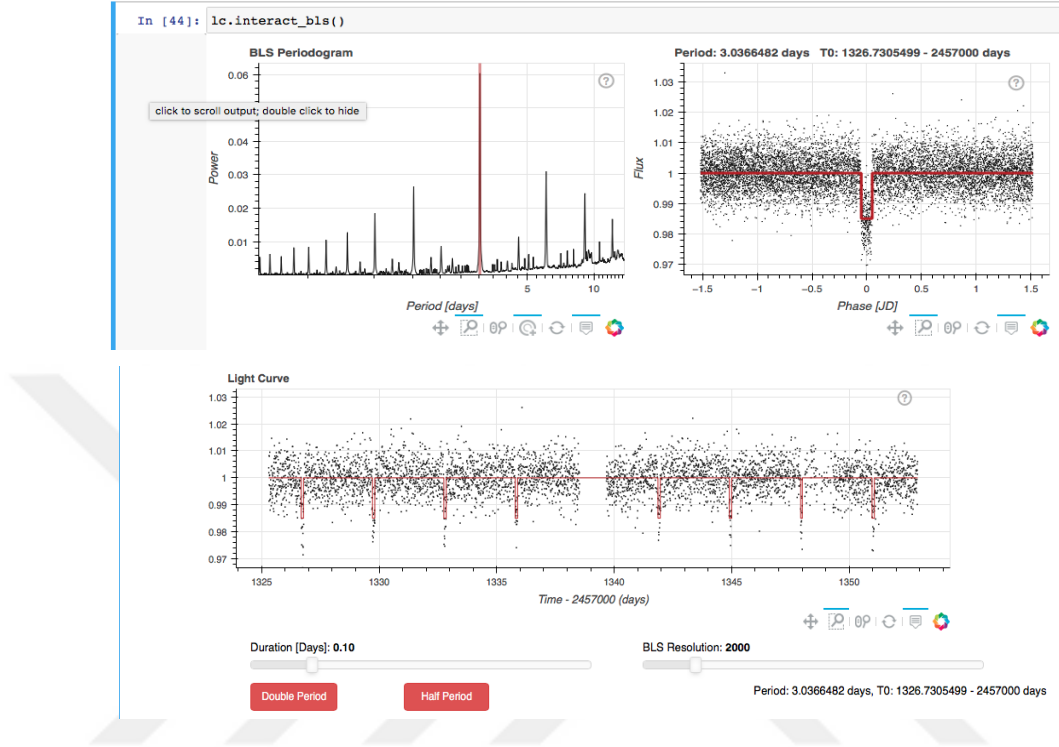
In [49]: lc.interact_bls()



EK-2

TIC 70440470 için İnteraktif BLS Periodogramı Işık Eğrisi ve Evre Cinsinden Katlanmış Işık Eğrileri

