

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ KOORDİNATÖRLÜĞÜNE

Proje Türü : Altyapı Projesi (AYP)
Proje No : 15A0759002
Proje Yöneticisi : Prof. Dr. Selim Osman Selam
Proje Başlığı : Örtün Çift Yıldızların İnk ve Dikine Hız Etkisi Analizleri

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

ST YORUM

STEM YORUM GEREKÇESİ

..... / / 20
Prof. Dr. Selim Osman Selam

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU**

Örten Çift Yıldızların Işık ve Dikine Hız Etkisi Analizleri

Prof. Dr. Selim Osman Selam

Doç. Dr. Hakan Volkan İnanavcı Doç. Dr. Mesut YILMAZ Dr. Ö. Üyesi Özgür BAŞTÜRK

15A0759002

30.12.2015 - 30.04.2018

29.05.2018

Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Ankara - 2018

I. Projenin Türkçe ve İngilizce Adı ve zetleri

Türkçe Adı : rten ift Yıldızların Iık ve Dikine Hız Erisi Analizleri

İngilizce Adı : Light and Radial Velocity Curve Analyses of Eclipsing Binary Stars

Özetleri

: ÖZET:

Yıldız astrofizi nin en önemli amaçlarından biri yıldız evriminin, bir ba ka deyi le yıldızların ya amı boyunca geçirdikleri fiziksel ve kimyasal süreçlerin daha iyi anla ılmasıdır. Bu amacın gerçekleştirilmesi, farklı evrim durumlarında bulunan çok sayıdaki yıldızın temel fiziksel parametrelerinin güvenilir biçimde ortaya konmasına dayanmaktadır. Tek yıldızların tayfsal ve/veya fotometrik (1 ık ölçümüne dayalı) gözlemleri, onların mutlak fiziksel parametrelerinin do rudan elde edilmesine olanak vermemektedir. Oysa kütle çekim yasasına dayalı olarak birbirleri etrafında yörünge hareketi yapan çift yıldızların tayfsal ve fotometrik gözlemlerinden, her bir bile en yıldız için mutlak fiziksel parametrelerinin (kütle, yarıçap, toplam 1 nım gücü vb.) elde edilmesi mümkündür. Dolayısıyla çift yıldızlar ve özellikle de yakın çift yıldızlar tek yıldızların incelenmesine kıyasla, evrimsel süreçler ve fiziksel parametreler hakkında çok daha fazla bilgiye ulaşmamızı sa lamaktadır. Olabildi ince çok sayıda yıldız için mutlak fiziksel parametrelerin belirlenmesi ise yıldız evriminde her bir a amanın ve dolayısıyla içinde bulundu umuz Samanyolu gökadasının da daha detaylı olarak aydınlatılması açısından büyük önem ta ımaktadır. İhtiyaç duyulan bu parametrelere ulaşabilmek, yakın çift yıldızların tayfsal ve fotometrik gözlemlerinin e zamanlı olarak analizi ile mümkün olmaktadır.

7 Mart 2009 tarihinde fırlatılan Kepler Uzay Teleskobu'nun birincil görevi, transit yöntemi yardımıyla so uk yıldızlar etrafında dolanan Dünya benzeri gezegenleri ke fetmektir. Yakla ık 156000 yıldızın neredeyse kesintisiz olarak elde edilen ve oldukça yüksek hassasiyete sahip Kepler uydu verileri (fotometrik veri), ötegezegen ara tırmalarının yanı sıra örten çift yıldızlar gibi farklı fiziksel özelliklere sahip birçok yıldızın fotometrik anlamda ayrıntılı ara tırmasına olanak sa laması bakımından günümüzde yıldız astrofizi nin önemli bir laboratuvarı haline gelmi tir.

Dolayısıyla, önerdi imiz bu alt yapı projesi kapsamında Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'ne kazandırmayı planladı ımız orta-çözünürlüklü tayfçeker ile birlikte rasathanemizin mevcut teleskop ve odak düzlemi aletleri kullanılarak, projeye uygun olarak seçilmi yıldızların tayfsal ve fotometrik gözlemlerinin elde edilmesi ve e zamanlı analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede her bir sistemin 1 ımsal ve geometrik parametrelerinin yanı sıra kütle, yarıçap, 1 nım gücü gibi mutlak fiziksel parametreleri de elde edilecektir. Böylelikle, bu proje kapsamında incelenmesi planlanan farklı türden çift yıldız sistemlerinin bazıları için fiziksel do aları ilk kez detaylı bir e kilde ortaya konacak olup bazıları için de tayfsal gözlemlerden elde edilecek kütle merkezinin dikine hızı (V_{γ}) parametresinin literatürde mevcut di er kütle merkezi dikine hızı de erleriyle kar ıla tırılarak 1 ık – zaman etkisine ba lı dönem de i im karakteristikleri incelenecektir. Parametreleri iyi bilinen bu tür yıldızların sayıca artı 1, aralarındaki fiziksel ve evrimsel ili kilerin daha iyi anla ılmasına katkı sa layacaktır.

ABSTRACT:

One of the most important quest of stellar astrophysics is to understand the stellar evolution, in other words, the physical and chemical processes that a star experiences through its entire life. The success of the quest depends on deriving fundamental parameters of numerous stars in various stellar evolutionary phases. The spectral and / or photometric observations of single stars do not allow deriving the absolute stellar parameters directly. On the other hand, it is possible to derive them from spectral and photometric observations of binary stars orbiting a common center of mass based on the universal law of gravity. Therefore

investigations of especially close binary systems provide more information about the evolutionary processes and physical parameters compared to single stars. Determination of the absolute parameters of stars of a large sample plays an important role in enlightening each phase of stellar evolution, and hence, the structure of our galaxy, Milky Way. This will be possible with simultaneous analysis of the spectral and photometric observations of close binary stars.

