

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ KOORDİNATÖRLÜĞÜNE

Proje Türü : Bağımsız Proje
Proje No : 13B4240006
Proje Yöneticisi : Prof. Dr. Selim O. Selam
Proje Başlığı : Güneş Benzeri Yıldızlar ve Çift Yıldızlar Etrafında Ötegezegen Araştırmaları

Yukarıda bilgileri yazılı olan projemin sonuç raporunun e-kütüphanede yayınlanmasını;

İSTİYORUM ☒

İSTEMİYORUM ☐

GEREKÇESİ:

09.11.2015

Proje Yöneticisi
İmza

1946



ANKARA ÜNİVERSİTESİ

**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU**

Güneş Benzeri Yıldızlar ve Çift Yıldızlar Etrafında Ötegezegen Araştırmaları

Proje Yürütücüsü

Prof. Dr. Selim O. Selam

Proje Ekibi

Yrd. Doç. Dr. Özgür Baştürk

Doç. Dr. Hakan Volkan Şenavcı

İbrahim Özavcı

Proje Numarası

13B4240006

Başlangıç – Bitiş Tarihi

05.07.2013 – 05.07.2015

Rapor Tarihi

06.07.2015

Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Ankara - 2015

1946

I. Projenin Türkçe ve İngilizce Adı ve Özetleri

Güneş Benzeri Yıldızlar ve Çift Yıldızlar Etrafında Ötegezegen Araştırmaları

Özet: İnsanoğlunun Güneş'ten başka yıldızların etrafında da gezegenlerin (ötegezegen) var olabileceği düşüncesi ile başladığı merak uyandırıcı arayışı, 1992'de ölü bir yıldız kalıntısının çevresinde ilk kez bir gezegenin bulunmasıyla (Wolszczan ve Frail 1992) ilk meyvesini vermiş, 1995'te Güneş benzeri bir yıldızın etrafında yörünge hareketi yapan başka bir gezegenin bulunması da (Mayor ve Queloz 1995), sadece bilim çevrelerince değil tüm dünya kamuoyunca büyük bir heyecanla karşılanmıştır. Bu gelişme, uluslararası boyutta farklı disiplinlerdeki bilim insanlarını bir araya getirerek, çağımızın en ilgili çekici ve çığır açacak nitelikteki araştırma alanlarından birinin doğmasına neden olmuştur. Bu milat noktasından günümüze kadar bu alanda geliştirilen farklı teknikler yardımıyla keşfedilen ötegezegen sayısı ise 2000'i aşmıştır. Önerilen bu proje çalışmasının temel amacı doğrultusunda, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR) mevcut teleskopları ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) T100 teleskobu yardımıyla ötegezegen keşfinde kullanılan Geçiş Zamanları Değişimi (Transit Timing Variations) ve Çift Sistemlerde Dönem Değişimi (Timing of the Minima of Low Mass Eclipsing Binaries) yöntemleri için gereken ışık eğrileri ve minimum zamanları (tutulma/geçiş profilinin merkezine/ortasına karşılık gelen zaman), uluslararası ortaklıklar kapsamında belirlenen aday yıldızlar için elde edilecek ve yine aynı kapsamda analizleri gerçekleştirilecektir. Elde edilecek olan veriler ve analizleri ile literatürde gezegen barındırma olasılığına sahip olduğu öne sürülen ya da en az bir ötegezegen bulundurduğu belirlenmiş ancak sisteme bağlı başka ötegezegenlerin de olabileceğinden şüphelenilen yıldızlara ilişkin bulgular değerlendirilip uluslararası düzeyde literatüre katkı sunulması, ülkemiz ve üniversitemizin, dar anlamda sadece astronominin değil günümüz biliminin en aktif çalışma alanlarından birinde daha ileri bir düzeye taşınması planlanmaktadır.

Exoplanet Search Around Solar-like Stars and Eclipsing Binaries

Summary: Intriguing quest of mankind started with the question whether planets exist around other stars gave its first reward when a planet was found in 1992 around a stellar remnant (Wolszczan & Frail 1992) and the discovery of a planet orbiting a Sun-like star in 1995 (Mayor & Queloz 1995) aroused excitement not only in scientific community but also in public all around the world. These discoveries brought scientist from different fields together and led to the birth of a new research area with the potential of opening an era in science. The number of exoplanets discovered with different techniques has exceeded 2000 since then. With this project, it has been aimed to obtain and analyze light curves and eclipse timings (the times corresponding to the eclipse/transit profile minima) of selected exoplanets with 1 meter telescope (T100) in TÜBİTAK National Observatory (TUG) and the telescopes in Ankara University Kreiken Observatory (AUKR) by making use of "Transit Timing Variations (TTV)" and "Timing of the Minima of Low Mass Eclipsing Binaries" techniques within the framework of international collaborations. It has been planned to evaluate the findings from the data analysis of the potential exoplanet hosting systems, contribute with those findings to the scientific literature, and to improve the know-how in our country and in our university in one of the most active fields of scientific research.