TIC 70440470 Lc_0

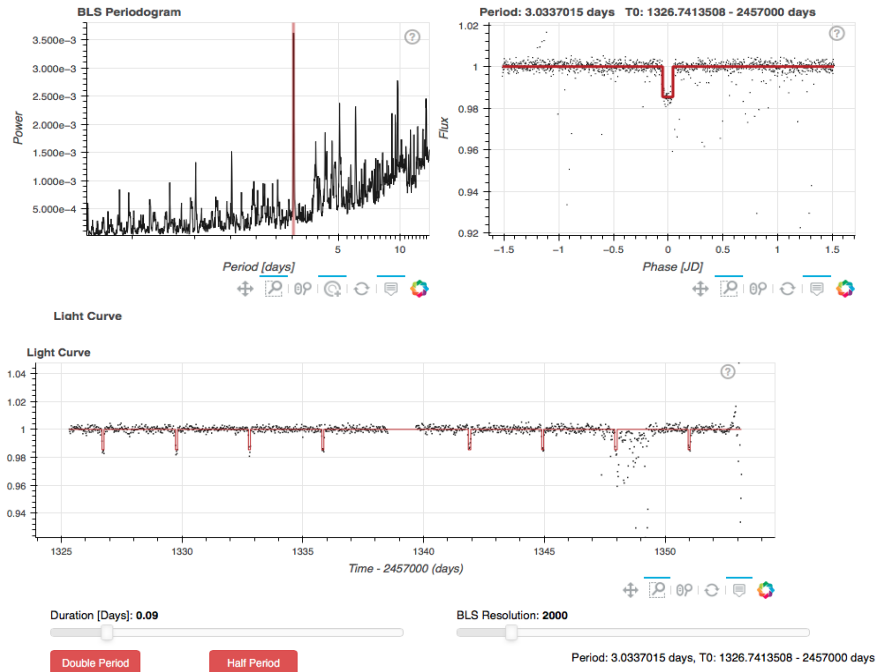


TIC 70440470 Lc_1



TIC 70440470 Lc_2

In [22]: `lc.interact_bls()`



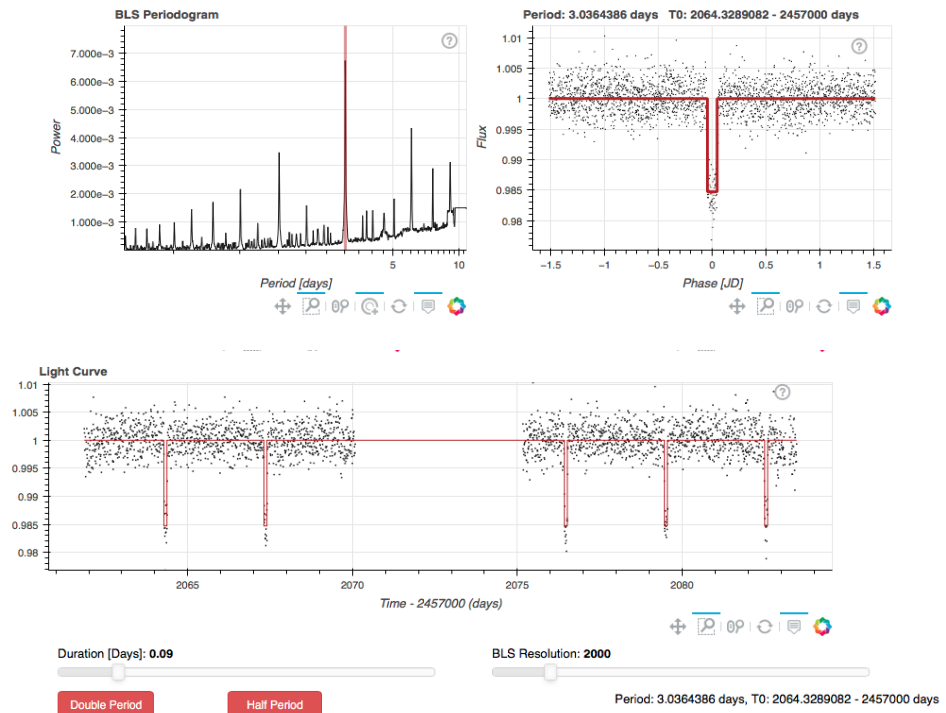
TIC 70440470 Lc_5

In [52]: `lc.interact_bls()`



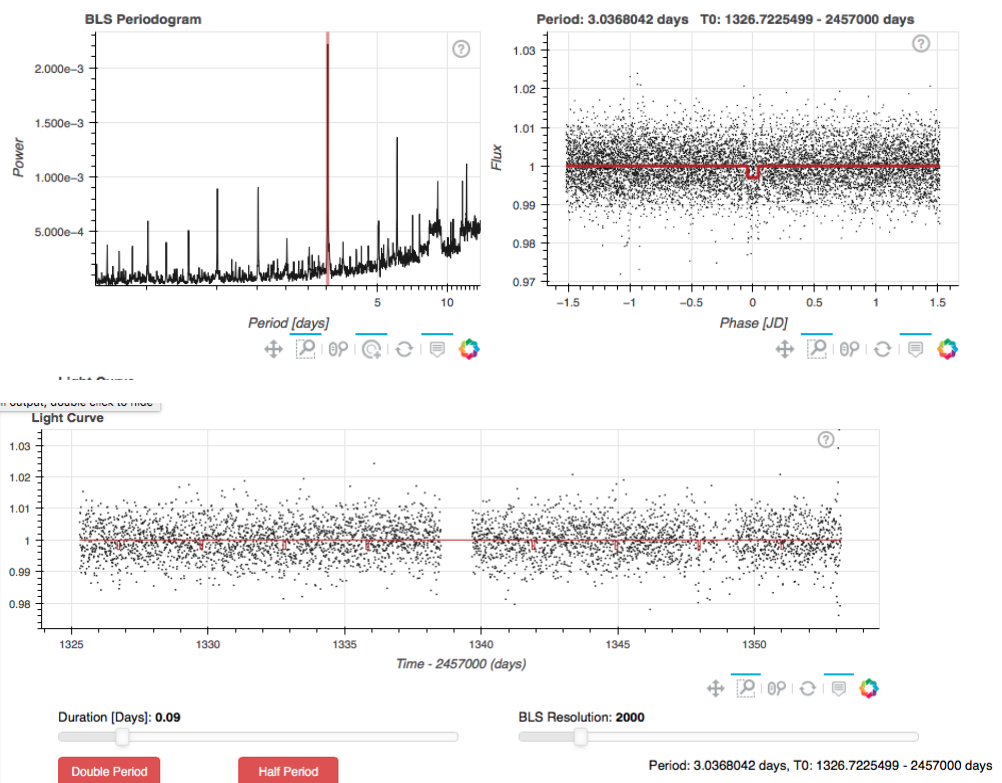
TIC 70440470 Lc_6

In [67]: `lc.interact_bls()`



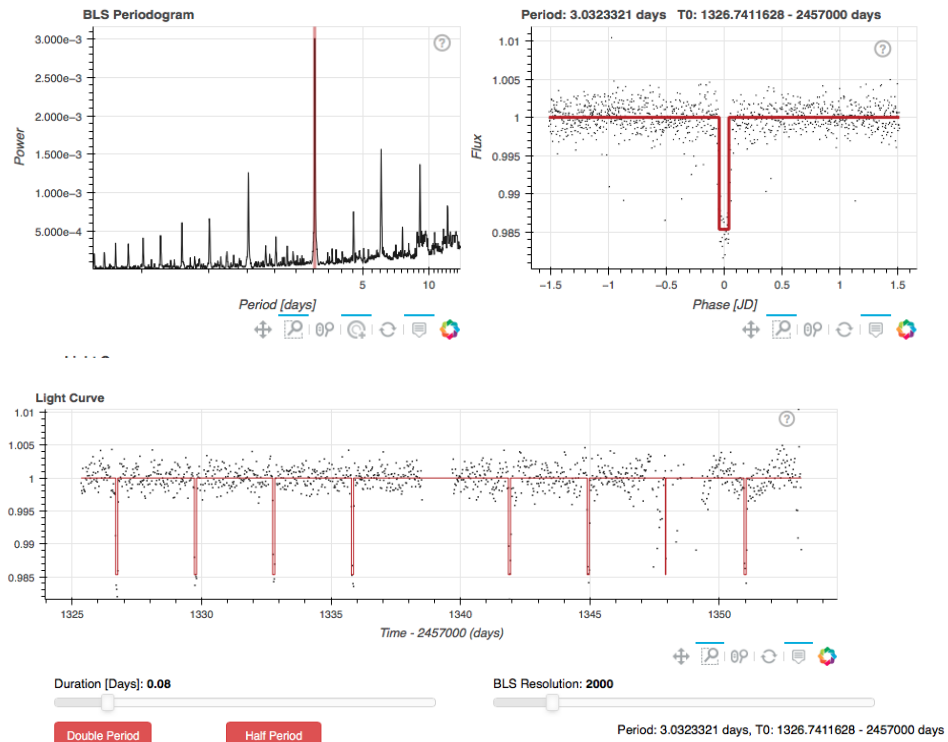
TIC 70440470 TPF_0

In [25]: `lc.interact_bls()`



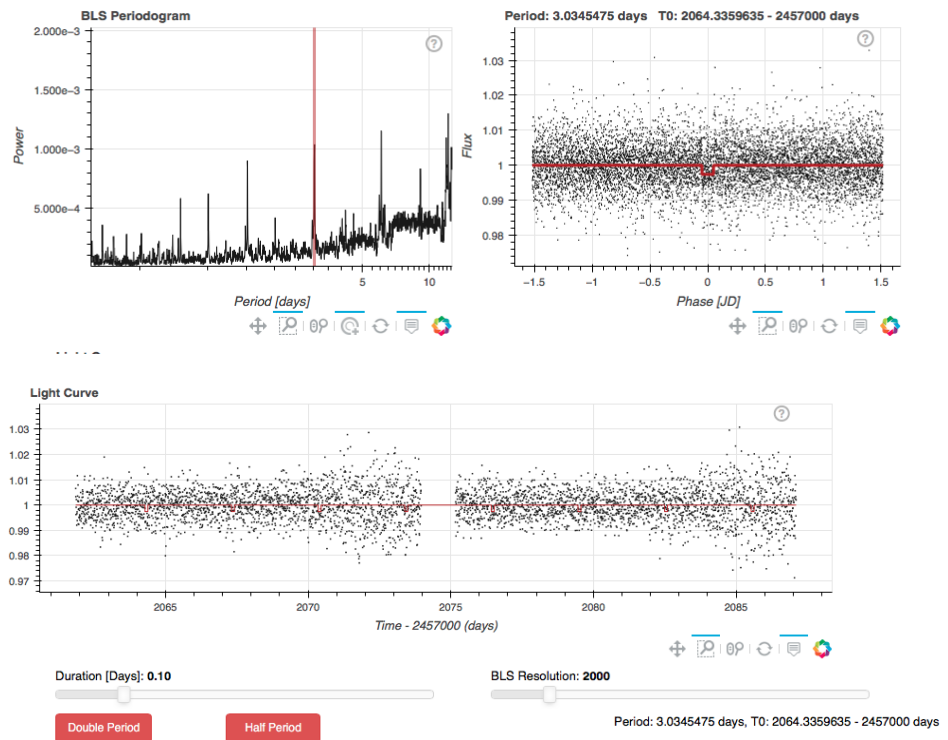
TIC 70440470 TPF_1

In [26]: `lc.interact_bls()`



TIC 70440470 TPF_2

In [49]: `lc.interact_bls()`



TIC 70440470 TPF_3

In [27]: `lc.interact_bls()`



KAYNAKÇA

[1] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Kristen Walbolt, NASA, 18.09.2020<<https://exoplanets.nasa.gov/>>

[2] Çağlar Püsküllü, Ötegezegenlerin Geçiş Gözlemlerinin Fotometrik Analizi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Doktora Tezi. 2016

[3] Derman, Ethem. Ötegezegen Araştırmalarının Tarihçesi. 02.12.2019<<http://www.ethemderman.com/gokbilimi/egitimsel-kaynaklar/otegezegenler/item/192-otegezegen-arastirmalarinin-tarihcesi>>

[4] Kepler-186f, Son Güncelleme Tarihi 05.12.2020, Vikipedi Özgür Ansiklopedi 20.10.2020<<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kepler-186f>>

[5] Eyes On Exoplanets Beta, NASA, 20.10.2020<https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/Kepler-186_f/>