The primary goal of the Kepler Space Telescope, sent to space back on 7 March 2009, is to discover Earth-like exoplanets orbiting cool stars using the transit method. With its uninterrupted and ultra-precise photometric measurements of almost 156 000 stars, Kepler has become an important data source for stellar astrophysics, making it possible to investigate many stars with different physical properties, e.g. eclipsing binaries, as well as exoplanets in unprecedented detail.

Consequently, we aimed to obtain and analyze spectral and photometric observations of binary systems selected in parallel to the goals of the project, including two Kepler stars, with the medium-resolution spectrograph purchased with the fund provided with this project, and the existing observing equipment in our observatory. As a result, we planned to derive the absolute parameters, such as masses, radii, and luminosities, as well as the radiative and geometric properties of the systems in our sample. In this way, the fundamental properties of some of the stars in our sample will be provided to the literature for the first time, while it will also be possible to investigate the orbital period behavior of them based on the analysis of our own measurements of their systemic radial velocity (V_{γ}) together with that already published. Our findings will contribute to the number of stars with spectroscopically derived fundamental parameters, and eventually, to a better understanding of the physical and evolutionary relations between them.

II. Amaç ve Kapsam

Önerilen çalı manın öncelikli amacı, henüz fotometrik ve/veya tayfsal gözlemleri literatüre yansımamı ya da e zamanlı yörünge çözümü gerçekleştirilmemiş olan bir grup örten çift yıldızın fotometrik/tayfsal gözlemleriyle 1 ık ve dikine hız e rilerini elde ederek e zamanlı analizlerini gerçekleştirme ve fiziksel özelliklerini detaylı olarak ortaya koymaktır. Bu amaç do rultusunda, aday yıldızların tayfsal gözlemlerini, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T40 Kreiken Teleskobu ve önerdi imiz bu alt yapı projesi kapsamında rasathanemize kazandırmayı hedefledi imiz orta çözünürlüklü tayfçeker yardımıyla gerçekleştirilmeyi planlamaktayız. Proje kapsamındaki fotometrik gözlemlerin ise yine Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T35 Teleskobu ve buna ba lı yüksek kuantum etkinli ine sahip Apogee ALTA-U47 CCD kamera ile elde edilmesi hedeflenmektedir. Proje kapsamında önerdi imiz aday yıldızlardan ikisi için Kepler Uzay Teleskobu'yla elde edilmi , yüksek hassasiyette, yakla ık 4 yıllık bir zaman aralı nı kapsayan ve neredeyse kesintisiz 1 ık e risi verileri mevcuttur. Bu türden yüksek duyarlılı a sahip 1 ık e rilerinin dikine hız verileri ile e zamanlı olarak analizi, sistemlere ili kin mutlak parametrelerin çok daha hassas bir biçimde elde edilmesine olanak sa lamakta ve literatürde oldukça büyük ilgi görmektedir.

Çift yıldızların uzay hızı de erlerinin zamana ba lı de i imi, sisteme fiziksel olarak ba lı ba ka bir cismin varlı nı ortaya koymak bakımından büyük bir önem ta ımaktadır. Bu ba lamda, önerilen bu projenin amaçlarından bir di eri de, literatürde dikine hız gözlemleri mevcut olan bazı çift yıldızların hem tayfsal hem de fotometrik gözlemlerinden elde edilecek verilerin analizleri yardımıyla mutlak parametrelerin revize edilmesi ve dikine hız gözlemlerinden elde edilen kütle merkezinin dikine hızı (V_{γ}) de erlerinin literatürdeki di er benzer hız de erleriyle kar ıla tırılmasıdır. Proje önerisine konu olan örten çift yıldız sistemleri hakkındaki istatistik genellemeler, kalibrasyonlar ve evrim modellerinin güncellenmesinin yanı sıra bu türden sistemlerin fiziksel özelliklerinin daha iyi anla ılabilmesi ve yapılan çalı maların güvenilirlik derecelerinin artabilmesi için iyi çalı ılmı örnek sayılarının artı na iddetle ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla bu çalı ma ile hedeflenen amaçların, literatürde ihtiyaç duyulan bu veri gereksinimine belli oranda katkıda bulunaca ı ve özellikle Kepler Uzay Teleskobu tarafından elde edilen yüksek duyarlılıklı verilerin analizleri ile güvenilirlik ve hassasiyet açısından literatüre önemli katkılar sunaca ı inancındayız. Bu ba lamda, önerilen proje çalı ması kapsamında bazı örten çift yıldız sistemlerinin, elde edilecek güvenilir parametreleriyle, yıldız evrimi ve astrofizi ine önemli bir kaynak sa lanaca ı dü ünülmektedir. Bu yolla bilimsel birikime yapılacak katkılarının yanı sıra proje kapsamında talep edilen orta çözünürlüklü tayfçeker ile ülkemizde hiçbir üniversite rasathanesinde bulunmayan bir dedektörün rasathanemize kazandırılmasıyla birlikte hem bilimsel hem de e itsel anlamda rasathanemizin ve dolayısıyla üniversitemizin vizyonunun geni lemesi açısından önemli bir adım atılmı olacaktır. Buna ek olarak, rasathanemiz bünyesinde bilimsel çalı malarını sürdüren genç ara tırmacıların ilgili alanda daha fazla deneyim kazanmaları da sa lanmı olacaktır.

