γ Dor Bileşenli Örten Çift Yıldızların Fiziksel Özellikleri

Program Kodu: 1001

Proje No: 114F354

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. M. Can AKAN

Araştırmacı(lar):
Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI

NİSAN 2017
İZMİR

Önsöz

Bu çalışma, örten çift sistem üyesi γ Dor türü zonklayan yıldızlar ve onların özellikleri üzerinedir. Bu konuda literatürdeki ilk ayrıntılı çalışmadır. Bu çalışmada örten çift sistem üyesi γ Dor türü zonklayan yıldızlar ve özellikleri konulu, öncü bilgiler içeren çizelge hazırlanmış ve böylece lietartürde önemli bir eksik giderilmiştir. Ayrıca zonklayan yıldızların salt parametreleri ile zonklama dönemi arasındaki ilişkiler üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın önemli bir parçası olan Sayın Prof. Dr. Cafer İBANOĞLU'na (emekli) katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma TÜBİTAK ARDEP tarafından 114F354 nolu çalışma olarak desteklenmiştir.

İçindekiler **Sayfa No**

GİRİŞ.....1

LİTERATÜR ÖZETİ.....2

GEREÇ ve YÖNTEM.....6

BULGULAR.....8

İlk sonuçlar.....11

γ Dor bileşenli örten çift yıldızların salt parametreleri ile zonklama dönemi arasındaki olası ilişkiler**.**.....17

SONUÇ......25

KAYNAKLAR.....28

EK.....32

Davet yazıları.....32

Yayınların ilk sayfaları.....34

Tablo ve şekil listeleri Sayfa No

Çizelge 1. Proje kapsamında incelenen yıldızların tayfsal gözlemlerine ilişkin bilgiler……....6

Çizelge 2. Proje kapsamında incelenen γ Dor türü bileşenli çift yıldızlar ve literatürde çalışılmış sistemler. …….....15

Çizelge 3. γ Dor bileşenli örten çift yıldız olduğundan şüphe edilen sistemler……..17

Şekil 1. Zonklayan yıldızlar için HR diyagramı ve evrim yolları (ZAMS, HB, post-AGB). Sol taraftaki şekil 40 yıl önceki zonklayan yıldızlar için çizilen HR diyagramı. Sağ taraf ise güncellenmiş, zonkladığı bilinen yıldızlar için oluşturulmuş HR diyagramı (Barstow, 2013).....5

Şekil 2. Projemiz kapsamınmda incelenen γ Dor yıldızları (•) ve daha önce başkaca araştırmacılar tarafından incelenmiş bir örten çift üyesi zonlayan çiftlerin (**+**) etkin sıcaklığa göre ışıtma ve çekim ivmesine göre HR diyagramındaki konumları. Yatay anakol üzerine Drilling ve Landolt (2000)'den alınan 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0 $M_{\odot}$ evrim yolları kalın düz çizgi ile şaretlenmiştir. γ Dor (düz dik çizgiler) ve δ Scuti (kesikli çizgiler) yıldızları için verilen kararsızlık kuşakları Handler ve Shobbrook (2002) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. log T_{eff} – log g diyagramında kullanılan ZAMS ve TAMS kolları Yıldız (2008)'den alınmıştır.....18

Şekil 3. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının yörünge dönemi (sol taraf) ve çekim ivmesi'nin (sağ taraf) zonklama dönemiyle arasındaki gözlemsel ilişki. log P_{puls} – log g değişiminde Liakos vd. (2012) tarafından δ Scuti yıldızları için hesaplanan ilişki kesikli çizgi ile verilmiştir. Fernie (1995) yılındaki çalışmasında ise aynı yıldız türündeki ilişkiyi kesikli-noktalı çizgi ile vermiştir.....19

Şekil 4. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının yörünge dönemine karşı zonklama dönemi arasındaki gözlemsel ilişki.....20

Şekil 5. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının geff değerlerine karşılık zonklama dönemi arasındaki ilişki……..…...21

Şekil 6. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının ρ değerine karşılık zonklama dönemi arasındaki ilişki……..……..23

Şekil 7. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının Q değerine karşılık zonklama dönemi arasındaki ilişki……25

Özet

Bileşenlerinden biri γ-Dor türü zonklayan örten çift yıldızların sayısı oldukça azdır. Yıldızların salt parametrelerini ancak çift çizgili örten çiftlerin ışık ve dikine hız eğrlerinin analizi ile duyarlı olarak ölçülebilir. Işık eğrilerinin analizi için baş yıldızın etkin sıcaklığı ve bileşenlerin kütle oranlarının tayfsal olarak bulunmuş olması gerekir. Bu koşul altında ışık eğrisinin analizi ve dikine hız eğrisinin çözümü ile bulunan sonuçlar birleştirilerek salt parametreler duyarlı olarak bulunur. Böylece γ Dor bileşenli örten çiftin üyeleri Hertzsprung–Russell diyagramında güvenilir bir şekilde işaretlenebilir. Yapılan uzun dönemli ve atmosfer dışı yüksek duyarlıklı fotometrik veriler de bu yıldızlara ait zonklama doğasının ortaya çıkarılmasında önemli bir rol oynar. Sayıca az olan, HR diyagramındaki yerleri henüz tam olarak anlaşılamayan γ Dor yıldızları belirlenmiş ve astrofiziksel açıdan önemli bir sorun hakkında ilk defa bu çalışma kapsamında öngörülerimiz oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler:yıldızlar, çift yıldız, örten çift yıldızlar, salt-parametreler, tayfsal-çift-yıldızlar, zonklayan-yıldızlar, Gamma-Dor

Abstract

The number of eclipsing binaries with γ Dor components are rare. Absolute parameters of the stars could be obtained with accurately by analysing the light curves and radial velocities of double-lined eclipsing binaries. The effective temperatures of the primaries and mass-ratios should be determined from spectroscopy for the analyses of the light curves. Combining the results of the light curves and radial velocities the absolute parameters can be determined under this condition. Thus the eclipsing binaries with γ Dor scomponents can be marked in reliable way in Hertzsprung – Russell diagram. The observed by satellite long-term high-precision photometric data play an important role to revealing of the pulsational nature of these components. The rare γ□Dor type stars with the poorly understood location in the HR diagram were selected and with this study some hints on an astrophysically important problem emerged.

Keywords: stars, binary-stars, eclipsing-binary-stars, fundamental-parameters, spectroscopic-binary-stars, pulsational-stars, Gamma-Dor

1. GİRİŞ

"**γ Dor Bileşenli Örten Çift Sistemlerin Fiziksel Özellikleri**" başlıklı araştırma projemiz 15 Nisan 2017 tarihinde sona ermiştir. Çalışmalarımız, proje takviminde verilen iş planına uygun olarak yürütülmüş ve projemiz bu raporla sonlandırılmıştır. Proje süresi olan iki yıllık süre içersinde, γ Dor bileşenli örten çift sistemler olduğundan şüphe duyulan çift yıldızların tayfsal ve ışıkölçüm verileri incelenmiş, daha önce literatürde verilmeyen ve ilk defa incelenen yıldızların özellikleri uluslararası yayınlara dönüştürülerek önemli dergilerde yayınlanmıştır. Proje kapsamında incelenen ve yayınlanan yıldızlar hakkında genel bilgi Çizelge 1'de sunulmuştur. Ek olarak proje kapsamında incelenen yıldızların tayfsal ve ışıkölçüm gözlem verilerine ilişkin bilgiler çizelgeler halinde ilerki bölümlerde anlatılmaktadır. Proje kapsamında verilen iş planımıza uygun olarak TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nden almış olduğumuz gözlem zamanları değerlendirilerek, hava şartlarının elverdiği ölçüde, hedeflenen yıldızların tayfsal gözlemleri yapılmıştır. Bir kısmının indirgeme ve analiz süreci halen devam etmektedir. Yanısıra Çizelge 1'de vermiş olduğumuz EPIC202083510 ve EPIC210793743 yıldızları projemiz kapsamında başvurusu yapılmış olan Opticon (Optical Infrared Co-ordination Network) teleskoplarına gözlem zamanı istek projesi kapsamında, diğer araştırmacılar tarafından da aynı yıldızların önerilmiş olması nedeniyle "service mode" yöntemiyle tayfları alınmıştır. Bu yıldızlara ait analiz süreci halen devam etmektedir.

Proje kapsamında incelediğimiz yıldızların ışıkölçüm gözlemleri CoRot, Kepler ve K2-Epic Kataloğu gibi tarama çalışmalarından alınmıştır. Bu kapsamda incelenen yıldızların ayrıca ışıkölçüm gözlemlerine gerek duyulmamış, tayfsal gözlemlerin değerlendirilmesine ağırlık verilmiştir. Kataloglarda yer alan yıldızların ışıkölçüm verileri son derece hassas ve uzun zamanlıdır.