II. Amaç ve Kapsam

Önerilen çalışmanın temel amacı, ötegezegen keşfine yönelik herhangi bir verisi olmayan ve / veya keşif için yetersiz verisi bulunan aday yıldızların, bu araştırma projesi kapsamında planlanan yöntemlere uygun olarak verilerini elde etmek ve bu verilerin analizleri yardımıyla aday yıldızların gezegen barındırıp barındırmadığını, eğer barındırıyorsa yıldız-gezegen sistemine ilişkin bazı fiziksel parametreleri belirlemektir. Proje kapsamında gözlenmesi planlanan aday yıldızların etrafında gezegen keşfi kadar gözlem limitleri dahilinde bir gezegenin bulunamaması da önemli bir sonuç olarak değerlendirilmelidir. Zira ötegezegen araştırmalarının temel amaçlarından biri de gezegen sistemlerinin gökadamızda ne sıklıkta bulunduğunu anlamak ve buradan gelecek veriyle gezegen sistemlerinin oluşumu konusundaki mevcut senaryoları sınamaktır. Bu amaçlar doğrultusunda, her iki yöntem için, aday yıldızların belirlenmesi ile gözlem ve analizler birden çok uluslararası ortaklık kapsamında yürütülmektedir. Bu bağlamda, Geçiş Zamanları Değişimine (Transit Timing Variations) ilişkin çalışmalar Kore Astronomi ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'nden (KASI) Dr. Tobias Cornelius Hinse ve Ural Federal Üniversitesi'nden Artem Burdanov ile, Çift Sistemlerde Dönem Değişimi (Timing of the Minima of Low Mass Eclipsing Binaries) yöntemine ilişkin çalışmalar ise öncülüğünü Slovak Fen Bilimleri Akademisi, Astronomi Enstitüsü'nden Dr. Theodor Pribulla ve Dr. Martin Vanko'nun yaptığı "The Dwarf Project" isimli proje kapsamında yürütülmektedir. Dolayısıyla önerilen bu araştırma projesi uluslararası düzeyde bir bilimsel çalışmaya da katkı sağlayacaktır.

III. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada önerilen yöntemlere ilişkin gözlem tekniklerinden biri odak-dışı gözlem tekniğidir. Bu teknikte amaç, Nokta Dağılım Fonksiyonu (ing. Point Spread Function, PSF)'nu binlerce piksele yayarak, sistematik hatalardan mümkün olduğunca kurtulmaktır. Teleskobun odak-dışı kullanılması, gözlenen sistemin parlaklığına da bağlı olarak 60-150 saniye arasında değişen poz süreleriyle, PSF'nin 10000 piksel mertebesindeki bir alana dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde pek çok pikselde foton toplandığından, Poisson gürültüsü de minimuma inmiş olmaktadır. Sistematik hatanın en önemli kaynaklarından biri olan düz alan düzeltmesinden (flat fielding) gelen etki, PSF'nin çok sayıda piksel kapsamı nedeniyle birkaç mertebe azaltılabilmektedir. Ayrıca, CCD okuması daha geniş aralıklarda gerçekleştirildiği için okuma gürültüsü kaynaklı hataların azaltılması mümkün olmaktadır. Yöntemin tüm bu avantajları geçiş gözlem duyarlılığının optimize edilmesine imkan sağlamaktadır.

Odak-dışı fotometrik gözlemlerle elde etmeyi planladığımız ışık eğrilerinin analizi ve geçişleri gözlenen ötegezegenlerin fiziksel parametrelerinin belirlenmesi, Southworth vd. (2009a,b,c,d ve 2010) tarafından detaylarıyla anlatıldığı şekilde gerçekleştirilecektir. Veri indirgemesi ve açıklık fotometrisi için standart IRAF paketleri ve DAOPHOT fotometri paketine dayanan bir IDL yazılımı kullanılacak, ayrıca geçiş ışık eğrileri Southworth vd. (2004) tarafından geliştirilen EBOP yazılımının ötegezegen bileşen kaynaklı ışık değişimlerini modelleyen versiyonu olan JKT-EBOP yazılımından yararlanılarak modelleneyecektir.

Bu yöntemle gözlenecek cisimler daha önceden etrafında gezegen ya da gezegenlerin var olduğu ve gözlemcinin bakış doğrultusunda yıldızlarının önünden geçtikleri saptanmış cisimlerdir. Bu gezegen(ler)in gözlemcinin bakış doğrultusunda yıldızlarının önünden geçtikleri sırada yıldızdan gelen ışığın bir miktarını engellemeleri sonucu sistemden alınan toplam ışıktaki bir düşme meydana gelir. Bu düşmenin (ışık

minimumunun) miktarı, yıldızın ve gezegenin göreceli büyüklüklerine ve parlaklıklarına bağlıdır. Odak dışı fotometrik gözlemlerle elde edilmesi planlanan ışık eğrilerinden belirlenecek minimum zamanları, literatürdeki minimum zamanları ile birleştirilerek gezegenin yıldızının önünden hep daha önceden belirlenen zamanlarda geçip geçmediği saptanmaya çalışılacaktır. Zira, sisteme bağlı başka gezegen ya da gezegenlerin bulunması durumunda bu cisimler, daha önceden saptanmış ve geçişi gözlenmek istenen gezegenin yörüngesini tedirgin edecek ya da ışık-zaman etkisi nedeni ile sistemden alınan ışığın minimum olduğu zamanı değiştirecektir. Minimum zamanlarındaki bu değişimler analiz edilerek, söz konusu sisteme bağlı başka bileşenlerin de bulunup bulunmadığı tespit edilebilmektedir.