III. Materyal ve Yöntem

Bu ara tırma projesindeki temel amaç Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi bünyesinde bulunan T40 Kreiken Teleskobu'na yeni bir odak düzlemi aleti (tayfçeker) kazandırarak seçilmi bazı çift yıldız sistemlerin tayfsal verilerini elde etmektir. Projenin nihai hedefi ise, elde edilen bu gözlemsel verilerin e zamanlı (fotometrik ve tayfsal veriler) analizleri ile seçilmi çift yıldız sistemlerin fiziksel ve mutlak parametrelerini belirlemek ve bu sistemlerin evrimsel durumlarını irdelemektir. Bu kapsamda, seçilmi aday yıldızların tayfsal verileri Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 40 cm ayna çaplı Meade marka LX200 GPS model T40 Kreiken Teleskobu ve ona monte edilen Shelyak eShel marka echelle tayfçekeri ile elde edildi. Tayfçekerin çözünürlü ü $R=13000$ olup 4340 - 7400 Angström dalgaboyu aralı ını kapsamaktadır. Tayfsal verileri kayıt etmek için 2758 x 2208 piksele sahip QSI 660 model bir CCD dedektör kullanıldı. Seçilen çift yıldız sistemlerine ili kin liste Tablo 3.1'de, aday yıldızların dikine hız ölçümlerinin elde edilebilmesi için gerekli olan dikine hız standart yıldızları ise Tablo 3.2'de verildi.

Elde edilen tayfsal veriler Shelyak eShel tayfçeker ile birlikte gelen Audela 3.0 yazılımı ile ilk olarak ön indirgeme a amalarından (bias, dark ve flat düzeltmeleri) geçirildi. Ardından yine aynı yazılım kullanılarak blaze etkileri giderildi ve toryum-argon (ThAr) lamba tayfı yardımıyla da dalgaboyu kalibrasyonları yapıldı. Bu a amadan sonra tayflar süreklilik seviyeleri dikkate alınarak normalize edildi. Proje kapsamında elde edilen örnek bir yıldız tayfı ekil 3.1'de verildi.

Bu çalı mada, elde edilen çift yıldız tayflarından dikine hız ölçümlerinin belirlenebilmesi için Geni leme Fonksiyon (BF: Broadening Function) (Rucinski, 2004) yöntemi kullanıldı. BF yöntemi çapraz e le tirme fonksiyonunu (CCF: Cross-Correlation Function) temel alan ve yıldızların dikine hız ölçümlerini elde etmede kullanılan standart bir yöntemdir. İgili yöntem temel olarak, birçok tayf çizgisinin daha önce iyi bilinen standart bir yıldız tayfı ile e le tirilmesine ve bu sayede Doppler kayma miktarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Ayrıca standart yıldız tayfına belirli bir geni leme de kattı ndan yıldız tayfı ile uyumlu bir e le tirme sa lar. Ancak bunun için çok fazla birbiriyle örtü memi ve geni lememe belirli tayf çizgilerin kullanılması gerektirmektedir. Bu çalı mada literatürde bu amaç için sıklıkla kullanılan 5041.755, 5167.487, 5171.585 ve 5227.15 Angström dalgaboylarındaki nötr demir (Fe) çizgileri kullanıldı (bkz. Rucinski, 2004; Yılmaz vd., 2017). Aday yıldızların BF'lerini elde etmek için Shelyak eShel tayfçekere özgü IDL yazılım dilinde bir kod yazıldı. Bu kod yardımıyla çift sistemlerin BF profilleri belirlendi. Ardından bu profillere yapılan iki Gauss fiti ile profil merkezleri, dolayısıyla tayfların elde edildi i yörünge evrelerine ili kin dikine hız de erleri hesaplandı. Örnek olarak V972 Her sisteminin BF yöntemi kullanılarak elde edilen ve 0.75 yörünge evresine ait olan hız profili ekil 3.2'de verildi. İgili sistemlerin yörüngelerinde, özellikle bile enlerin dikine hız de erlerinin en yüksek oldu u 0.25 ve 0.75 yörünge evrelerine denk gelen zamanlar civarında yapılmı olan tayfsal gözlemler ile sistemlerin dikine hız ölçümleri daha sa lıklı ölçülebilmektedir. Son olarak, hesaplanan dikine hız ölçümleri için Dünya'nın dönme ve Güne etrafındaki yörüngesinin neden oldu u hız farkları düzeltildi. Bu a amadan sonra çift sistemlerin yörünge dönemlerine göre dikine hız ölçümleri evrelendirilerek dikine hız e rileri elde edildi. Örnek bir dikine hız e risi ise ekil 3.3'te verildi.

Aday yıldızların ı k e rileri ise Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR) T35 Teleskobu'nun yanı sıra All Sky Automated Survey (ASAS), Hipparcos ve Kepler gözlemlerinden elde edildi. AUKR T35 teleskobu ile yapılan gözlemlerde Apogee ALTA U47 CCD kamera ve Bessel BVRI filtreleri kullanıldı. Elde edilen bu gözlem verilerine standart ön indirgeme adımları uygulandı (bias, dark, flat düzeltmeleri). Aynı gözlem gecelerinde gözlenen mukayese yıldız gözlemleri ile aday yıldızlara açıklık fotometrisi uygulanarak diferansiyel parlaklık de i imleri elde edildi. Dikine hız ölçümlerinde oldu u gibi, elde edilen parlaklık de i imleri çift sistemlerin yörünge dönemlerine göre evrelendirilerek sistemlerin ı k e rileri elde edildi.