Proje kapsamında yapılan çalışmalar yayınlara dönüştürülerek uluslararası bilim dünyasına kazandırılmıştır. Yayınlanan makalelerden özellikle "*V850 Cyg: An eclipsing binary with a giant γ Dor pulsator*", *"V421 Pegasi: a detached eclipsing binary with a possible γ Doradus component*" ve "*KIC 9851142: A binary star with total eclipses and γ Dor pulsations*" başlıklı çalışmalarımız henüz yayınlanmasına karşın hemen atıf almış ve bilim dünyasının dikkatini çekmiştir. Ayrıca proje kapsamında yapmış olduğumuz iki çalışmamız; "V2653 Ophiuchii with a pulsating component and Ppuls – Porb, Ppuls – g correlations for γ Dor type pulsators" ve "V850 Cyg: An eclipsing binary with a giant γ Dor pulsator" çalışmaları 13-15 Kasım 2017 tarihinde Beautiful City – San Antonio, USA de düzenlenecek olan "2nd International Conference on Astrophysics and Particle Physics" toplantısına ayrı ayrı

sunulmak üzere davet almıştır (Davet mektupları ekte sunulmuştur).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Son on yılda yer-konuşlu teleskoplardan ayrı olarak uzay-konuşlu ve robotik teleskoplarla yapılan tarama ve kataloglama çalışmaları onbinlerce yıldızın parlaklık değişiminin zonklama mekanizması olabileceği gerçeğini ortaya çıkardı. Zonklayan Değişen Yıldızlar kategorisinde zonklama modlarına göre birçok alt sınıf olsa da (Şekil 1) bu sınıflar içerisinde en önemlisi *Sefeid* değişenleridir. Bu sınıfın en ünlü üyesi John Goodricke tarafından 1784 yılında gözlenen δ Cephei yıldızıdır. Parlaklığı gün mertebesinde değişim gösteren bu yıldızlar gökadamız dışında da gözlenebilen önemli astronomik kaynaklardır. Diğer zonklama kaynaklı parlaklık değişimi gösteren yıldız sınıfları zaman içeresinde duyarlı gözlemlerle incelenmiştir. Salt parametreleri, kütle, yarıçap ve sıcaklık (M,R,T), belirlenen yıldızlar Hertzsprung-Russell (HR) diyagramında işaretlenmiş ve günümüzde çok yaygın olarak kullanılan "*zonklayan yıldızlar için HR diyagramı*" (Şekil 1) oluşmuştur. Son yapılan çalışmalarla birlikte oniki alt sınıfa kadar sınıflandırılabilen zonklayan yıldızlar; yıldızların iç yapılarını araştırmak için kullanılabilecek en önemli kaynaklardır. Zonklayan yıldızların zonklama modları farklı iç katmanlarda üretildiğinden yıldızın iç yapısı hakkında çok değerli bilgiler taşır. δ Scuti yıldızları, zonklayan yıldızların en önemli sınıflarından birisidir. Rodriguez vd. (2000) yaptıkları çalışmada bu sınıfa dahil yaklaşık 600 tek ve çift yıldız listelemiştir. Merkezlerinde hidrojen (H) yakan, HR diyagramında klasik Cepheid kararsızlık kuşağı üzerinde bulunan, anakoldan dev koluna doğru uzanan zonklayan yıldızların tayf türleri A2 ile F5 arasında (sıcaklıkları 8 600 K ile 7 000 K arasında) ve ışınım sınıfları III ile V arasındadır. Zonklayan yıldızların çoğu tayflarında ve ışık eğrilerinde çoklu dönemli değişimler göstermektedir. Dönemleri 0.4 saat ile başlayan günler mertebesinde değişen ve çapsal/çapsal olmayan modlarda zonklamaktadır. Özellikle alt sınıflardan biri olan δ Scuti yıldızları birkaç saatlik zonklama modlarına sahip olduğundan asterosismolojik araştırmalar için çok uygun cisimlerdir. Bu tür yıldızların tayflarındaki soğurma çizgi profili değişiminin yarattığı akı değişimi yıldızın zonklama geometrisi hakkında bilgi vermektedir. Proje konusu bakımından zonklayan yıldızların tüm alt sınıf üyeleri bir çift sistem üyesi olmaları durumunda çalışma alanımıza ve proje kapsamına girer. Bu sayede sınırlar çok genişlemiş olsa bile tüm zonklayan yıldızların alt sınıflarına ait çift yıldız bileşeni olan yıldız sayısı son derece azdır.

Diğer önemli değişen yıldız alt sınıfı olan γ Doradus değişen yıldızları, yüzeylerinde radyal olmayan zonklamalar nedeniyle parlaklıkları değişen yıldızlardır. Genellikle genç erken F

veya geç A tipi anakol (V ışıtma sınıfında) yıldızlarıdır. Parlaklık değişim dönemleri, 0.4–3.0 gün süresinde, parlaklık değişim genlikleri ise 0.1 kadir civarındadır. Prototipi γ Doradus yıldızıdır ve 1963 yılında "**bir sebep olmadan değişen yıldız**" olarak tanımlanmıştır. İlk olarak 1990'ların ikinci yarısında karakterize edilen bu tür değişen yıldızların altında yatan fiziksel nedenler ise halen araştırılmaktadır. Örten çift yıldızlarda γ Dor türü zonklamalara ilişkin ilk keşifler diğer keşiflerde olduğu gibi "kazara" yapılmıştır. Yaklaşık aynı tarihlerde farklı üç araştırmacı da yeni bir zonklayan yıldız sınıfının temellerini atmıştı. Cousins vd. (1988) tarafından ilk defa 0.7 gün dönemli parlaklık değişimi gösteren bir F0 yıldızı olan γ Doradus yıldızı üzerine yapılan çalışma yayınlandı. Daha sonra aynı yıldıza ait daha ayrıntılı çalışmalar Balona vd. (1994) tarafından yayınlandı. F0 yıldızındaki değişimlere benzer aynı tür değişimleri gösteren HD224945 yıldızına ilişkin gözlemsel veriler Antonella ve Mantegazza (1986) tarafından yayınlandı. Daha sonra aynı yıldıza ilişkin daha ayrıntılı bir çalışma 1994 yılında Poretti ve Zerbi (1994) tarafından yayınlanmıştır. Aşağı yukarı aynı tarihlerde Capella yıldızındaki değişim incelenirken, Krisciunas ve Guinan (1990) tarafından 9 Auriga yıldızı incelenmiş ve benzer değişimler bulunmuş, yayınlanmıştır. 9 Auriga yıldızı uluslararası kampanyaya dönüştürülerek uzun zamanlı gözlenmiş ve parlaklık değişimi ayrıntılı olarak Krisciunas vd. (1993) tarafından yayınlanmıştır.

1995 yılında Cape Town'da (GA), düzenlenen zonklama temalı bir konferansda tüm bu çalışmalar masaya yatırılarak yaklaşık 9 ayrı yıldızda görülen diğer yıldızlardan farklı değişimler yeni bir sınıfın tanımlanması ihtiyacını doğurmuştıur. Bu yeni değişen yıldızlar genellikle F0 tayf türü ya da civarlarındaki tayf sınıfı üyeleriydi. Işıtma sınıfı genellikle V ya da IV-V ışıtma sınıfındandı. Bu yıldızlar genellikle genç ve güneş metal bolluğuna benzer yıldızlardı. Değişim dönemleri 0.4–3.0 gün aralığındaydı. Değişim genliği ise V bandında 0.1 kadir civarındaydı. Bununla beraber bu şekilde tanımlanan grubun tayfsal ve fotometrik özelliklerinin araştırılması ise günümüzde de halen devam etmektedir.

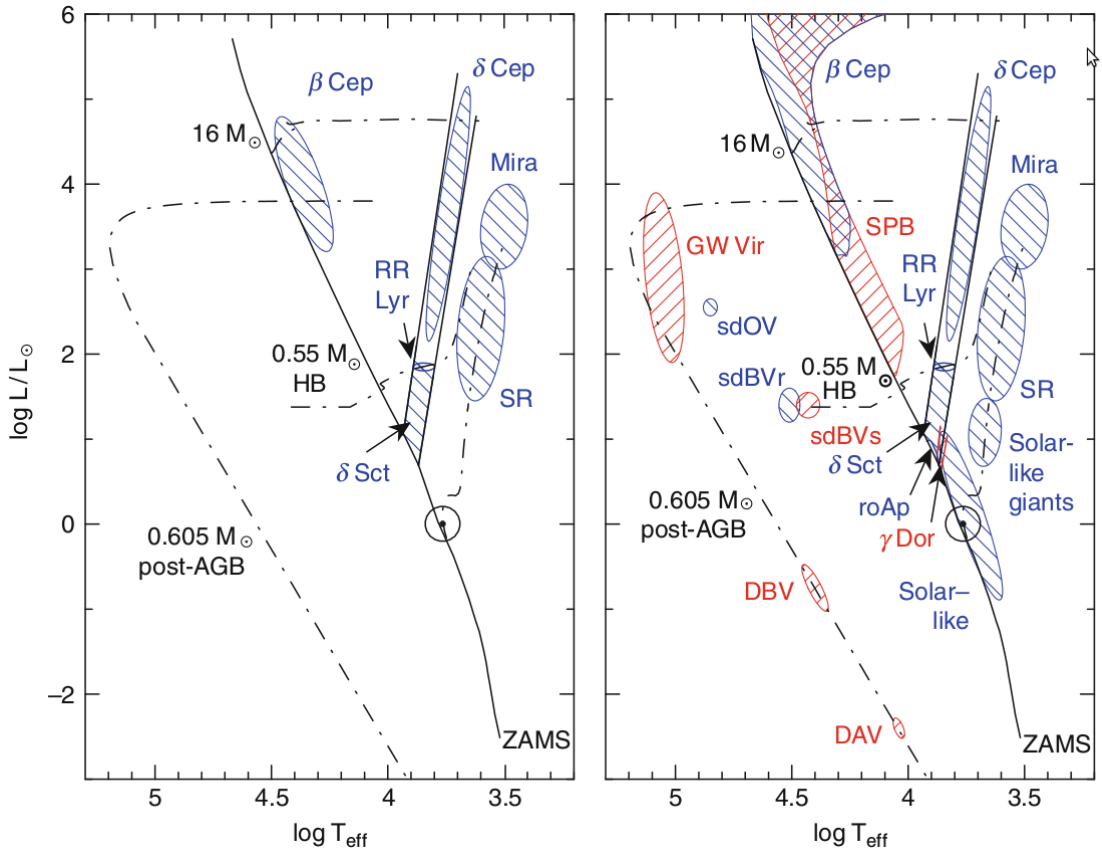
γ Dor yıldızları üzerine yapılan çalışmalar Cape Town konferansından günümüze hızla artmıştır. Birçok kampanyalar düzenlenmiş ve yeni çalışmalar yayınlanmıştır. γ Dor yıldızlarının ilk listesi Handler ve Krisciunas (1997) yılında "*Delta Scuti Newsletter*" da yayınlanmış ve HR diyagramındaki yeri Cepheid kararsızlık kuşağının soğuk (kırmızı) kenarında, küçük bir alan olarak işaretlenmiştir. Bu listede yayınlanan büyük kısmı tek yıldız olan toplam 17 yıldızın yapılan tayfsal ve fotometrik gözlemlerinden düşük genlikli dikine olmayan *g mod*unda zonkladıkları belirlenmiştir (Mantegazza vd., 1995). Leke aktivitesi ve yıldızın kendi ekseni etrafında dönmesinden kaynaklanan ayrı bir modulasyonda bu modların denetlenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur (İbanoğlu vd., 2007).