[6] Gliese 581 d, Son Güncelleme Tarihi 04.12.2020, Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 20.10.2020 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Gliese_581_d>

[7] Yılmaz M. Sato B., Bikmaev I, Selam S.O., Izumiura H., Keskin V., Kambe E., S. S. Melnikov, A. Galeev, İ. Özavcı, E. N. Irtuganov ve R. Ya. Zhuchkov, “A Jupiter-mass planet around the K0 giant HD 208897”, *Astronomy and Astrophysics*, 608, (2017), A14

[8] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Gas Giant, Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020<<https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/gas-giant>>

[9] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Neptune-like Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020<<https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/neptune-like/>>

[10] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Super-Earth, Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020<https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/super-earth/#otp_key_facts>

[11] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Terrestrial, Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020<<https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/terrestrial/>>

[12] Kahverengi Cüce, Son Güncelleme Tarihi 05.12.2020, Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 16.09.2020<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kahverengi_c%C3%BCce>

[13] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, The Search For Life, Habitable Zone, Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/search-for-life/habitable-zone/>>

[14] Eyes On Exoplanets Beta, 25.10.2020<https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/system/Proxima_Cen/>

[15] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, The Search For Life, Why We Search, Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/search-for-life/why-we-search/>>

[16] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Frequently Asked Questions, Is There Life On Other Planets?, Kristen Walbolt, NASA, 16.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/faq/5/is-there-life-on-other-planets/>>

[17] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, 5 Ways to Find a Planet, Radial Velocity, NASA, 18.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/1>>

[18] Finding ExtraSolar Planets, 18.09.2020 <http://www.astro.sunysb.edu/fwalter/TALKS/Life/esp_2.html>

[19] Gözde Saral, *Ötegezegen Geçiş Yöntemleri ve Işık Eğrileri Analizi* (Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 2012) 11,12

[20] Kepler and K2, Light Curve of a Planet Transiting Its Star, Son Güncelleme Tarihi 07.08.2017, Nasa Content Administrator, NASA, 18.09.2020 <https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/transit-light-curve.html>

[21] Çağlar Püsküllü *Ötegezegenlerin Geçiş Gözlemlerinin Fotometrik Analizi* (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2016) 11,12)