Elde edilen dikine hız ve ı k e rileri birlikte analiz edilerek çift sistemlerin fiziksel ve mutlak parametreleri belirlendi. Bu a amada Wilson-Devinney (1971) analiz kodunun bir grafik arayüzü olan PHOEBE (Prsa vd., 2011) yazılımı kullanıldı. Örtün çift yıldız sistemlerin türlerine göre ilgili

MOD'lar seçilerek 1 ık ve dikine hız e rileri için e zamanlı çözümler gerçekleştirildi.

1 ık ve dikine hız analizlerinin yanı sıra, proje kapsamında bazı yıldızların kimyasal bolluk analizleri de gerçekleştirildi. Burada amaç, hem Shelyak eShel tayfçekerinin yeteneğini ortaya koymak hem de bu tayfçeker ile farklı çalımların da yapılabilir olduğunu göstermektir. Yıldızların kimyasal bolluk analizleri için öncelikle Hidrojen Balmer serisi çizgilerine profil fiti ile sıcaklık tayini yapıldı. Ardından tayflarda görünen temiz ve örtü memi tayf çizgilerinin e de er geni lik ölçümleri yapılarak çizgiyi oluşturan elementlere ilişkin bolluk değerleri hesaplandı. Bu parametreleri belirlemek amacıyla ATLAS9 (Kurucz, 1993) model atmosfer programı kullanıldı ve analizler için gerekli atomik veriler ise VALD3 (Ryabchikova, 2015) veri tabanından elde edildi.

IV. Analiz ve Bulgular

Aday çift yıldız sistemlerimizden V566 Oph ve V972 Her'in, T40 Kreiken Teleskobu ile yapılan tayfsal gözlemleri sonucunda dikine hız ölçümleri ve fotometrik gözlemler sonucunda da 1 ık e rileri elde edildi. E zamanlı dikine hız ve 1 ık e risi analizleri ile çift yıldız sistemlerin temel parametreleri hesaplandı. V566 Oph sisteminin fotometrik gözlemleri AUKR T35 teleskobu ile elde edilirken, V972 Her sisteminin 1 ık de i im genliğinin (0.08 kadir) çok düşük olması sebebiyle Hipparcos uzay teleskobunun fotometrik gözlemleri kullanıldı. Bununla birlikte, V566 Oph sisteminin analizinde Johnson V filtresinde gözlem yapan All Sky Automated Survey (ASAS) gözlemleri de kullanıldı. Her iki sistemin 1 ık e rileri, sistemlere ait 1 ık elemanları kullanılarak evrelendirildi ve her bir filtrenin maksimum parlaklık seviyesine göre normalize edildi.

Her iki sistemin 1 ık e risi ve dikine hız e risi analizi için PHOEBE yazılımı kullanıldı. Her iki sistemin de e sıcaklıklı olmayan a ırı de en sistemler olması nedeniyle PHOEBE yazılımında MOD 3 kullanıldı. Birinci bile enlerin yüzey sıcaklığı sistemin tayf türüne atf yapılarak Popper (1980) sıcaklık kalibrasyon tablolarından V566 Oph için $T_1=6456$ K (Abt, 2009) ve V972 Her için $T_1=6522$ K (McDonald vd., 2012) hesaplandı. Bu değerler 1 ık ve dikine hız analizi çözümlerinde sabit parametreler olarak dikkate alındı. Analizlerde yörünge e im açısı (i), yarı-büyük eksen uzunluğu (a), kütle oranı (q), kütle merkezinin dikine hızı (V_{γ}), ikinci bile enin yüzey sıcaklığı (T_2), yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$), ve birinci bile enin 1 ınım gücü (L_1) değerleri ise serbest parametreler olarak dikkate alındı. Çift sistemlerin albedo ve çekim kararması değerleri ise yıldızların ba bile enlerin sıcaklıklarından dolayı konvektif atmosfere sahip olduğu varsayımıyla sırasıyla 0.5 ve 0.32 olarak girildi.

Sistemlerin 1 ık e risinde soğuk ya da sıcak yıldız lekelerinin varlığını gösterecek yapıların bulunmaması sebebiyle analizlerde leke yaklaşımlarında bulunulmadı. V566 Oph sisteminin e zamanlı analizinde tüm evreler için sentetik ve gözlemsel veriler arasında, dalgaboyuna bağlı bir fark bulunması sebebiyle üçüncü 1 ık katkısı var olduğu görüldü. Her iki sistem için hesaplanan mutlak parametreler Tablo 4.1'de listelendi. Her iki sistem için e zamanlı 1 ık e risi ve dikine hız e risi analiz sonuçları Tablo 4.2'de verildi. V566 Oph sisteminin 1 ık e rileri ve en iyi model e risi ekil 4.1'de, dikine hız e risi ve yapılan en iyi model fiti ekil 4.2'de verildi. E zamanlı analiz sonucu elde edilen parametrelere göre üretilen geometrik model de ekil 4.3'de gösterildi. Benzer şekilde V972 Her için 1 ık e rileri, dikine hız e rileri ve en iyi modeli sırasıyla ekil 4.4, 4.5, 4.6'da verildi.