Temel özellikleri verilen bu sınıf yıldızların büyük kısmı tek yıldızdır. Ancak zonklayan bileşenli örten çift yıldız çalışmaları da son derece az örnek olmasına karşın, son yıllarda bu sınıf yıldızlarda önemli bulguların elde edilmesini sağlamıştır. Her ne kadar örnek sayısı az olsa da γ Dor bileşenli örten çiftlerde bileşen yıldızlarının birbirlerine uyguladıkları çekim etkileri bileşenleri eş–dönmeye zorlar ve yörünge dairesel olur. Ancak bu öneri bile soru işareti taşımaktadır.

Elde edilen bilgilerin test edilmesi ve yeni bilgilerin elde edilmesinin en önemli yolu bu türe ait sistemlerin bilinen parametreleri, evrimsel aşamaları, varsa kütle kaybı ya da aktarımı miktarının tahminindeki belirsizliklerin ortadan kalkması gerekir. Bu sorunun çözüm yollarından biri zonklayan bileşenli örten çiftlerin verilerinin arttırılması ve bu verilerin en duyarlı yöntemlerle analiz edilmesidir. Zonklama ve örten çift gibi konular bir araya geldiğinde yıldız sismolojisindeki "*mod*" belirleme süreci daha da zor bir hal almaktadır. Dönme etkisi, çapsal olmayan modda zonklama, düşük genlik, doğrusal olmayan modlarda yarılmalar zonklama frekans tayfını karmaşık haline getirebilir (Pamyatnykh vd., 1998). Örten çift dizgeler, yörünge düzlemleri bakış doğrultusuna ($\boldsymbol{i}$**~90**$^{\mathbf{o}}$) yakın ise gözlemsel olarak ayırt edilebilir. Çoğu zaman bileşen dönme ekseninin yörünge düzlemine dik olduğu varsayılır. Bu doğruysa ve dönme ekseni çapsal olmayan zonklamaların simetri ekseni olduğu varsayılırsa, örten çiftlerdeki zonklayan yıldızlar hemen hemen eşlekten görülebilir. Ancak örten çiftlerin zonklama simetri ekseninin eğimine ilişkin duyarlı gözlemsel kanıtlar henüz elde edilememiştir. Buna ek olarak, gelgit (tidal) kuvveti bazı yakın çiftlerdeki zonklama ekseninin etkileyebilir (Shibahashi, 2002) ve zonklama ekseni yörünge eksenine eğilir. Bu varsayım gözlemsel olarak test edilmelidir. Proje kapsamındaki seçilen yıldızların geometrik yapıları bu varsayıma uygunluk göstermektedir.

γ Dor yıldızları için "bir sebep olmadan değişen yıldız" öngörüsü bazı modellerle açıklanmaya çalışılmıştır. En önemlisi leke modelidir. Leke ya da leke gruplarının yıldız diskindeki eşlek yönlü hareketi ile bu sınıf yıldızlardaki ışık değişimi açıklanmaya çalışıldı. Ancak yapılan gözlemlerle leke aktivitesini ve leke çevrimini destekleyecek bir kanıt bulunamadı. Bunun yanı sıra F tayf türünden yıldızların kromosfer ve koronasının akustik ısınmayla bu tür yıldızlardaki parlaklık değişimine neden olabileceği ileri sürüldü. Judge ve Carpenter (1998) tarafından yapılan çalışmalar kromosfer ve koronanın akustik olarak ısıtalamaycağını ispatladı. Bu süreç için çok daha yüksek bir manyetik alan gücü ve daha şiddetli bir aktivite öngürülüyordu. Yapılan yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemlerden çizgi şiddetlerinin bu süreci desteklemediği görülmüştür (Kaye vd. 1998).

Bileşenlerinden biri γ Dor türü zonklayan örten çift olan yıldızların sayısı oldukça azdır. Bu tür sistemler bileşenlerinden en az biri, bazı durumlarda her ikisi birden "**saat**" gibi işleyen astrofiziksel süreçlere sahip kaynaklardır. Bu süreç yıldızların içyapılarına ilişkin çok önemli bilgiler verir. Bu tür sistemlerin bileşen yıldızlarına ait salt parametreleri (kütle, yarıçap, sıcaklık) ancak çift çizgili örten çiftlerin ışık ve dikine hız eğrilerinin analizi ile duyarlı olarak bulunur. Böylece γ Dor bileşenli örten çiftlerin üyeleri HR diyagramında güvenilir bir şekilde işaretlenebilir. Zonklayan yıldızların henüz iyi anlaşılamamış bir türü olan γ Dor yıldızlarının bir örten çift sistemin bileşenlerinden biri olma durumunda yüksek duyarlıkla elde edilen salt parametrelerini kullanarak HR diyagramındaki yerlerinin en hassas şekilde belirlenebilmesi zonklamayı doğuran nedenlerin de ortaya çıkartılmasında ilk ve en önemli adımdır. Böylece evriminin hemen her basamağında "**titreşen**" yıldızların evrimsel basamakları daha anlaşılabilir olacaktır. Hemen her evrimsel aşamada yıldızın geçirdiği kimyasal değişimin açıklanması yine bu tür yıldızların alışılagelmiş biçimde merkezden yüzeye doğru yapılan hareketlerle taşınan maddenin içeriği ve neden olduğu olaylar açıklanabilecektir.



Şekil 1. Zonklayan yıldızlar için HR diyagramı ve evrim yolları (ZAMS, HB, post-AGB). Sol taraftaki şekil 40 yıl önceki zonklayan yıldızlar için oluşturulan HR diyagramıdır. Sağ taraf ise güncellenmiş, zonkladığı bilinen yıldızlar için oluşturulmuş HR diyagramını gösterir (Barstow, 2013).

Projemiz kapsamında proje başlangıç tarihinden günümüze kadar geçen sürede Çizelge 1'de verilen sistemlerin tayfsal ve fotometrik incelemeleri yapılarak salt parametreleri bulunmuştur. Ayrıca robotik ve uydu tabanlı ışıkölçüm verileri analiz edilerek zonklama dönemlerine ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Özellikle ışık değişimleri ve bileşen yıldızlara ait tayf analizi sonuçlarından genellikle sıcak bileşenlerin öngörülen tayf türü nedeniyle zonklama yapma olasılığının yüksek olduğu görülmüştür. Zonklama kaynaklı ışık değişimleri zonklamanın doğasının anlaşılmasında önemli rol oynamaktadır. İncelediğimiz sistemlerin büyük kısmı HR diyagramında işaretlenerek γ Dor yıldızları için verilen bölgeyi daha net olarak şekillendirmemizi sağlamıştır. Bu sayede kararsızlık kuşağının soğuk tarafında yer alan δ Scuti türü yıldızlarla iç içe geçmiş olan γ Dor türü değişenlerin sergilediği karmaşa biraz olsun düzelmiş ve daha anlaşılabilir hale gelmiştir. Bu durum projemiz ana hedefine ulaşılmasında önemlidir.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Proje kapsamında tayfsal gözlemleri yapılacak kaynaklar CoRot, Kepler ve K2-EPIC katalogları taranarak seçilmiştir. Proje öneri formunda verilen listede yer alan kaynakların birçoğu proje kapsamında sunmuş olduğumuz çift yıldız üyesi γ Dor yıldızı özelliğini göstermediği alınan deneme tayflarında ve literatürde proje kabulünden sonra yayınlanan bazı makalelerde ortaya çıkmıştır. Bunun yanısıra literatürden ve eldeki verilerden yola çıkarak Çizelge 1'de sunulan yıldızların tamamı bileşenlerinden birisinin γ Dor yıldızı özelliğini gösterdiği projemiz ile ispatlanmıştır.

Çizelge 1. Proje kapsamında incelenen yıldızların tayfsal gözlemlerine ilişkin bilgiler.

Yıldızlar	Gözlemevi	Gözlem_ tarihi(HJD)	Proje_no	Teleskop+alıcı	S/N	Yayın Durumu
V2653 Oph	Catania	54638.3460	ock-1.2008	Catania (1.0m) FRESCO	90-120	a
V421 Peg	Catania	54661.5461	ock-1.2008	Catania (1.0m) FRESCO	90-120	a
OO Peg	Catania	54677.2345	ock-1.2008	Catania (1.0m) FRESCO	90-120	a
KIC9851142	TUG	54638.5825	16ARTT150-940	RTT150 (1.5m) TFOSC	50-120	a
KIC10206340	TUG	56883.3913	16ARTT150-941	RTT150 (1.5m) TFOSC	50-120	a
KIC7596250	TUG	57587.2333	16ARTT150-940	RTT150 (1.5m) TFOSC	50-120	b
V2659 Oph	TUG	57589.3363	16ARTT150-941	RTT150 (1.5m) TFOSC	50-120	b
EPIC201270464	TUG	57541.3456	16ARTT150-940	RTT150 (1.5m) TFOSC	50-120	b
EPIC202083510	ESO	57056.1174	194.C-0833(A), Service Mode	NTT(3.58m) EFOSC-SOFI	130-180	c
EPIC210793743	ESO	56923.2998	202.C-0123(A), Service Mode	ESO-VLT-U2 UVES	130-180	c
Kaynak yıldızların yanısıra hemen her teleskopda dikine hız standart yıldızları, bileşen yıldızların dönme hızlarının ölçümünde kullanılan standart yıldızlar, "telluric" çizgi standartları da gözlenmiştir.						