Gezegen geçişlerinin sebep olduğu küçük genlikli ışık değişimlerinden gezegen parametrelerinin hassas tayini ve geçiş sırasındaki minimum ışık zamanının saptanması oldukça güçtür ve çok sayıda fotonun toplanmasını gerektirir. Bu hedefe ulaşmanın bir yolu büyük çaplı teleskoplar kullanmak, diğer yolu ise yukarıda anlatılan odak dışı gözlem tekniğinden faydalanarak uzun poz süreleri vermektir. Ayrıca, proje kapsamında gözlenecek yıldızların bir kısmı sönük cisimlerdir. Tüm bu nedenlerle gözlemlerde uzun poz sürelerine ihtiyaç duyulur. Ancak bunun için kullanılan teleskobun takip sisteminin mükemmel yakın çalışması, uzun sürelerle gözlenen gökcisminin takibinin kararlı olması gerekmektedir. Bu ise teleskobun kutup ayarının çok iyi bir şekilde yapılabilmesine bağlıdır. Bu nedenle hassas bir ekvatoryal kundağ (ing. equatorial wedge) düzeneğine ihtiyaç duyulmaktadır. Takipteki hataların görüş alanına giren bir yıldızın başka bir kamera ile eş zamanlı gözlemlerinden belirlenmesi ve belirlenen hataların teleskobun otomatik olarak hareket ettirilmesi ile giderilmesi de iyi bir çözümdür.

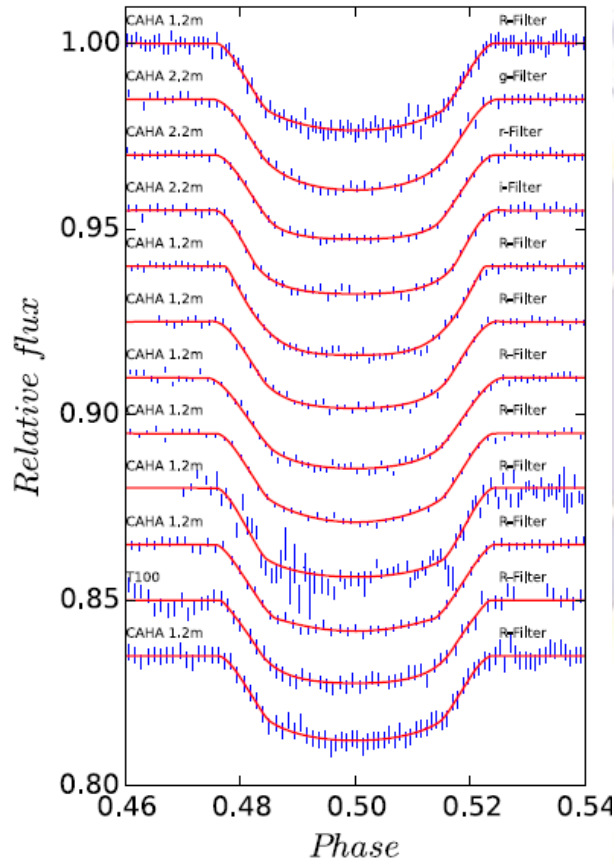
Bu araştırma projesinde önerilen bir diğer yöntem olan Çift Sistemlerde Dönem Değişimi (Timing of the Minima of Low Mass Eclipsing Binaries) kapsamında, seçilmiş aday yıldızlar için öncelikle en uygun gözlem sezonu belirlenecektir. Buna bağlı olarak ilgili gözlem sezonunda gözlenecek yıldızların tutulma zamanları hassas olarak hesaplanarak uygun bir gözlem programı oluşturulacaktır. Gözlemler esnasında, aday yıldızların sıcaklıklarına bağlı olarak farklı filtreler ve Sinyal / Gürültü (S/N) oranını arttırmak amacıyla “binning” (pikselleri birleştirme) tekniği kullanılacaktır. Poz süreleri aday yıldızların parlaklıklarına göre belirlenerek “temiz” bir tutulma profili elde etmek için yeterli sayımlara ulaşılması sağlanacaktır.