T40 Kreiken Teleskobu'nda bulunan Shelyak eShel tayfçekeri ile yapılan bir diler çalıması olarak HD 23193 ve HD 170920 yıldızlarının kimyasal bolluk analizi yapıldı. HD 23193 ve HD 170920 yıldızlarının etkin sıcaklığı ve yüzey çekim ivmesi Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi bünyesindeki Shelyak eShel tayfçekeriyle elde edilen yıldız tayflarındaki H_beta profillerine (ekil 4.7) yapılan teorik modellerden elde edildi. Yıldızlara ilişkin bu atmosfer parametreleri kullanılarak atmosferlerindeki C, O, Na, Mg, Al, Si, S, Ca, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Y ve Ba elementlerinin bollukları TUG RTT150 teleskobuna bağlı e el tayfçekeri kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü tayflardan belirlendi (ekil 4.8).

V. Sonuç ve Öneriler

Çalı mamızın ana hedefi bazı çift yıldızların dikine hız ölçümlerin elde edilmesidir. Bu amaç do rultusunda, proje kapsamında, öncelikle Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T40 Kreiken Teleskobu'nun oda ına orta çözünürlüklü Shelyak eShel marka tayfçeker temin edilerek ba arılı bir biçimde monte edildi. Tayfçekerin özelliklerini ve limitlerini test edebilmek için daha önce literatürde parametreleri iyi bilinen bazı çift yıldızların tayfsal gözlemleri elde edildi. Yapılan tayfsal gözlemler ile bu yıldızlara ait dikine hız ölçümleri hesaplandı ve önceki sonuçlarla karşılaştırıldı. V566 Oph sistemi için Pribulla vd. (2006) ve V972 Her için Rucinski vd. (2002) çalı maları ile karşılaştırıldı ında dikine hız analizleri sonucunda benzer sonuçlar elde edildi i görüldü. Kar ıla tırmalı sonuçlar a a ıda Tablo 5.1'de verildi.

Gerçekle tirilen testler ile proje kapsamında rasathanemize kazandırılan tayfçekerin ortalama $R=13000$ çözünürlü e sahip oldu u anlaşıldı. Bu tayfçeker ile gözlenebilecek en sönük yıldızın görsel (V) parlaklı ı 30 dakikalık poz süresi ile 8,0 kadir ve bu durumda Sinyal/Gürültü (S/N) oranının yaklaşık 50-60 oldu u belirlendi. Ayrıca analizlerde tayfçekerin 0,05 Angstrom/pixel'lik bir lineer dispersyona sahip oldu u da görüldü. Bu sonuçlar, V 8,0 kadirde daha parlak yıldızlar için T40 Kreiken Teleskobu ve Shelyak eShel tayfçekeri kullanılarak orta çözünürlüklü tayflarının elde edilebildi ini göstermektedir. Daha sönük kaynakların tayfını elde edebilmek için ise daha büyük çaplı bir teleskoba ihtiyaç oldu u anlaşılmaktadır. u anki mevcut sistem ile yıldızların dikine hız ölçümleri, erken tür yıldızların kimyasal bolluk analizleri ve çizgi profil de i imlerinin ba arılı bir şekilde çalı ılabilece ini göstermektedir.

Bu çalı mada bir yan ürün olarak bazı yıldızların kimyasal bolluk analizleri de gerçekleştirildi. HD 23193 ve HD 170920 yıldızlarının kimyasal bolluk çalı masının sonucunda HD 23193'ün kimyasal tuhaf metalik çizgili Am yıldızı oldu u, HD 170920'nin ise kimyasal normal bir yıldız oldu u ortaya kondu. Elde edilen bu de erler teorik evrim modelleri ile karşılaştırılarak difüzyon modelinin bu yıldızların atmosferlerini hangi ölçüde modelleyebildi i test edildi.

Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 40 cm ayna çaplı Meade marka LX200 GPS model T40 Kreiken Teleskobu'na monte edilen Shelyak eShel marka echelle tayfçeker, Dünya'daki di er gözlemevlerinin tayf gözlem sistemleri ile prensipte benzer özelliklere sahiptir. Dolayısıyla bu sistem ile yapılan/yapılacak gözlemler SCI kapsamındaki dergilerde yayın üretme potansiyeline sahiptir. Bu sistem üniversitemiz ve ülkemiz ara tırma alanı çe itlili ine önemli bir katkı sağlayacaktır. Bunun yanında, Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nde hem lisans hem de lisansüstü e itim gören öğrenciler bu tayf düzene i ile yeni gözlem projeleri üretebilecekler ve aynı zamanda Dünya'daki farklı gözlemevlerinde de tayfsal gözlem yapabilecek yetkinli e ulaabileceklerdir.