[a]Yayınlandı, [b]Yayına hazırlanıyor, [c]Analiz sürecinde

Projemizin önemli miktardaki iş yükü kaynak yıldızların tayfsal verilerinin elde edilmesi ve verilerin analiz edilmesiydi. Tayfsal gözlemlerde kullanılan yıldız gözlemlerinin indirgenme teknikleri bu tür örten çift yıldızlara da uygulanabilir. Genel olarak ön indirgeme, dalgaboyu kalibrasyonu, saçılan ışık düzeltmesi, kozmik ışın temizlenmesi ve normalizasyon türünden süreçler tayf verilerinden elde edilecek sonuçların (dikine hız ölçümü, bileşen yıldızların dönme hızlarının ölçülmesi çizgilerin eşdeğer genişlikleri, bileşen yıldızların tayflarının ayrıştırılması vb.) duyarlığında önemli rol oynar. Duyarlığın artması öncelikle elde edilen tayfların saçılmış ışık düzeltmelerinin duyarlı yapılmasını gerektirir. Teleskop dahil olmak üzere alıcıya gelen yıldız ışığı bir hayli uzun optik düzenekten geçer. Bu düzenek zamanla ve içinde bulunduğu ortam şartlarına bağlı olarak bozulmuş olabilir. Bu durum alınan tayfın sıfır düzeyinde bozulmalara yol açar. Tayflarda bu düzeltme yapılmaz ise sıfır düzeyinden sapmaların meydana geldiği bölgedeki çizgilerden ölçülen eşdeğer genişlik ve tayfın tamamına uygulanan normalizasyon hatalı olur. Bu durum da hatalı sonuçlara varmamıza neden olabilir.

Diğer bir önemli düzeltme ise dalgaboyu kalibrasyonudur. Genellikle onbinde bir hata ile yapılan kalibrasyonlardan elde edilen sonuçlar şüpheye yer vermez. Bu durumda çok önemli bilgi kaynağı olan soğurma çizgilerini çok daha kolay tanımlayabilir ve varsa yıldızlarda şiddetli salma çizgilerini kolayca ayırt edebiliriz. Bileşen yıldızlardan birinin yüksek manyetik aktivite göstermesi durumunda bu tür yapıların ortaya çıkma ihtimali vardır. Bu durum olması gerektiği gibi uygulanan süreçler sonucunda kolayca görülebilir. Kozmik ışın etkilerinin temizlenmesi aşaması da dikkatli yapılması gereken başka bir süreçtir.

Proje kapsamında elde edilen tüm tayfsal verilerde anlatılan noktalara dikkat edilmiştir. Ancak özellikle TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) elde edilen tayfsal verilerin indirgeme süreçleri bir hayli zorlu geçmiştir. Sözü edilen optik düzensizlikler ve aletlerdeki optik yorgunluk tayf verilerinde hemen göze çarpmaktadır. İndirgeme süreçleri ile bu durum en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Dalgaboyu kalibrasyonu için daha önceki tecrübelerimizden yola çıkarak en duyarlı yöntemi uygulamaya çalıştık. Özellikle TUG'da yapılan tayfsal gözlemlerde; bir gözlem gecesi içeresinde, aynı alet, kalibrasyon ve flat lambasını kullanarak aynı gecede parlak bir yıldız da gözlenmiştir. Daha sonra çizgi tanımlamaları parlak yıldız tayfı kullanılarak daha sönük yıldızlardaki tayf çizgileriyle eşleştirilmiştir. Sönük yıldızların tayflarının alınması ve analizinde çok güvenilir sonuçlar veren bu yöntem diğer yaygın kaynak türlerinin incelenmesinde de kullanılabilir. Seçilen yıldızların hepsinin yüksek duyarlıklı ışıkölçüm verisi *Kepler* kataloğunda yer almaktadır. Tek bir dalgaboyunda olmasına karşın son derece duyarlı olan verinin proje kapsamında kullanılabilmesi için

“kalibre” edilmesi gerekmiştir. Proje kapsamında sunduğumuz iş-planında da verdiğimiz gibi incelediğimiz her kaynağın öncelikle ışık eğrisinin kalibre edilmesi ve daha sonra analiz edilmesi süreci izlenmiştir. Kepler verisinin doğru bir şekilde kullanılabilmesi için öncelikle gözlemsel birtakım etkilerden arındırılması gerekmektedir. Bu etkilerin başında atmosfer dışı gözlemler olması nedeniyle bir indirgeme sürecinden geçirilmediği için doğrudan verilen akı değerlerinin (Flux [e^-/sec]) parlaklığa dönüştürülmesi gerekir. Daha sonra tüm ışık eğrileri “normalize” edilmelidir. Normalize edilen ışık eğrileri artık analize hazır durumdadır. Ancak normalizasyon sürecinde kullanılacak olan yüksek dereceden polinom düzeltmeleri minimum çukurlarındaki –varsa- asimetriyi bozma eğilimindedir. Bu süreçte uygulanacak polinom düzeltmeleri en düşük dereceden yapılmaya çalışılmalıdır.

4. BULGULAR

Değişen yıldızlar sınıfındaki tek ve/veya bir örten çift yıldız üyesi γ Dor yıldızları gerek HR diyagramındaki özel konumları gerekse ışıkölçüm/tayfsal gözlem sonuçları açısından önemi gittikçe artan zonklayan yıldızlardır. İkibinli yılların başına kadar yer-konuşlu teleskoplarla gözlenen γ Dor yıldızları uzay-konuşlu teleskopların verileri yayınlanmaya başladığı andan itibaren sayılarının hiç de az olmadığı görüldü. Böylece zonklayan yıldızlar üzerine bildiklerimizin çok az bir kısmını açıklayabildiğimiz, aksine henüz daha açıklanması gereken çok sorunun olduğu ortaya çıkmıştır. Projemiz kapsamında da aradığımız iki önemli soru ve araştırdığımız iki önemli cevap var. Bunlar γ Dor yıldızlarının HR diyagramındaki yeri ve kararsızlık kuşağının sınırlarıdır. Elde ettiğimiz önemli verilerden çıkarttığımız sonuç: γ Dor yıldızlarının HR diyagramında bir çok çalışmada önerilen kararsızlık kuşağı dışında da bulunabildiğinin gözlemlerle ispatlanması ve gözlemsel olarak γ Dor ve δ Scuti kararsızlık kuşaklarının sınırları arasında aslında bir fark olmadığının ortaya çıkmasıdır. Bunun yanısıra γ Dor yıldızlarının ışıkölçüm ve tayfsal gözlemlerle bulunan salt parametrelerinin (M, R, T, L, log g ve $\nu \sin i$) yıldızın zonklama dönemi (P_{puls}) ile olan ilişkisi de oldukça önemlidir. Proje kapsamında incelediğimiz ve literatürden toplanan örnek yıldızlardan γ Dor yıldızlarının birçoğunun δ Scuti türü yıldızlar ile hemen aynı atmosfer parametrelerine sahip olduğu halde farklı modlarla zonkladıklarını göstermiştir. Proje kapsamında incelediğimiz tüm sistemlerin [Fe/H] oranı tayfsal analiz yöntemleriyle bulunmuş ve ilgili yayınlarla literatüre sunulmuştur. Bu oran zonklayan yıldızın metal bolluğuna ilişkin bir fikir vermektedir. Proje kapsamında incelenen yıldızlardaki ortalama oran -0.11 dex civarındadır. Genel bolluk değerine uygunluk gösterse de gerçekte metal bolluğunun zonklama mekanizmasına ilişkin etkilerini açıklayabilmek için mutlaka hafif element (C, O, Mg, Ca ve Sc) ve demir grubu (Cr, Mn, Fe,

Co, Ni), Y, Ba ayrıca nadir toprak elementlerinin bolluğu bakımından orantısal bir ilişki bulmak gereklidir. Eldeki tayfsal çözünürlüklerle elde edilen tayflar bu oranların element bolluk tayinine uygun değildir. Ancak ESO kaynaklı verilerimizin analizinde bu süreç mutlaka test edilecektir.

Proje kapsamında incelenen γ Dor türü sistemlerin gözlem bilgileri, kullanılan tayfçekerlerin listesi, sinyal/gürültü oranları (S/N) ve hangi gözlemevinde gözlendikleri ile ilgili bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. İncelenen yıldızların beş tanesi proje süresi boyunca yayına dönüştürülmüş ve uluslararası SCI kapsamındaki dergilerde yayınlanmıştır. Ayrıca yayınların ilk sayfaları bu raporun ekler kısmında sunulmuştur. Ancak yine de kısa bir bilgi olarak verilmek gerekirse; yıldızlara ait ışıkölçüm ve tayfsal veriler yayınlarda belirtildiği üzere herbir yıdızın tayflarının elde edildiği tayfçekerlerin kendine has özellikleri olması nedeniyle proje kapsamında hazırlanan bilgisayar kodları kullanılarak indirgeme ve analiz işlemleri süreci tamamlanmıştır. Özellikle gereç ve yöntem bölümünde tayfsal ve ışıkölçüm verilerinin analiz yöntemleri üzerinde kısaca durulmuştur. İlgili süreçlerin sonucu olarak yıldızların tayfsal sınıflaması, ışınım gücü sınıfları, bileşen yıldızlara ait dönme hızı, dikine hız eğrileri ve genlikleri ile beraber ilgili yıldızlara ait ışıkölçüm verilerinin analiz edilmesi sonucunda elde edilen bilgilerle birleştirilerek nihayetinde bir örten çift sistemin bileşenlerinin salt parametreleri olan kütle, yarıçap, sıcaklık, ışıtma, çekim ivmesi, dönme hızı, [Fe/H] oranı vs. gibi parametreler elde edilmiştir.