Gözlemsel olarak minimum zamanlarının hassas bir şekilde belirlenmesi, neredeyse bir asırdır bilinen ve doğrudan görülemeyen ilave bileşenlerin varlığını ortaya çıkarmada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Pribulla & Rucinski 2006, Beuermann vd. 2011). Dikine hız değişimlerinin tersine, gözlenen Işık-Zaman Etkisi'nin genliği yörünge dönemi ile doğru orantılıdır (bkz. Denklem 1). Dolayısıyla tekniğin duyarlılığı, uzun dönemli sistemlerdeki ilave bileşenlerin belirlenmesinde daha da artmaktadır. Buna ek olarak keskin minimumlara sahip çift yıldızlarda zamanlama, daha da duyarlı olarak hesaplanabilmektedir. Öyle ki keskin tutulma profillerine sahip çift yıldızların ± 10 sn hassasiyetle elde edilecek tutulma zamanlarıyla $\sim 10 M_{\text{Jüpiter}}$ kütleindeki ve 10 – 20 yıl yörünge dönemine sahip ötegezegenlerin varlığı saptanabilmektedir (Ribas 2006).

$$\Delta T = \frac{2M_3 G^{1/3}}{c} \left[\frac{P_3}{2\pi(M_1 + M_2)} \right]^{2/3}$$

IV. Analiz ve Bulgular

Bu araştırma projesi kapsamında, projenin başlangıç tarihinden bugüne değin TUG T100 teleskobu ile 9 ötegezegenin 14 duyarlı ışık eğrisi odak dışı gözlem tekniği yöntemiyle gözlenmiştir. Bu gözlemlerde elde edilen CCD görüntülerinin tamamı IRAF¹ yazılımının ilgili paketleri kullanılarak indirgenerek istenmeyen etkilerden arındırılmış ve hizalanmış, ışık ölçümleri John Southworth tarafından (Southworth vd. 2009a) IDL programlama diliyle geliştirilen DEFOT programı ile gerçekleştirilerek ışık eğrileri elde edilmiş ve JKTeBOP yazılımı ile analiz edilerek ötegezegenlere ilişkin göreceli büyüklük parametreleri hesaplanmıştır. Şu ana kadar bu ışık eğrilerinden Qatar-1b ötegezegenine ait olan T100 ışık eğrisi (Şekil-1) ve çözümü, uluslararası proje ortaklarımız ile birlikte yayınlanmıştır (Mislis vd. 2015).



Şekil-1. Qatar-1b ötegezegeninin Calar Alto (İspanya)'daki Centro Astronómico Hispano Alemán (CAHA) gözlemevindeki 1.23 m (CAHA 1.2m) ve 2.2 m çaplı teleskopları ve TUG-T100 teleskobu (alttan ikinci) kullanılarak elde edilen ışık eğrileri ve çözümleri (Mislis vd. 2015).

Gözlenen diğer ışık eğrilerinin araştırma grubumuz ve uluslararası ortaklarımızca yayınına yönelik çalışmalar sürmektedir. Grubumuzca ışık eğrisi analizleri gerçekleştirilen ötegezegenler (HAT-P-19b ve XO-3b) için yüksek etki faktörlü bilimsel dergilerde yayınlamak üzere daha fazla sayıda ışık eğrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu

¹ IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatories, which are operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under cooperative agreement with the National Science Foundation.

amaçla TUG'a 2015-B gözlem dönemi için tarafımızca bir gözlem projesi sunulmuş ve projemize TUG Akademik Kurulunca Haziran-Eylül 2015 gözlem döneminde 13 gözlem gecesi tahsis yapılmıştır. Bu gecelerde söz konusu cisimlere ilişkin fotometrik gözlemlerin tamamlanması hedeflenmektedir.

Ayrıca bazı ötegezegenler için elde edilen ışık eğrileri gözlem hassasiyetimizi göstermek üzere iki uluslararası konferansta ("Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes", 23-26 Eylül 2013 ve "Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets", 8-12 Eylül 2014, Litomysl, Çek Cumhuriyeti) birer sözlü bildiri ile sunulmuş (Baştürk vd. 2014a, Baştürk vd. 2015) ve kongre kitaplarında (ing. proceeding) bu araştırma projesine verilen desteğe teşekkür notları ile birlikte yayınlanmıştır.

Projenin zamanlama tekniği ile gezegen arama ayağında ise proje öncesinde dahil olunan ve Slovakya Bilimler Akademisi'nden Theodor Pribulla yürütücülüğünde sürdürülen "The Dwarf Project" gözlem ağına ek olarak, St. Petersburg Üniversitesi Sobolev Astronomi Enstitüsü'nden Dr. Roman Baluev'in yürütücülüğünde sürdürülen "Amatör Teleskoplarla Gezegen Keşif" ağına da dahil olunmuştur. Çift yıldızlar etrafında gezegen araştıran The Dwarf Project'in ilk bulguları 23-26 Eylül 2013 tarihleri arasında Tatranska-Lomnica, Slovakya'da düzenlenen "Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes" konferansında Theodor Pribulla tarafından bir sözlü bildiri ile sunulmuştur (Pribulla vd. 2014). Grubumuzun Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde etrafında gezegen kütlelerinde 3. cisim aramak amacıyla takip etmekte olduğu çift sistemlerden ikisi için gerçekleştirdiğimiz dönem değişimi analizleri de "Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets" konferansında bir posterle sunulmuştur (Yılmaz vd. 2015). Amatör Teleskoplarla Gezegen Keşfi projesi ise amatör teleskopların zamanlama tekniği ile gezegen keşfi konusundaki potansiyellerini ortaya koyan ve projeyi tanıtan ilk yayını bu araştırma projesine bir teşekkür notu ile birlikte yayınlamıştır (Baluev vd. 2015).

V. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırma projesi ile 1 metre ve altında çapa sahip, küçük teleskopların ötegezegen araştırmalarındaki potansiyeli ortaya konmuş, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 35 cm ve 40 cm çaplı teleskopların, bu proje ile sağlanan otomatik takip ve ekvatoryal kundak düzenekleri sayesinde, ötegezegen çalışmalarında aktif olarak kullanılmaları sağlanmıştır. Her iki teleskobun söz konusu donanım geliştirmeleri sonrası özellikle zamanlama yöntemiyle tek ya da çoklu sistemlerde gezegen araştırmaları amacıyla kullanışlılıkları tespit edilmiştir. Bu teleskoplar bu tür sistemlerde gezegen arayan uluslararası teleskop ağlarına dahil edilmiş, bu amaçla uluslararası ortaklıklar kurulmuş ve bu uluslararası ortaklıkların ilk sonuçları alınmaya başlanmıştır (bkz. Pribulla vd. 2014, Baluev vd. 2015).

Ötegezegen araştırmaları gerek bilimsel, gerek popüler yayınlarda büyük ilgi görmekte; kamuoyları tarafından da dikkatle takip edilmektedir. Bu alanda genelde Türk araştırmacıların, özelde Ankara Üniversitesi araştırmacılarının uluslararası ortaklıklar yoluyla varlıklarının hissettirildiği ve katkı yapmalarının mümkün olduğu inancındayız. Önerimiz araştırmacıların zamanlama yöntemiyle gezegen keşfinde kendi gözlemlerinin yanı sıra kuracakları uluslararası ortaklıklar sayesinde elde edecekleri gözlemsel veriyi de kullanmaları ve birlikte yapılacak ortak analizlerle keşif çalışmalarına katkı sunmaları yönündedir. Güneş-benzeri bir yıldız etrafında geçiş yapan ilk ötegezegen sistemi keşfinin bundan sadece 15 yıl önce (Charbonneau vd. 2000) yapıldığı

düşünülecek olduğunda bugüne kadar biriken geçiş zamanlarının azlığı / yetersizliği kolaylıkla görülür. Bu gözlemlerin sayısını arttırmanın ve daha geniş bir zaman aralığına yaymanın yolu uluslararası ortaklarla birlikte belirli kriterler (aynı sistemde daha önce keşfedilmiş gezegen(ler)in yıldızla yakınlık, dışmerkezlilik, dönem gibi parametrelerinin göz önüne alınarak oluşturulan) dahilinde seçilen sistemlerin sık ve hassas gözlemlerinin gerçekleştirilmesidir.

Zamanlama yöntemiyle tek ve çift sistemler etrafında yapılacak gezegen araştırmaları, geçiş ya da örtme/örtülme minimum zamanlarının hassas tespitine dayanmaktadır. Zaman ölçüm hassasiyeti iki şekilde arttırılabilir: 1) Gözlem zamanlarının daha hassas tespiti 2) Işık ölçüm duyarlılığının yükseltilmesi. Gözlem zamanlarının daha hassas tespiti için gözlem yapılacak noktada (rasathanede) bir zaman sunucusunun (time server) kurulması önerilmektedir. Ancak bu şekilde hassasiyet, daha küçük (Dünya kütesine yakın) gezegen bulmaya elverişli 1 saniye ve altına indirilebilir. Bu nedenle küçük kütleli gezegen bulmayı hedefleyen tüm araştırmacılara önerimiz zamanlama ölçümlerini bulundukları yere kuracakları bir Katman-2 (Stratum-2) zaman sunucusu yardımı ile gerçekleştirmeleridir.