VI. Gelece e li kin Öngörülen Katkılar

Örten çift yıldızlar, bile enlerin mutlak parametrelerinin ve özellikle de kütlenin do rudan hesaplanabilmesi açısından yıldız astrofizi inde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu parametreler kullanılarak tek yıldızlara ili kin kalibrasyonlar yapılabilmekte ve sonuç olarak yıldız evriminin anla ılmasına önemli katkılar sa lanmaktadır. Literatürde bu türden sistemlere ili kin pek çok çalı ma mevcuttur (Basturk vd., 2015; Zola vd., 2016; Yılmaz vd., 2017 v.b.). Ancak örten çift sistemlerin bu parametrelerinin elde edilebilmesi için bir tam yörünge dönemi boyunca hem ı ık e risinin hem de dikine hız de erlerinin birlikte analiz edilmesi gerekir. Bu ölçümlerin bir tam yörünge dönemi boyunca elde edilmesi do rudan çift sistemin yörünge dönemi ile ili kilidir. Dolayısıyla kısa dönemli bu tür sistemler, ilgili verilerin daha kısa sürede elde edilmesi açısından sıklıkla tercih edilirler. Bu durum da özellikle istatistiksel çalı malarda e ilimli sonuçlar do urur. Bu sebeple literatürde analiz edilmemi uzun dönemli sistem sayısı çok fazladır. Bu ba lamda, proje kapsamında rasathanemize kazandırılan tayfçeker ile bu türden uzun dönemli sistemlerin analizleri gerçekleştirilebilir ve özellikle istatistik anlamında literatüre önemli katkılar sunabilir.

Yer tabanlı telekoplara ve uzay teleskoplarının belirli bir bölümü (WASP, ASAS, Kepler v.d.) örten de i en yıldızlara ait çok fazla sayıda ı ık e risi elde etmektedir ve bu verilerin büyük bölümü bilim insanlarının kullanımına açıktır. Örne in Kepler uzay teleskobu TB (terabyte) mertebesinde bir veri birikimine sahiptir ve bu her geçen yıl daha da artmaktadır. Geçti imiz yıl fırlatılan Gaia uzay teleskobu ve yakın zamanda fırlatılması planlanan James Webb Uzay Teleskobu da dikkate alındı na bu veri birikiminin katlanarak büyüyece i açıktır. Dolayısıyla bu verilerin Yer tabanlı teleskoplarla desteklenerek analiz edilmesi ve üstelik bunların özellikle tayfsal gözlemlerle desteklenmesi gerekecektir. Bu noktada, parlaklı mın izin verdi i ölçüde proje kapsamında rasathanemize kazandırılan tayfçeker düzene i ile yapılacak olan tayf gözlemleri literatüre önemli katkılar sa layabilir.

Örten de i en yıldızların mutlak parametrelerinin elde edilmesine ek olarak, ilgili tayfçeker düzene i kullanılarak, tek veya çift yıldızların yüzey parlaklık da ılımının incelenmesine imkan veren Doppler Görüntüleme tekni i (Doppler Imaging) ve molekül bandı analizleri de gerçekleştirilebilmektedir. Bu türden analizler yıldızların özellikle manyetik aktivite do alarının anla ılması bakımından son derece önemlidir. Ayrıca, tek yıldızların kimyasal bolluklarının belirlenmesi, yıldız atmosferlerine ili kin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, dönme hızı ve metal bollu u gibi önemli parametrelerin elde edilmesine imkan vermektedir. Bu türden analizler için gereken gözlem verileri, yine proje kapsamında rasathanemize kazandırılan tayfçeker düzene i ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede rasathanemiz bünyesinde tek yıldızların kimyasal bolluklarına ili kin gözlemleri yardımıyla onların kimyasal özelliklerinin ve teorik modeller ile uygunluklarının test edilebilece i bir altyapı, rasathanemize kazandırılmı tır.

Çift sistemlere ba lı ilave bile enler (üçüncü cisim gibi), çift sistemin kütle merkezinin dikine hız ölçümlerinin zamana ba lı de i imlerinden tespit edilebilmektedir. Bu hızların ölçümü Doppler etkisi sonucu tayftaki çizgilerin kayma miktarından hesaplanabilmektedir. Rasathanemize kazandırılan tayfçeker düzene i kullanılarak bu yöntem vasıtasıyla hem çift sisteme ba lı ilave bile en ke fi hem de ba ka yöntemlerle tespit edilen ilave bile enlerin denetlenmesi açısından önemli katkılar sunacaktır.

VII. Sa lanan Altyapı Olanakları ile Varsa Gerçekle tirilen Projeler

Bu tayfçeker sistemi ile literatürde yeterli çalı ması bulunmayan bazı çift yıldız sistemlerinin e zamanlı dikine hız ve ı ık e risi analizleri üzerine çalı malar gerçekleştirildi. Belirlenen sistemlerin dikine hız ölçümleri bu altyapı projesi ile temin edilen tayfçeker ve rasathanemizde bulunan 40 cm ayna çaplı Kreiken Teleskobu yardımıyla elde edildi. ı ık e rileri ise yine rasathanemizde bulunan ve fotometrik gözlemler için kullanılan 35 cm ayna çaplı T35 Teleskobu ile elde edildi. Yapılan gözlemler sonucunda V566 Oph ve V972 Her sistemlerine ait dikine hız ve ı ık e risi verileri tamamlandı ve e zamanlı dikine hız ve ı ık e risi analizi çözümleri gerçekleştirildi. Elde edilen bulgular SCI kapsamındaki Astrophysics and Space Science (Ap&SS) dergisinde yayımlandı.

VIII. Sa lanan Altyapı Olanaklarının Varsa Bilim/Hizmet ve E itim Alanlarındaki Katkıları

Proje kapsamında Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'ne kazandırılan Shelyak eShel marka orta -çözünürlüklü tayfçeker düzene i kullanılarak yapılan ve yapılması planlanan bilimsel çalı malar, gerek bilimsel gerekse e itsel anlamda üniversitemizi bir adım daha öteye ta ıyacaktır.