Bileşenlerinden biri γ Dor türü zonklayan örten çift yıldızların kütle, yarıçap ve ışıtma gibi salt parametrelerinin duyarlı bir şekilde bulunması dikine hız ve ışık eğrilerinin (evre kaybı olmaksızın) ayrı ayrı ya da ortak bir çözüm altında analiz edilmesiyle bulunabilir. Böyle bir yöntemle salt parametrelerin belirlenmesi, çift yıldızların önemli astrofiziksel laboratuvar olduğunun açık göstergesidir. Ancak bu süreç dikine hız ve ışık eğrilerinin evre dağılımlı olması esasına dayanması nedeniyle çift sistemin yörünge dönemine bağlı olarak oldukça uzun gözlem süresi gerektirebilir. Proje kapsamında taahhüt etmememize karşın incelenen yıldızların güvenilir ve hızlı bir şekilde atmosfer analizini yapabileceğimiz ve projemiz verimliliğini arttıracağını düşündüğümüz basit birkaç yaklaşım yaparak tek bir bileşke tayftan bileşenlere ilişkin atmosfer analizi yapabilecek bir program geliştirdik. Bu program sayesinde bileşen yıldızlara ait bazı parametreleri hızlı ve duyarlı bir şekilde bulmayı hedefledik. Programla ilgili geniş bilgi ve örneklemeler projemiz ikinci raporunda ve yayınlarımızda sunulmuştur.

A ve F tayf türünden yıldızların sıcaklıklarını belirlemek için kullanılacak en güvenilir çizgiler hidrojen çizgileridir. Bu çizgiler metal bolluğuna bağlı değildir. Özellikle ışınım sınıfı ve sıcaklık belirlemede bu yüzden önem taşırlar. Proje kapsamında tayfsal verileri analiz edilen yıldızların sıcaklıklarını belirlemek için diğer çizgilerin yanı sıra Hα Hβ ve Hγ çizgileri de kullanılmıştır. Bunun yanısıra yıldızların tayf türü ve sıcaklığı metal çizgileri kullanılarak da belirlenebilir. Özellikle F tayf türünden yıldızlarda, metal çizgilerinden sıcaklık belirlemek için FeI λ4046-4383 ve CaI λ4226 Å çizgileri kullanılabilir. Etkin sıcaklığın (T_{eff}) yanısıra yıldızların yüzey çekim ivmesi (log g) de atmosfer analizinden bulunabilir. FeI ve FeII elementlerinin analizinden yola çıkarak Brunt vd. (2008) bir grup γ Dor yıldızının log g aralığını 3.1 ie 4.7 aralığında olduğunu göstermiştir. Yeni tarihli ve daha fazla sayıda örnek yıldızı içeren Van Reeth vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise bu aralığın 3.3 ile 4.5 dex olması gerektiğini sonucuna ulaşmıştır. γ Dor yıldızlarına ilişkin ve hatta kararsızlık kuşağı içerisinde yer alan yıldızların genel olarak sıcaklıkları güvenilir olarak ölçülürken çekim ivmelerindeki sorunlar onları özel olarak incelememize ve daha başka salt parametrelerinin güvenilir olarak elde edilmesi zorunluluğunu ortaya koyar.

Tayfsal analiz sürecinde bir örten çift yıldız üyesi olan bileşen yıldızlara ilişkin elde edilen diğer önemli salt parametrelerden bazıları mikrotürbülans ve dönme hızıdır. İncelenen ve tayfsal analiz sürecine dahil edilen sistemlerimizin tamamı ve literatürden topladığımız diğer sistemlerin hepsi ayrık çiftlerdir. Bu sebeple diğer bileşenden herhangi bir kütle aktarımı olmaması nedeniyle bileşen yıldızların mikrotürbülans hızları etkilenmez. Gebran vd. (2014) ve Niemczura vd. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda T_{eff} değeri 7 000 ile 8 000 K arasında değişen yıldızların ξ değeri 2 ile 4 km s^{-1} arasında değiştiği verilir. Tayfsal çözünürlüğe son derece duyarlı olan ξ parametresinin eldeki tayfsal verilerle duyarlı olarak ölçülmesi olanaksızdır. Bu yüzden ξ parametresi tayf türü ve ışıtma sınıfı belirlenen yıldızlar için Niemczura vd. (2015)'den alınmıştır.

Son olarak önemli bir parametre olan "νsini*"* tayfsal analiz sürecinden ayrı bir başka süreç ile ölçülmüştür. Bu süreç için dönme hızı ölçümü yapılacak yıldızın tayf türü ve ışıtma sınıfına olası en yakın, düşük dönme hızına sahip standart yıldızın tayfsal gözlemleri de gözlemler boyunca yapılmıştır. Daha sonra bu standart yıldızın tayfı farklı hızlarla döndürülerek sentetik tayflar oluşturulmuş ve oluşturulan tayflar, gözlenen standart yıldızın tayfı ile çapraz korelasyona sokulmuştur. Dönme hızı ile ilgili çapraz korelasyon fonksiyonunun FWHM değeri kullanılarak, "ν sin *i*-FWHM" korelasyonundan, ilgili yıldızın "ν sin *i"* değeri ölçülür. Bu

yöntem özellikle A–G tayf türünden ayrık çift sistemlerde oldukça duyarlı sonuçlar verir (Queloz vd. 1998). Başka bir yöntem ise Model-Gözlem karşılaştırmasıdır. Ancak yapılan test ve karşılaştırmalardan anlaşılmaktadır ki bizim yöntemimiz daha duyarlı sonuçlar vermektedir.

Proje kapsamında incelenen yıldızların kimyasal bollukları da tayfsal süreç içerisinde belirlenmeye çalışılmıştır. Bu süreçte tayfların çözünürlüğü nedeniyle özel çizgiler kullanılmayıp genel bir yaklaşım yapılmıştır. Yıldızların ilgili yayınlarına bakıldığında bileşen yıldızların genel olarak güneş bolluğunda olduğu görülür. Bunun yan ısıra henüz daha analiz süreci devam etmekte olan yüksek çözünürlüklü tayflardan elde edilen yıldızlar için element bolluğu tayininin çok geniş kapsamlı olarak yapılması planlanmaktadır. Projemiz kapsamında öncelikle salt parametreleri ve HR diyagramındaki yerleri çok iyi belirlenen sistemlerin yüksek çözünürlüklü tayflarının elde edilmesiyle çok daha duyarlı sonuçların elde edilebileceği açıktır. Özellikle eşdeğer genişlik ve çizgi listesi kullanılarak element bolluğu yapılması önemli ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlar. Ancak bir kısım tayfsal verilerin düşük çözünürlüklü olması bu eşdeğer genişlik ölçümlerinde büyük hataların oluşmasına neden olmuştur.

Proje kapsamında incelenen yıldızların literatürden alınan ışıkölçüm verileri en küçük kareler yöntemine dayanan “fark düzeltme” yöntemiyle çalışan programlarla analiz edilmiştir. Bu sayede bileşen yıldızlara ilişkin toplam ışınıma katkı ve önemli parametrelerden olan yarıçap değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar tayfsal analiz sonuçları ile birleştirilerek bileşen yıldızların salt parametreleri elde edilmiştir. Bu konuyla ilgili tüm ara süreçler ve analiz süreci basamak basamak proje kapsamında yapılan yayınlarda her bir sistem özelinde anlatılmıştır.

4.1 İlk sonuçlar

Proje kapsamında, bileşenlerinden en az birinin γ Dor türü zonklayan yıldız olduğunu bildiğimiz toplam 12 adet yıldızın ışıkölçüm ve tayfsal verileri incelenmiş, bunlardan 5 tanesi yayınlanmıştır. Toplamda ise bileşenlerinden en az biri γ Dor türü zonklayan yıldız olduğunu bildiğimiz 25 yıldız Çizelge 2’de verilmektedir. Sistemlerin 14 tanesi literatürde diğer araştırmacılar tarafından zonklayan bileşenli çift yıldız ve γ Dor türü zonklayan yıldız olduğu ışıkölçüm ve tayfsal yöntemlerle ispatlanmıştır. Projemiz kapsamında da bu yıldızlara ek olarak Çizelge 1’de verilen ve diğer şekillerde işaretlenen 5 yıldız çalışılarak literatüre kazandırılmıştır. Buna ek olarak 4 tane sistemin ışıkölçüm ve tayfsal analizleri halen devam

etmektedir. Ayrıca Çizelge 3'te verilen listede yer alan iki yıldızın da bileşenlerinden biri γ Dor türü zonklayan yıldız olduğundan şüphe edilmektedir. Bu yıldızlara ilişkin tayfsal gözlemlerin önemli bir kısmı tamamlanmış olup ışıkölçüm verileri henüz analiz edilmemiştir.