Zamanlama gözlemlerinde hassasiyeti arttırmanın diğer bir yolu fotometrik (ışık ölçüm) hassasiyetini yükseltmektir. Bu noktada ayna çapı kritik rol oynamaktadır. Büyük ayna çapı, zayıf ışık kaynağı olan yıldızlardan daha fazla ışık (foton) toplanmasını, bu şekilde Sinyal / Gürültü oranının yükseltilmesini ve kısa zaman aralıklarında (poz sürelerinde) duyarlı gözlemlerin yapılmasını mümkün hale getirir. Önerimiz bu tür gözlemlerde mümkün olduğunca büyük çaplı teleskoplardan faydalanılmasıdır. Ancak Dünya'nın her tarafındaki büyük çaplı teleskopların programları oldukça yoğundur ve bu tür teleskoplarda zamanlama gözlemlerine vakit ayıramamaktadır. Bu durum 1 metre ve altında çapa sahip küçük teleskopların önemini arttırmaktadır. Bu tür teleskoplarda ışık ölçüm hassasiyetini arttırmak için amaca uygun seçilmiş, duyarlı CCD dedektörler kullanmanın yanı sıra teleskobun takip hassasiyetini arttırmak amacıyla hassas ekvatoryal kundak düzenekleri (ing. equatorial wedge) ve otomatik takip sistemlerinden (ing. Autoguiding systems) yararlanılması önerilmektedir. Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nin mevcudundaki 35 – 40 cm çaplı teleskoplar gibi küçük teleskoplar için özel üretim ekvatoryal kundak düzenekleri bulunmakla birlikte (35 cm'lik T35 teleskobumuzda bu düzenden bulunmakta olup, 40 cm'lik T40 teleskobumuz için de bu proje kapsamında temin edilmiştir) otomatik takip sistemleri genellikle hazırda bulunmaz. 40 cm ayna çaplı T40 teleskobunda daha önce kullandığımız ve elimizdeki imkanlarla kendi geliştirdiğimiz, küçük çaplı (6-7 cm), mercekli bir teleskobun arkasına bağlı basit bir CCD dedektör (Meade SkyImager – II) bu amaçla kullanılabilir. Ancak bu proje kapsamında sağlanan ve bu amaçla geliştirilmiş, SBIG ST-i Guider and Planetary Cam kamerasıyla çok daha iyi bir takip duyarlılığına ulaşmak mümkün olmuştur. Bu araştırma projesi sırasında elde ettiğimiz deneyimler, otomatik takip sistemlerinin yönetiminde ise ücretsiz bir yazılım olan PHD Guiding (<http://www.stark-labs.com/phdguiding.html>) yazılımının oldukça başarılı sonuçlar verdiği yönündedir.

Işık ölçüm hassasiyetini arttırmanın bir diğer yolu ileri gözlem tekniklerinden faydalanmaktır. Parlak yıldızların gözlemlerinde uzun poz süreleri kullanarak Sinyal / Gürültü oranını (SNR) arttırmaya dayanan odak dışı gözlem tekniği (ing. defocusing technique) uzunca bir süredir bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Yöntem, Nokta Dağılım Fonksiyonu'nun (ing. Point Spread Function kısaltması olarak PSF) binlerce piksele yayılarak poz süresinin uzatılmasına ve geniş bir alanda çok sayıda foton kullanılarak SNR'nin arttırılmasına dayanmakta, bu yöntemle takip duyarlılığından ve düz alan düzeltmesinden gelen hatalar da en az birer mertebe azaltılabilmektedir

(Southworth vd. 2009a). Yöntemin dezavantajı poz sürelerinin uzaması nedeniyle zaman çözünürlüğünün düşmesidir. Özellikle zamanlama tekniğine dayalı araştırmalarda bu durum önemli bir problem gibi gözükse de ulaşılan fotometrik duyarlılık, minimum profiline Gauss fonksiyonu, parabol uyumlaması ya da doğrudan fiziksel model uyumlaması sonucu elde edilecek minimum zamanlarındaki hatanın oldukça düşük olmasını sağlayabilmektedir. Elde edilen duyarlı ışık eğrileri geçiş yapan gezegenin görelî parametrelerinin belirlenmesinin yanı sıra geçiş zamanlarının da bu şekilde duyarlı belirlenebilmesini sağlar. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) konuşlandırılmış 1 metre aynı çaplı T100 teleskobu ve Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde (AUKR) konuşlandırılmış 35 cm ayna çaplı T35 teleskobunda bu teknikle yapılan gözlemlerde ulaştığımız sonuçlar, zamanlama tekniğiyle gezegen araştırmalarında kullanılmaya elverişli bir zamanlama duyarlılığına (< 10 sn) ulaşabildiğimizi göstermektedir.

Özet olarak bu proje sonucunda elde ettiğimiz deneyim; küçük teleskoplar kullanarak zamanlama tekniği ile tek ve çift sistemlerin etrafında gezegen keşif çalışmalarında aranan zamanlama hassasiyetine, hassas zaman ölçümlerinin yanı sıra takip duyarlılığının hassas ekvatoryal kunda ve otomatik takip sistemleri ile artırılması ve mümkün olduğu vakit, özellikle parlak yıldızların gözlemlerinde odak dışı gözlem tekniğinin kullanılması yoluyla fotometrik hassasiyetin de artırılması sonucu ulaşılacağı yönündedir.