Bu alt yapı projesi ile birlikte, rasathanede çalı malarını sürdüren genç ara tırmaçlıların yapaca ı çalı malar yeni bir boyut kazanacak ve çalı ma alanı çe itlili ine zenginlik katacaktır. Ayrıca, bu tayfçeker düzene i ile elde edilen veriler, lisans ve lisansüstü derslerde okutulan Gözlemsel Astronomi, Tayfsal Analiz, Tayfsal Çift Yıldızlar ve Astronomide Görüntü leme II gibi dersler için uygulama verisini do rudan elde etme olana ı sa layarak önemli bir altyapı deste i kazandırmı tır. Dersi alan ö renciler bu sistemin verileri üzerinde çalı ıp, bu alanda daha fazla deneyim elde edeceklerdir. Bununla birlikte, proje kapsamında rasathanemize kazandırılan tayfçeker düzene i sayesinde, yüksek lisans ve doktora tez çalı maları için de bu alanda gözlem verisi elde edilebilecektir. Tüm bunlara ek olarak bu tayfçeker düzene inin, ülkemizde hiçbir üniversite rasathanesinde bulunmayan bir düzenek olması da üniversitemiz açısından oldukça önemlidir. lerleyen dönemlerde ba ka ara tırmaçlıların da rasathanemize kendi projelerini önerebilecekleri ve rasathanemizde bulunan bu sistem ile gözlem yapabilecekleri bir planlama dü ünülmü tür.

IX. Kaynaklar

- Ba türk Ö., et al., 2015, New Astron., 41, 42
Kurucz R., 1993, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1993., 13
Popper D. M., 1980, ARA&A, 18, 115
Pribulla T., et al., 2006, AJ, 132, 769
Prsa A., Matijevic G., Latkovic O., Vilardell F., Wils P., 2011, PHOEBE: PHysics Of Eclipsing BinariEs, Astrophysics Source Code Library (ascl:1106.002)
Rucinski S. M., 2004, in Maeder A., Eenens P., eds, IAU Symposium Vol. 215, Stellar Rotation. p. 17
Rucinski S. M., Lu W., Capobianco C. C., Mochacki S. W., Blake R. M., Thomson J. R., Ogloza W., Stachowski G., 2002, AJ, 124, 1738
Ryabchikova T., Pakhomov Y., 2015, Baltic Astronomy, 24, 453
Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, ApJ, 166, 605
Yılmaz M., Nelson R. H., enavcı H. V., zci D., Özavcı ., Gümü D., 2017, Rev. Mex. Astron. Astrofis., 53, 29
Zola S., et al., 2016, AJ, 152, 33

X. Ekler

a) Mali Bilanço ve Açıklamaları:

| Giderin Açıklaması | Miktarı (Adet) | Birim Fiyatı | KDV Dahil Tutarı | Harcama Yılı | | |
|---|----------------|--------------|------------------|--------------|-----------|------|
| 03.2 Tüketime Yönelik Mal ve Malzeme Alımları | | | | | | |
| Yazıcı Toneri 3 | 140,00 | 420,00 | 2015 | | | |
| Yazıcı Toneri 3 | 416,67 | 1.250,00 | 2015 | | | |
| 5'li paket koli A4 80gr/m2 fotokopi ka ıdı 5 (koli) | 42,80 | 214,00 | 2015 | | | |
| Harici Sabit Disk 1 | 1.002,00 | 1.002,00 | 2015 | | | |
| 03.7 Menkul Mal, Gayrimaddi Hak Alım, Bakım ve Onarım Giderleri | | | | | | |
| Kontrol Bilgisayarı 2 | 2.296,50 | 4.593,00 | 2015 | | | |
| Monitör 2 | 499,00 | 998,00 | 2015 | | | |
| 16inç Meade LX200 GPS marka teleskobun bakım ve onarımı | | | 1 | 5.000,00 | 5.000 | |
| 06.1 Mamul Mal Alımları | | | | | | |
| Orta Çözünürlüklü Komple Tayfçeker Sistemi | | | 1 | 84.523,00 | 84.523,00 | 2015 |

b) Makine ve Teçhizatın Konumu ve lerideki Kullanımına Dair Açıklamalar:

Bu proje kapsamında temin edilen Shelyak eShel marka echelle tayfçeker, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 40 cm ayna çaplı Meade marka LX200 GPS model Kreiken Teleskobu'na monte edildi. Test gözlemleri esnasında teleskobun sa açıklık motoru arızalanmış tır. Motor proje kapsamında temin edildikten sonra teleskop yeniden çalıştırılmış ve tayfçekerin montajı esnasında tayfçekerin voltaj regülatörü arızalanmış tır. Bu arıza da giderilmiş olup düzenek bilimsel gözlem projelerinin yapılmasına uygun hale getirilmiştir. Düzenek in, Temmuz 2018 gözlem döneminde astronomların kullanımına açılması planlanmaktadır.

c) Teknik ve Bilimsel Ayrıntılar (varsa Kesim III'de yer almayan analiz ayrıntıları):

Shelyak eShel marka tayfçeker, rasathanemizde bulunan T40 Kreiken Teleskobu'na monte edilmiştir. T40 Kreiken Teleskobu, Maxim DL programı aracılığıyla kontrol edilmektedir. Tayfçekerin kontrolü ise Audela 3.0 programı ile gerçekleştirilmektedir.