Genel olarak incelediğimiz yıldızların tayf türleri A5 ile F2 arasında bulunurken ışıtma sınıfları (bir yıldız dışında) IV ile V arasında değişmektedir. İncelenen yıldızlar içeresinde özellikle bir sistem bu tür sınıf yıldızlar içinde gerek salt parametreleri gerekse HR diyagramındaki yeri açısından dikkat çekicidir. V850 Cygni sistemindeki bileşen yıldızların salt parametreleri duyarlı bir şekilde hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre yoldaş yıldız *Roche* sınır yüzeyini doldurmuş görünmektedir. Evrimsel açıdan diğer grup yıldızlardan daha ileridedir. Kuvvetle muhtemeldir ki bileşen yıldızlar arasında kütle aktarımı halen devam etmektedir. Bu öngörünün ispatı için çok yüksek çözünürlüklü tayflara ihtiyaç vardır. Klasik Algol olarak tanımladığımız sistemde bileşen yıldızlar kilitli dönme (kendi eksenleri etrafındaki dönme dönemleri yörünge üzerindeki dolanma dönemlerine eşit) yapmamaktadırlar. Tayf çizgilerinden hesaplanan kendi ekseni etrafındaki dönme hızları kilitli dönme hızından daha küçük hesaplanmaktadır. Baş yıldıza ilişkin hesaplanan kütle değerine karşılık hesaplanan yarıçap değeri aynı kütle değerine sahip benzeri anakol yıldızlarına göre daha büyüktür. Aynı sonuç yoldaş yıldız için de geçerlidir. Bu durum her iki yıldızın da HR diyagramında diğer γ Dor türü sistemlerin gruplandığı karasızlık kuşağının soğuk tarafındaki sınırdan çok daha farklı bir alanda olmasına neden olmaktadır. Sisteme ait ışıkölçüm verilerinin (ASAS I, V – NSVS R - SWASP V ve Kepler veri tabanından alınan ışıkölçüm verileri) dönem analizinden ise bulunan en baskın dönem yaklaşık 0.87 d^{-1} değerindedir. Değişimin genliği 0.47 mmag ve S/N oranı da bu baskın zonklama dönemi için 16 dır (Çakırlı vd. 2017). Projemiz kapsamında ışıkölçüm ve tayfsal verileri incelenen, analiz edilen V850 Cyg sistemi γ Dor türü zonklayan bileşenli çift yıldızlar grubu içeresinde en yüksek yarıçapa sahip en az yoğunluklu yıldız olarak literatürdeki yerini almıştır. Bu sistem HR diyagramındaki konumu gereği δ Scuti zonklayanları ile karışmış halde bulunan γ Dor yıldızlarının HR diyagramındaki "en uç" sınırlarının neresi olduğu konusunda önemli bilgiler vermektedir. δ Scuti ile γ Dor yıldızlarının yalnızca kararsızlık kuşağının soğuk tarafında karışmış olmadığının en önemli belirteci olmakla beraber, son derece ilgi çekici karışımın anakol sonrasında da devam ettiğini gösteren önemli bir yıldızdır. Literatürde bugüne kadar γ Dor türü zonklayan bileşenli dev yıldızın ışıkölçüm ve tayfsal verilerle yöntemsel olarak "kesin" ispatlanmış başka bir sistem bulunmamaktadır. Projemiz kapsamında bu sistemin verilerinin ayrıntılı analizinin yayınlanması ile önemli ve bu tür yıldızlara ilişkin ilk bulgu elde edilmiştir. Ayrıca raporumuzun ilerleyen kısımlarında değineceğimiz bileşen yıldızların salt

parametreleri ile zonklama dönemleri arasındaki olası ilişkiler açısından da V850 Cyg'nin salt parametreleri zonklama dönemi arasındaki ilişki genel olarak bu gruptaki tüm yıldızlar için incelemesi yapılan log P_{puls} – log g arasındaki ilişkinin doğrulanması açısından da oldukça önemlidir.

Proje kapsamında elde edilen salt sonuçlara geçmeden önce Çizelge 2 hakkında biraz daha ayrıntılı bilgi vermek gerekmektedir. Çizelge 2'de yer alan bileşen yıldızları erken F tayf türünden örten çift VZ CVn yıldızı ilk defa İbanoğlu vd. (2007) tarafından γ Dor bileşenli örten çift olarak sınıflandırılmıştır. Zonklama dönemi 1.07 gün olan sistemin zonklama genliği 0.034 mag olarak yine İbanoğlu (1974) tarafından yapılan ışıkölçüm verilerinden ölçülmüştür. Bileşen yıldızların tayf türleri ve Roche yüzeylerini doldurmamış olmaları sistemi erken F tayf türünden yıldızlarda g (çekim) modunun anlaşılması için önemli bir laboratuvar haline getirmiştir. Diğer bir yıldız ise NGC2099 açık küme üyesi V1380'dir. Bileşen yıldızlar birbirine benzer, ikiz bileşenlerden oluşmuştur. Zonklama dönemi 1.06 gün, zonklama genliği ise 0.02 mag'dır. Çizelge 2, tek tek yıldızlar incelendiğinde çok önemli ve değişik özelliklere sahip kaynaklardan oluşmaktadır. Yine Çizelge 2'de verilen KIC10080943 yıldızı tutulma göstermeyen çift çizgili tayfsal çift olarak Keen vd. (2015) her iki bileşeni de γ Dor türü zonklayan yıldız olarak sınıflandırılmıştır. Bunun yan ısıra Çizelge 2'de verilen dört sistemin ayrıntılı tayfsal çalışması yoktur. Bu sistemlere ait bileşenlerin özellikleri ve çoklu dönem temsilleri ışıkölçüm verileri analiz edilerek hesaplanmıştır. Bu sistemlerin tayflarının alınması ve incelenmesi gerekmektedir. Diğer bir önemli kaynak ise BD And yıldızıdır. Bu sistemin ışık değişiminin kaynağı olarak baş yıldız üzerindeki leke aktivitesi olabileceği Kim vd. (2003) tarafından önerilmiş ve sistem kısa dönemli yüksek aktivite gösteren RS CVn türü olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 2'de verilen sistemlerden genelde baş bileşen γ Dor türü zonklayan yıldız olurken bazı sistemlerde her iki bileşen birden zonklama göstermektedir.

Çizelge 2'de verilen kaynakların yörünge dönemleri 0.73 ile 31.97 gün arasında değişirken zonklama dönemleri 0.36 ile 2.17 gün arasında değişir. Zonklayan yıldızların (genelde baş yıldızların) ortalama yoğunlukları 0.02 ile 0.50 $\rho_{\odot}$ aralığında değişim göstermektedir. Hesaplanan zonklama sabiti ise $0^g.17$ ile $1^g.02$ arasındadır. Son olarak bileşen yıldızlar için hesaplanan ve ilerde formülleri ile verilen etkin net çekim değeri g_{eff} (diğer tüm etkilerden arındırılmış) ise 2 210 ile 21 800 cm s^{-2} arasında değiştiği hesaplanmıştır. Çizelge 2'de verilen sistemler etkin sıcaklığa karşı ışıtma ve çekim ivmesi değerleri kullanılarak Şekil 2'de HR diyagramında işaretlenmiş ve γ Dor yıldızları için verilen kararsızlık kuşağındaki yerleri belirlenmiştir. Proje kapsamında çalışılan beş yıldızın dışında Çizelge 2'de yer alan

CoRot102931335 ve CoRot102980178 yıldızlarının salt parametreleri bilinmediği için HR diyagramında işaretlenememiştir. Bununla birlikte listedeki beş yıldızın γ Dor kararsızlık kuşağı dışında yer aldığı görülmektedir. V404 Lyr, CoRot10086999 ve KIC100809438 γ Dor karasızlık kuşağının soğuk tarafında konumlanırken, KIC3858884 ve KIC5738698 yıldızlarının sıcak kenarda konumlanmış olmaları önemlidir. Özellikle V850 Cyg, KIC3858884 ve KIC8560861 anakol bandının dışında konumlanmış olması önemlidir. Bu sistemler evrimleşmiş, anakoldan ayrılmış terminal-yaş geçiş bölgesindedirler. Bu sistemler γ Dor kararsızlık kuşağının sınırlarının belirlenmesinde önemli rol oynar. Projemizin esas amacı olan γ Dor ve δ Scuti yıldızlarının örtüştüğü alanların birbirinden ayrılması ancak bu tür sistemlerin çalışılmasıyla mümkün olacaktır. Bu nedenle özellikle proje kapsamında incelenen V850 Cyg yıldızının önemi ilerleyen zamanda daha da artacaktır.

Çizelge 2'de sunulan kaynakların salt parametrelerinin yanısıra g_{eff}, ρ ve Q parametreleri her bir sistem için (bazılarında her iki bileşen için de) hesaplanmıştır. Bu parametrelerden g_{eff} hesaplanmasında şöyle bir yöntem izlenmiştir; Örten çiftlerde zonklayan yıldızlar genellikle büyük kütleli olan başyıldızdır. Yoldaşın baş yıldıza uyguladığı çekim kuvvetinin onun zonklamasını etkilemesi beklenir. Büyük kütleli (M_{pri}) bir baş yıldız ile daha küçük kütleli yoldaş yıldızdan (M_{sec}) oluşan bir çift sistem modelinde büyük kütleli yıldızın yüzeyinde 1 g'lık madde üzerine etkiyen kuvvetler; g: büyük kütleli yıldız yüzeyindeki 1 g'lık maddeyi yıldızın merkezine doğru çeken kuvvet, B_g: 1 g'lık maddeye küçük kütleli yıldızın uyguladığı çekim kuvveti ($B_g = \frac{GM_S}{(a-R_{eq})^2}$) ve A_{ca}: yıldızın kendi ekseni çevresinde dönmesi nedeniyle 1 g'lık maddeye uygulanan merkezkaç ivme olarak tanımlanabilir ($A_{ca} = \frac{8\pi^2 R_{eq}}{3P_{rot}^2}$). Çift yıldız modeli ve literatürden gerekli formülasyonların çıkartılması, basit bir sadeleştirme ve CGS metrik sistem dönüşümü ile zonklayan yıldız yüzeyindeki 1 g'lık kütleye etkiyecek kuvvetler ve bu parçaçık üzerindeki net kuvvet;

$$g_{eff} = g - A_{ac} - B_g \qquad 4.1$$

olarak hesaplanır. Bunun yanı sıra Çizelge 2'de verilen ortalama yoğunluk;

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \qquad 4.2$$

İle hesaplanmış olup, G genel çekim sabiti, M zonklayan yıldızın kütlesi, R ise zonklayan yıldızın yarıçapıdır. Zonklama sabiti ise,

$$Q = P_{puls}\sqrt{\frac{\rho}{\rho_\odot}} \qquad 4.3$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 2. γ Dor bileşenli çift yıldızların salt parametreleri ve zonklama özellikleri.