VI. Geleceğe İlişkin Öngörülen Katkılar

Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'ndeki teleskoplara (T35 ve T40) bu proje kapsamında temin edilerek kurulan düzeneklerin kullanılmasıyla Güneş-benzeri tek ve çoklu sistemlerdeki yıldızlar etrafında zamanlama tekniğiyle gezegen keşfine yönelik araştırmaları sürdürmek amacındayız. Bu amaç doğrultusunda ve uluslararası ortaklıklar kapsamında her iki teleskopa da gözlem projeleri sunulacak, gözlem dönemine uygun olarak seçilen sistemlerin gözlemlerine devam edilecektir. Elde edilen minimum zamanları düzenli olarak "Bülten" niteliğinde uluslararası hakemli bir dergi olan Information Bulletin of Variable Stars (IBVS) dergisinde (bir örneği için bkz. Baştürk vd. 2014b) ve Exoplanet Transit Database (<http://var2.astro.cz/ETD/>) elektronik veritabanında duyurulacak, biriken minimum zamanları kullanarak uluslararası ortaklarımızla birlikte yapılacak analizler ise SCI endeksi tarafından taranan uluslararası hakemli dergilerde yayınlanacaktır.

Seçilmiş çift yıldızlar etrafında zamanlama tekniğiyle gezegen keşfine yönelik çalışmalarımızın ilk bulguları bölümümüz araştırma görevlisi ve Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Yüksek Lisans öğrencisi Ekrem Murat Esmer tarafından yüksek lisans tez çalışması olarak sonuçlandırılmak üzeredir.

Bu projeden elde ettiğimiz deneyimle, uluslararası ortaklarımızdan Arizona/ABD ve Sutherland/Güney Afrika Cumhuriyeti'nde kurulu, çok geniş alan gören, iki küçük teleskopla gezegen arayan KELT (The Kilodegree Extremely Little Telescope) gezegen araştırma projesi (Pepper vd. 2004) kapsamında Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki teleskoplara araştırma grubumuzca gözlem projeleri önerilerek, tespit edilen aday cisimlerin takip gözlemleri gerçekleştirilecektir. Elde edilen sonuçların ortaklarımızla birlikte SCI tarafından taranan uluslararası bilimsel dergilerde yayınlanması planlanmaktadır.

Ayrıca bizim gibi KELT projesi takip ağına (ing. follow-up network) üye Lehigh

University ve Westminster College tarafından Amerika Birleşik Devletleri National Science Foundation (NSF)'a sunulan bir eğitim projesinin kabulü durumunda bu üniversitelerde kayıtlı 4 lisans öğrencisinin bölümümüzde araştırma grubumuzla 8 hafta süreyle çalışması ve eğitim görmesi planlanmaktadır.

VII. Sağlanan Altyapı Olanakları ile Varsa Gerçekleştirilen Projeler

Bu proje kapsamında merkezimize kazandırılan ekvatoryal kundak ve otomatik takip düzenekleri rasathanede sürmekte olan tüm araştırmaların gözlemlerinde kullanılmaktadır. Tüm bu projeler (http://rasathane.ankara.edu.tr/?page_id=128) poz sürelerinin kayda değer miktarda artırılmasıyla yükselen fotometrik hassasiyetten faydalanmaktadır.

VIII. Sağlanan Altyapı Olanaklarının Varsa Bilim/Hizmet ve Eğitim Alanlarındaki Katkıları

Bu proje kapsamında merkezimize kazandırılan ekvatoryal kundak ve otomatik takip düzenekleri araştırma grubumuzca teleskoplara monte edilmiş ve çalıştırılmıştır. Lisans ve yüksek lisans öğrencilerimizin de katılımıyla gerçekleştirilen bu kurum çalışmaları dahi grubumuza önemli bir deneyim kazandırmıştır. Bunun yanı sıra, ulusal gözlemevinin (TUG) yanı sıra uluslararası pek çok gözlemevinde bulunan otomatik takip sistemlerinin ve ilgili bilgisayar programlarının kullanımları lisans ve lisansüstü öğrencilerimizden oluşan gecelik gözlem gruplarımızca gerçekleştirilmekte ve onların bu tür gözlemlere uyumu ve eğitimi konusunda katkı sağlamaktadır.

IX. Kaynaklar

- Baluev, R. vd. 2015. NA, 41, 42
- Baştürk, Ö., vd. 2014a. CoSka, 43, 402
- Baştürk, Ö., vd. 2014b. IBVS, 6125
- Baştürk, Ö., vd. 2015, International Conference Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets, to be printed in ASPC Conference Series in 2015
- Beuermann, K., Buhlmann, J., Diese, J., vd., 2011, A&A 526, 53
- Charbonneau, D. vd., 2000, ApJ 529, L45
- Mayor, M. ve Queloz, D. 1995. Nature, Vol. 378; pp. 355-359
- Mislis, D., vd. 2015, MNRAS, 448, 2617
- Pepper, J., vd. 2004, AIPC, 713, 185
- Pribulla, T., Rucinski, S.M., 2006, AJ 131, 2986
- Pribulla, T., Vaňko, M., Dwarf Team. 2014. CoSka, 43, 375
- Ribas, I., 2006, Astrophysics of variable stars, ASPC 349, p. 55
- Southworth, J. vd. 2004, MNRAS, 351, 1277
- Southworth, J. & Hinse, T.C., vd., 2009a, MNRAS, 392, L11
- Southworth, J. & Hinse, T.C., vd. 2009b, MNRAS, 396, 1023
- Southworth, J. & Hinse, T.C., vd. 2009c, MNRAS, 399, 287
- Southworth, J. & Hinse, T.C., vd. 2009d, ApJ, 707, 167
- Southworth, J. & Mancini, L., vd. 2010, MNRAS, 408, 1680
- Wolszczan, A. & Frail, D. A., 1992, MNRAS, 355, 145
- Yılmaz, M. vd. 2015, , International Conference Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets, to be printed in ASPC Conference Series in 2015