[22] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, The Search For Life, Why We Search, Kristen Walbolt, NASA, 18.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/search-for-life/why-we-search/>>

[23] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, 5 Ways to Find a Planet, NASA, 18.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/3>>

[24] KBT Bilim Sitesi, Bir Ötegezegenin İlk Fotoğrafı ve Ötegezegenlerin Doğrudan Görüntülenmesi, Gökhan Atmaca, 18.09.2020 <<http://www.kuark.org/2017/04/bir-otegezegenin-ilk-fotografi-ve-otegezegenlerin-dogrudan-goruntulenmesi/>>

[25] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, 5 Ways to Find a Planet, NASA, 18.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/4>>

[26] Kütleçekimsel Merceklenme, Son Güncellenme Tarihi: 09.06.2020, Vikipedi Özgür Ansiklopedisi, 20.09.2020 <https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCtle%C3%A7ekimsel_merceklenme#cite_note-NYT-20150305-1>

[27] Telescopes and Space Missions, PhysicsWorld, Tushna Commissariat, 20.09.2020 <<https://physicsworld.com/a/gravitational-lensing-creates-einsteins-cross-of-distant-supernova/>>

[28] Astronomy Picture of the Day, The Einstein Cross Gravitational Lens, J. Rhoads, 20.09.2020 <<https://apod.nasa.gov/apod/ap070311.html>>

[29] Astronomy Picture of the Day , SDSSJ1430: Bir Galaxy Einstein Ring, A. Bolton, 20.09.2020 <<https://apod.nasa.gov/apod/ap080728.html>>

[30] Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, NASA Space Telescopes Pinpoint Elusive Brown Dwarf, Tony Greicius, Randal Jackson, Naomi Hartono, 20.09.2020 <<https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6673>>

[31] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, 5 Ways to Find a Planet, NASA, 22.09.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/5>>

[32] Kepler and K2, NASA, Mission Overview, Son Güncellenme Tarihi: 30.10.2018, Michele Johnson, National Aeronautics and Space Administration, 22.09.2020 <https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/overview/index.html>

[33] Kepler and K2, Where Kepler Sees, NASA, Son Güncellenme Tarihi: 03.11.2018, NASA Content Administrator, 24.09.2020 <https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/Kepler_FOV_300.html>

[34] Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Kepler Beyond Planets: Finding Exploding Stars, Elizabeth Landau, 24.09.2020 <<https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7086>>

[35] Kepler (Uzay Aracı), Son Güncellenme Tarihi: 01.04.2021, Vikipedi Özgür Ansiklopedisi, 25.09.2020 <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Kepler_\(uzay_arac%C4%B1\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kepler_(uzay_arac%C4%B1))>

[36] Artist's Rendering Of Kepler's Target Region In The Milky Way, Son Güncellenme Tarihi: 07.03.2009, Alexander Van Dijk, NASA, 25.09.2020 <https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/kepler-target-region-galaxy-closeup.html>

[37] Planet Hunters TESS, Our Mission, 05.10.2020 <<https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-tess/about/research>>

[38] Exoplanet Exploration, Planets Beyond Our Solar System, Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), Kristen Walbot, 08.10.2020 <<https://exoplanets.nasa.gov/tess/>>

[39] Mission Objectives, TESS, Son Güncellenme Tarihi: 04.05.2021, Thomas Barclay, 15.10.2020 <<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/objectives.html>>

[40] Planet Hunter TESS, Zooniverse, 19.10.2020 <<https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-tess/classify>>

[41] Tips and Tricks for Professional Astronomers, AstroBetter, Son Güncellenme Tarihi: 04.02.2019, 04.12.2020 <<https://www.astrobetter.com/blog/2019/02/04/exo-mast-a-new-tool-for-navigating-exoplanet-data/#:~:text=MAST%20is%20the%20archive%20for,fit%20to%20the%20transit%20signal>>

[42] TESS Arşiv Dokümantasyon Merkezi, Introduction to exo.MAST, STScI Outerspace, Son Güncellenme Tarihi: 05.12.2018, Scott Fleming, 04.12.2020 <<https://outerspace.stsci.edu/pages/viewpage.action?pageId=30278800>>

[43] Transits and Occultations, Semantic Scholar, John Winn, Son Güncellenme Tarihi: 2010, 03.01.2021 <<https://www.semanticscholar.org/paper/Transits-and-Occultations-Winn/847238f664bcb73a7947325075128d5177a0eda>>