Sistem	P_{orb} (gün)	P_{puls} (gün)	M_{pri} ($M_\odot$)	M_{sec} ($M_\odot$)	R_{pri} ($R_\odot$)	R_{sec} ($R_\odot$)	a ($R_\odot$)	g_{eff} (cm s^{-2})	ρ	Q	*log* $L/L_\odot$	*log* T_{eff} (K)
[a]**BD And**	0.92581	0.99862	1.56	1.51	1.42	--	--	--	--	--	0.637	3.846
[b]**VZ CVn**	0.84246	1.06876	1.83	1.42	1.75	1.13	5.55	13075	0.342	0.625	0.814	3.845
	0.84246	1.03530	1.54	1.27	1.58	1.24	5.29	13830	0.391	0.647	0.724	3.844
[c]**V850 Cyg**	4.56444	1.15255	1.60	0.85	4.24	5.05	15.61	2210	0.021	0.167	1.580	3.842
		1.13708	--	--	--	--	--	--	--	0.165	--	--
[c]**V2094 Cyg**	8.48538	1.09950	1.79	0.83	2.47	0.67	24.13	7982	0.119	0.379	1.183	3.860
		1.04280	--	--	--	--	--	--	--	0.360	--	--
[d]**V404 Lyr**	0.73094	0.50643	1.35	0.51	1.76	1.25	--	--	--	--	0.711	3.817
		0.47356	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[c]**V2653 Oph**	4.39429	0.99711	1.54	1.27	2.22	2.00	15.98	8372	0.141	0.374	1.014	3.842
[e]**CoRoT100866999**	2.80889	0.62680	1.80	1.10	1.90	0.90	12.00	13.307	0.263	0.321	0.957	3.863
		0.73210	--	--	--	--	--	--	--	0.375	--	--
[f]**CoRoT102918586**	4.39138	0.81653	1.66	1.49	1.64	1.48	16.53	16731	0.376	0.501	0.853	3.868
		0.88849	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[g]**CoRoT102931335**	3.97946	1.57480	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		1.65780	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[h]**CoRoT102980178**	5.05480	0.36372	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[i]**KIC3230227**	7.04711	0.71320	1.84	1.73	2.01	1.68	23.64	12368	0.227	0.340	1.165	3.903
[j]**KIC3858884**	25.95200	1.43451	1.88	1.86	3.45	3.05	57.22	4309	0.045	0.304	1.352	3.823
		1.10860	--	--	--	--	--	--	--	0.235	--	--
[k]**KIC4544587B**	2.18909	0.49721	1.98	1.61	1.82	1.58	10.86	15768	0.329	0.285	1.204	3.934
[c]**OO Peg**	2.984651	--	1.82	1.77	2.21	1.96	13.26	6609			1.221	3.895
[c]**V421 Peg**	3.087566	1.10156	1.594	1.356	1.584	1.328	12.74	8800			0.796	3.860
[l]**KIC5738698**	4.80877	2.17075	1.39	1.34	1.84	1.72	16.80	10943	0.219	1.016	0.809	3.829

Çizelge 2. (Devam)

Sistem	P_{orb} (gün)	P_{puls} (gün)	M_{pri} ($M_\odot$)	M_{sec} ($M_\odot$)	R_{pri} ($R_\odot$)	R_{sec} ($R_\odot$)	a ($R_\odot$)	g_{eff} (cm s^{-2})	ρ	Q	*log* $L/L_\odot$	*log* T_{eff} (K)
[m]**KIC6048106**	1.55936	0.50593	1.50	0.31	1.51	1.75	--	--	--	--	0.689	3.845
		0.45215	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[n]**KIC7385478**	1.65547	0.49380	1.71	0.37	1.59	1.90	7.51	18129	0.425	0.322	0.737	3.845
		0.51470	--	--	--	--	--	--	--	0.336	--	--
[o]**KIC8560861**	31.97325	1.86861	1.93	1.06	3.30	1.11	61.08	4846	0.054	0.434	1.517	3.854
		1.30523	--	--	--	--	--	--	--	0.303	--	--
[p]**KIC8569819**	20.84993	0.46230	1.70	1.00	2.16	1.85	44.60	9968	0.169	0.190	1.020	3.851
		0.56458	--	--	--	--	--	--	--	0.232	--	--
[r]**KIC9851944**	2.16390	0.44649	1.76	1.79	2.27	3.19	10.74	8555	0.151	0.174	1.045	3.847
		0.77102	--	--	--	--	--	--	--	0.300	--	--
[s]**KIC10080943A**	15.33640	0.94395	2.00	1.90	2.90	2.10	41.10	6477	0.082	0.270	1.276	3.854
		1.12749	--	--	--	--	--	--	--	0.323	--	--
[t]**KIC10080943B**	15.33640	1.04880	2.00	1.90	2.90	2.10	41.10	11767	0.205	0.475	1.086	3.874
		0.90032	--	--	--	--	--	--	--	0.408	--	--
[u]**KIC11285625**	10.79049	1.76274	1.54	1.20	2.12	1.47	28.80	9330	0.161	0.707	0.971	3.843
		1.79370	--	--	--	--	--	--	--	0.720	--	--
[y]**V1380 NGC2099**	2.19258	1.06270	1.58	1.58	1.39	1.38	10.41	21803	0.589	0.816	0.511	3.820
		0.85179	--	--	--	--	--	--	--	0.654	--	--

Koyu renkli hücreler proje kapsamında çalışılmış ve yayına dönüştürülmüş yıldızları temsil eder.

[a]Sipahi ve Dal (2014), [b]İbanoglu vd. (2007), [c]Bu çalışma, [d]Lee vd. (2014), [e]Chapellier ve Mathias (2013), [f]Damiani vd. (2010), [g]Maceroni vd. (2013), [h]Sokolovsky vd. (2010), [i]Guo vd. (2013), [j]Maceroni vd. (2014), [k]Hambleton vd. (2013), [l]Matson vd. (2013), [m]Lee (2016), [n]Ozdarcan ve Dal (2017), [o]Borkovits vd. (2014), [p]Kurtz vd. (2015), [r]Guo vd. (2016), [s]Schmidth vd. (2015), [t]Keen vd. (2015), [u]Debosscher vd. (2013), [y]Hartman vd. (2008)

Çizelge 3. γ Dor bileşenli örten çift yıldız olduğundan şüphe edilen sistemler.

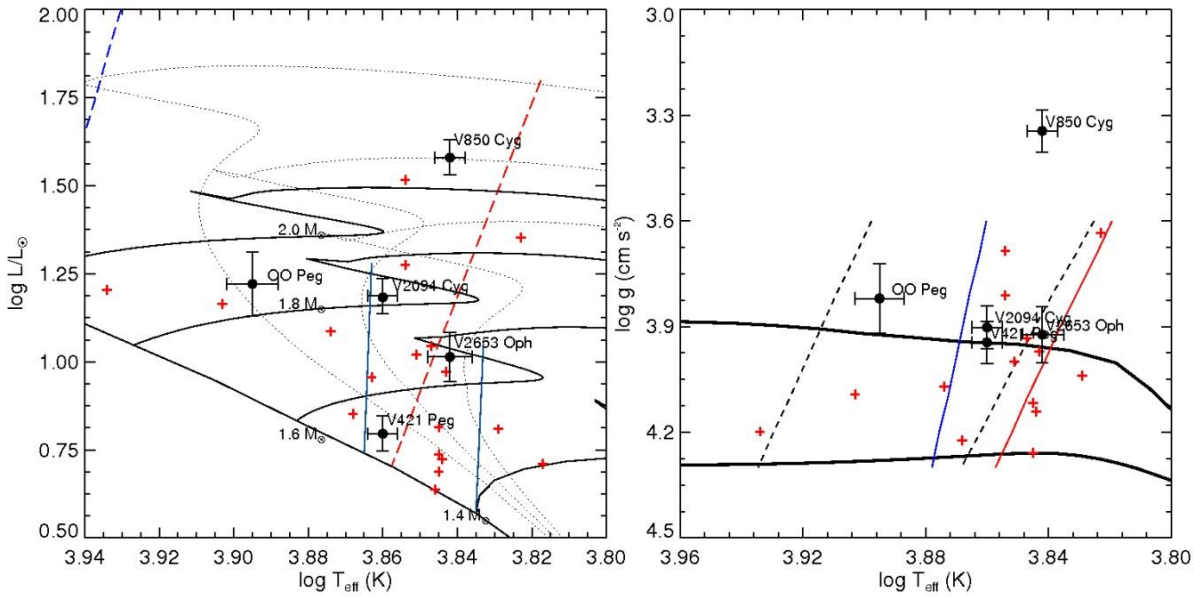
KIC_No	K_p (mag)	log *g* (cm s^{-2})	log T_{eff} (K)
* 2557430	11.5	4.11	3.811
3230227	9.1	3.92	3.910
4150611	7.9	4.11	3.835
5088308	8.7	2.75	3.842
7385478	11.5	3.96	3.826
* 7596250	11.3	3.95	3.850
9216367	12.1	3.75	3.906
9913481	10.9	3.51	3.882
10274244	11.5	4.52	3.734

* Bu sistemlerin proje kapsamında tayfsal gözlemleri büyük ölçüde tamamlanmıştır. Analiz süreci halen devam etmektedir.