X. Ekler

1. a. Mali Bilanço ve Açıklamaları

b. Harcama Fasil Aktarma Resmi Kabul Yazısı

2. Makine ve Teçhizatın Konumu ve İlerideki Kullanımına Dair Açıklamalar

3. Uluslararası Toplantı Bildirileri ve Posterleri:

a. 8-12 Eylül 2014 tarihleri arında Çek Cumhuriyeti'nin Litomysl şehrinde düzenlenen "Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets" başlıklı uluslararası konferansta sözlü bildiri olarak sunulan ve Astronomical Society of the Pacific Conference Series tarafından basılacak konferans kitabında bu projeye teşekkür notuyla birlikte yayınlanacak olan çalışmamız.

b. 8-12 Eylül 2014 tarihleri arında Çek Cumhuriyeti'nin Litomysl şehrinde düzenlenen "Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets" başlıklı uluslararası konferansta poster olarak sunulan ve Astronomical Society of the Pacific Conference Series tarafından basılacak konferans kitabında bu projeye teşekkür notuyla birlikte yayınlanacak olan çalışmamız.

c. 23-26 Eylül 2013 tarihleri arasında Slovakya'nın Tatranska-Lomnica şehrinde düzenlenen "Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes" başlıklı uluslararası konferansta sözlü bildiri olarak sunulan ve SCI-expanded endeksi tarafından taranan Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso dergisinde bu projeye teşekkür notumuzla birlikte yayınlanan çalışmamız.

4. Uluslararası Hakemli Dergilerdeki Makaleler

a. (SCI) Baluev, R.V., Sokov, E.N., Shaidulin, V.S., Sokova, I.A., Jones, H.R.A., Tuomi, M., Anglada-Escude, G., Benni, P., Colazo, C.A., Schneider, M.E., D'Angelo, C.S.V., Burdanov, A., Fernandez-Lajus, E., Başürk, Ö., Hentunen, V., P., Shadick, S., 2015, "Benchmarking the power of amateur observatories for TTV exoplanets detection", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 450, 3101

b. (SCI) Mislis, D.; Mancini, L.; Tregloan-Reed, J.; Ciceri, S.; Southworth, J.; D'Ago, G.; Bruni, I.; Başürk, Ö.; Alsubai, K. A.; Bachelet, E.; Bramich, D. M.; Henning, Th.; Hinse, T. C.; Iannella, A. L.; Parley, N.; Schroeder, T., 2015, "High-precision multiband time series photometry of exoplanets Qatar-1b and TrES-5b", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448, 261

c. Bastürk, O.; Bahar, E.; Senavci, H. V.; Kilicoglu, T.; Ozavci, I.; Burdanov, A.; Yilmaz, M.; Caliskan, S.; Tezcan, C. T.; Yorukoglu, O.; Ozkeles, A.; Izci, D. D.; Gumus, D.; Avci, Z.; Ozturk, D.; Selam, S. O.; Ekmekci, F.; Albayrak, B., 2014, "Times of Minima of Eclipsing Binaries and Mid-Transit Times of Transiting Exoplanets", Information Bulletin of Variable Stars, 6125

d. (SCI-Expanded) Şenavcı, H.V., Yılmaz, M., Başürk, Ö., Özavcı, İ., Çalışkan, Ş., Kılıçoğlu, T., Tezcan, C.T., 2014, "A Tale on Two Close Binaries in Pegasus", Baltic Astronomy, 23, 123

e. (SCI) Nelson, R. H., Şenavci, H. V., Başürk, Ö., Bahar, E., 2014, "BI CVn – A spotted, overcontact, type-W eclipsing binary", New Astronomy, 29, 57

yayınlarımız ile birlikte oluşan nihai listemizde bu proje çalışması kapsamında SCI tarafından taranan uluslararası bilimsel dergilerde yayınlanmış 4 makale; biri SCI-expanded tarafından taranan uluslararası bilimsel bir dergide, diğeri NASA-ADS dahil pek çok veri tabanı tarafından taranan konferans kitabında basılmış olmak üzere uluslararası konferanslarda sunulmuş 2 sözlü bildiri ve 1 poster ile uluslararası hakemli bir dergide yayınlanmış 1 bülten niteliğinde yayınlımız yer almaktadır.