T40 Teleskobu'nun bir gökcismine yönlendirildikten sonra, tayf gözleminin istenilen poz süresi mertebesinde devam edebilmesi için hassas takip sistemi kullanılmaktadır (ing. guiding). Bu sistem, ATIK Titan marka CCD kamera, teleskoptan gelen ışık takip kamerasına, tayfçeker kamerasına veya kalibrasyon birimlerine gönderen FiGU (Fiber Guiding Unit) ve sistemin yazılımsal kontrolünün yapıldığı PHD Guiding programından oluşmaktadır. Gözlenecek cismin görüntüsü ATIK CCD kamera ile sürekli olarak birkaç saniyelik poz sürelerinde alınır. CCD kameraya ışık yönlendiren diagonal aynanın ortasındaki yarı çaplı gözlenecek cismin görüntüsü düzürldüğü zaman, cismin ışık tayfçekere iletilmektedir. Ancak cismin görüntüsünün çizgisel boyutu bu yarı çap boyutundan görece büyük kaldığından, CCD kameradaki yarı çapın etrafında bir halka görüntüsü oluşmaktadır. PHD Guiding programı, bu halkanın konumunu hesaplar ve her yeni görüntüde eski konumuna geri getirebilmek için teleskoba yönlendirme komutları verir. Böylece gözlenecek cismin görüntüsü gözlem süresi boyunca yarı çap düzürülür ve ışık tayfçekere iletilir. Bu sistem sayesinde 1 saat ve üzerinde poz süreleri vermek mümkün hale gelmiştir.

Diagonal aynadan geçen ışık, tayfçekere 20 metre uzunluğunda ve 50 mikrometre çaplı fiberoptik kablolar yardımıyla iletilmektedir. Böylece gök cisimlerinden gelen az miktardaki ışık çok az kayıp ile tayfçekere ulaşabilmektedir. Tayfçeker, teleskop odasının altında bulunan karanlık odada bulunmaktadır. Fiberoptik kablolar ile taşınan ışık tayfçekere ulaştıktan sonra dalgaboylarına ayrılarak echelle tayf oluşturulur ve tayfçeker üzerinde bulunan 2758x2208 piksel çözünürlüklü QSI 660 CCD kamerasına yönlendirilir. Bu kamera ile alınan görüntü, kontrol bilgisayarına kaydedilir.

Tayfsal görüntülerin kalibrasyon işlemleri için gerekli olan kalibrasyon görüntüleri, içerisinde LED, tungsten ve toryum-argon (ThAr) lambaların bulunduğu kalibrasyon ünitesi sayesinde elde edilir. Kalibrasyon ünitesinde bulunan LED ve tungsten lambalar, echelle tayftaki basamakların eğiliminin belirlenmesinde ve her bir basamaktaki görüntünün kenarlarında daha sönük ortalarında daha parlak oluşması etkisinin (ing. blaze etkisi) giderilmesi için kullanılırlar. Toryum-argon lambası, belirli dalgaboylarında salma yapıları oluşturmakta ve bu dalgaboyları ile gök cisimi tayfı karıştırılarak, gök cisimi tayfının dalgaboyu kalibrasyonunu yapılmasını sağlarlar. Tüm bu işlemler için kalibrasyon ünitesinde istenilen lambda yakılır. Bu lambda ışık 20 metre uzunluğunda ve 200 mikrometre çaplı fiberoptik kablolar ile FiGU elemanına ulaşır. FiGU ünitesinden sonra, yine fiberoptik kablolar aracılığıyla tayfçekere ulaşır ve daha önce bahsedildiği şekilde alınan görüntüler kaydedilir. Kalibrasyon işlemi için gerekli olan iki tür görüntü daha bulunmaktadır. Bunlardan bias görüntüsü, mümkün olan en kısa poz süresinde alınır ve görüntü ölçüm işleminin ürettiği gürültünün belirlenmesinde kullanılır. Bir diğer görüntü olan dark görüntüsü ise, gök cisimi gözleminde kullanılan poz süresinde alınır ve bu süre içerisinde üreyen ısısal gürültünün belirlenmesinde kullanılır. Her iki kalibrasyon görüntüsü için de tayfçekere bağlı QSI CCD kamerası herhangi bir ışık gelmeden görüntüyü alır ve kontrol bilgisayarına uygun formatta kaydedilmek üzere gönderir.

Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 40 cm ayna çaplı Meade marka LX200 GPS model T40 Kreiken Teleskobu'na monte edilen Shelyak eShel marka tayfçeker, echelle bir tayf çekerdir. 4340 - 7400 Angström dalga boyu aralığındaki elektromanyetik tayfı, 32 basamağa (ing. order) ayırmaktadır. Tayfçeker ile elde edilmiş örnek tayf görüntüleri ekil 10.1'de görülebilir.

d) Sunumlar (bildiriler ve teknik raporlar) (Altyapı Projeler için uygulanmaz):

aaa

e) Yayınlar (hakemli bilimsel dergiler) ve tezler (**Altyapı Projeler için uygulanmaz**):

- "A simultaneous spectroscopic and photometric study of two eclipsing binaries: V566 Oph and V972 Her", Selam, S. O.; Esmer, E. M.; enavcı, H. V.; Bahar, E.; Yörüko lu, O.; Yılmaz, M.; Ba türk, Ö., 2018, ApSS, 363, 34 (DOI: 10.1007/s10509-018-3252-y)

- "Behavior of Abundances in Chemically Peculiar Dwarf and Subgiant A-Type Stars: HD 23193 and HD 170920", Kılıço lu, Tolgahan; Çalı kan, eyma; Ünal, Kübraözge, 2018, ApJ, 852, 116 (DOI: 10.3847/1538-4357/aa9f14)