4.2 γ Dor bileşenli örten çift yıldızların salt parametreleri ile zonklama dönemi arasındaki olası ilişkiler

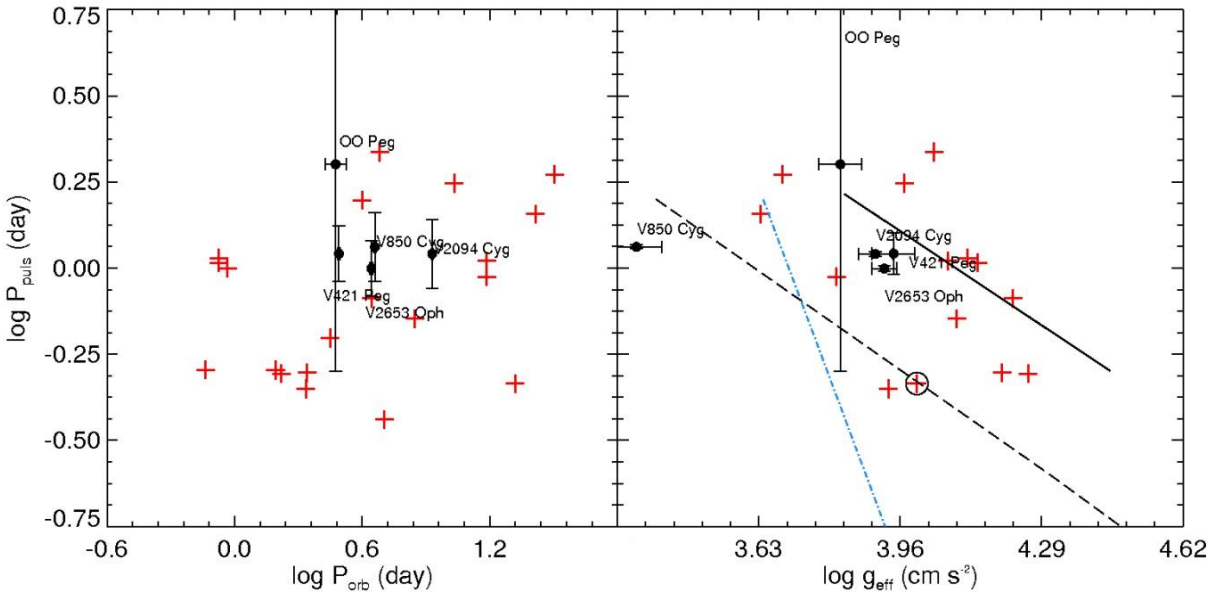
Alfonso-Garzon vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada yıldızların %70'nin çift ve çoklu sistem üyesi olduğu önemli gözlemlerle ispatlanmıştır. İstatiksel olarak incelendiğinde bileşenlerinden birinin zonklayan yıldız olma olasılığı bir hayli yüksek çift veya çoklu yıldız sistemleri bulma olasılığı oldukça yüksek iken bileşenlerinden birinin γ Dor türü zonklayan yıldız olan bir çift ya da çoklu sistem bulma olasılığı bir hayli düşüktür. Bu açıdan bakıldığında γ Dor türü zonklayan bir yıldızın aynı zamanda da bir çift sistemin üyesi olması durumu, bu tür sistemleri önemli astrofiziksel laboratuvarlar haline getirmesi açısından önemli kılar. Özellikle bu sistemlerin hem örtme örtülme hem de zonklama özelliklerinin aynı anda gerçekleştiği düşünüldüğünde astrofiziksel açıdan yıldızların bu özelliklerinden yararlanarak her bir bileşene ait salt parametreler, ışıklöçüm ve tayfsal gözlemlerle duyarlı bir şekilde elde edilebileceği gibi zonklama özelliği kullanılarak da yıldızların iç yapısına ilişkin çok önemli bulgular da elde edilebilir.

Proje kapsamında incelenen yıldızların listelendiği Çizelge 2'den yıldızların etkin sıcaklık (T_{eff})'e göre ışıtma ($L/L_{\odot}$) ve yüzey çekim ivmesinin (g) değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Temel amacımız sayıları bir hayli az olan γ Dor bileşenli örten çiftlerin HR diyagramında nasıl dağıldığını görmekti. Bu yıldızların HR diyagramındaki konumları diğer tek yıldızlara göre yukarıda verilen bilgiler nedeniyle çok daha duyarlı bir şekilde işaretlenmiştir. Özellikle log T_{eff} – log g ilişkisindeki dağılım gözlemsel olarak duyarlı sonuçlar göstermekle beraber, yıldızların salt parametreleri üzerinde ne kadarlık bir hata yaptığımızı da gösterir.



Şekil 2. Projemiz kapsamınmda incelenen γ Dor yıldızları (•) ve daha önce başkaca araştırmacılar tarafından incelenmiş bir örten çift üyesi zonklayan çiftlerin (+) etkin sıcaklığa göre ışıtma ve çekim ivmesine göre HR diyagramındaki konumları. Yatay anakol üzerine Drilling ve Landolt (2000)'den alınan 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0 $M_{\odot}$ evrim yolları kalın düz çizgi ile şaretlenmiştir. γ Dor (düz dik çizgiler) ve δ Scuti (kesikli çizgiler) yıldızları için verilen kararsızlık kuşakları Handler ve Shobbrook (2002) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. log T_{eff} – log g diyagramında kullanılan ZAMS ve TAMS kolları Yıldız (2008)'den alınmıştır.

Zonklayan yıldızların zonklama dönemi (P_{puls}) ile yörünge dönemi (P_{orb}) arasındaki ilişki çok uzun zamandan beri araştırılan ve önemli gözlemlerle de ispatlanan bir ilişkidir. Soydugan vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada bir grup δ Scuti bileşenli çift yıldız verileri kullanılarak zonklama döneminin yörünge dönemine göre değişimi incelendi. Elde edilen korelasyon örten çift üyesi zonklayan yıldızın yörünge dönemi arttıkça zonklama döneminin arttığını göstermekteydi. Az sayıdaki veri ve dizgelerin çoğunda bileşen yıldızların fiziksel parametrelerin bilinmemesi nedeniyle çiftlik etkisinin zonklama dönemi üzerine olan etkisi ve diğer parametrelerin zonklama dönemi ile olan ilişkisi net olarak ortaya konulmamıştı. Yörünge dönemi ile zonklama dönemi arasındaki ilişki yeni yıldızların bulunmasıyla doğrulandı (Liakos ve Niarchos 2017). Yörünge dönemi arttıkça zonklama döneminin artma ilişkisi daha öncesinde de birçok araştırmacı tarafından test edilmeye çalışılmaktaydı. Özellikle de $P_{orb} > 13^{d}$ üzerinde yörünge dönemine sahip olan δ Scuti bileşenli çift yıldızlarda zonklama dönemi bu değerden sonra keskin değişim göstermemekteydi. Gözlemsel verinin tersine yörünge dönemi 13^{d} ve daha büyük yıldızların zonklama dönemi çiftlik nedeniyle etkilenmiyordu. Proje kapsamında incelediğimiz yıldızları Şekil 3'deki gibi (sol taraf) yörünge dönemine karşı zonklama döneminin değişimine bakılacak olursa benzer bir ilişki göze çarpmaktadır.



Şekil 3. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının zonklama dönemleriyle yörünge dönemi (sol taraf) ve çekim ivmesi (sağ taraf) arasındaki gözlemsel ilişki. log P_{puls} – log g değişiminde Liakos vd. (2012) tarafından δ Scuti yıldızları için hesaplanan ilişki kesikli çizgi ile verilmiştir. Fernie (1995) yılındaki çalışmasında ise aynı yıldız türündeki ilişkiyi kesikli-noktalı çizgi ile vermiştir.

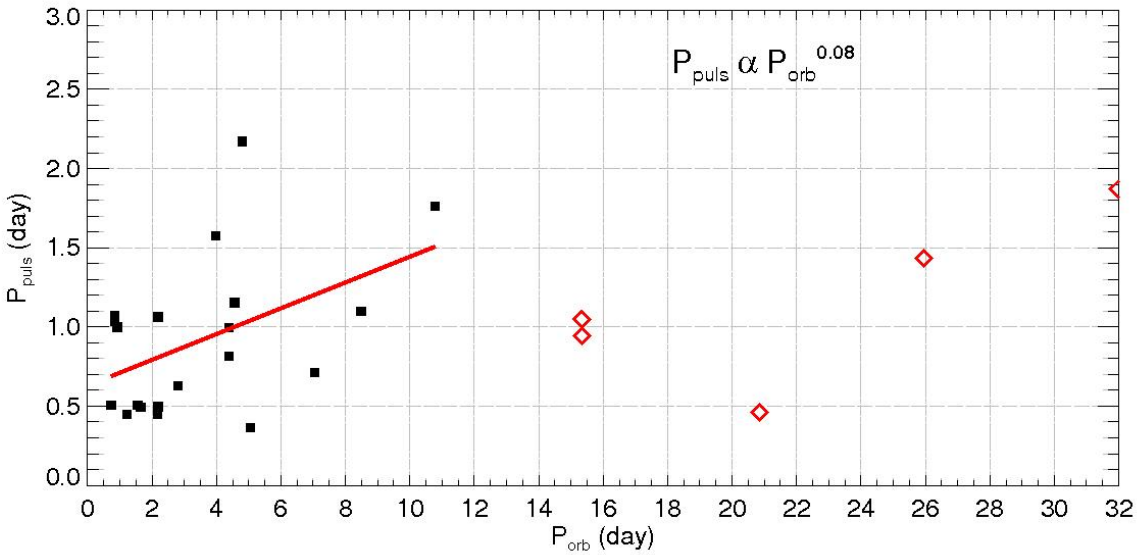
Proje kapsamında incelediğimiz yıldızların yörünge dönemine göre zonklama dönemlerinin dağılımı incelendiğinde ve aralarındaki ilişkiye bakıldığında δ Scuti türü yıldızlarda görülen P_{orb} α P_{puls} ilişkisi bir çift yıldız üyesi γ Dor türü yıldızlar için de geçerli olduğu ilk defa bu çalışmayla gösterilmiştir. Şekil 4 bu ilişkinin matematiksel ve grafik açılımını anlatmaktadır. Yörünge dönemi 13 günden kısa olan çift yıldızlara doğrusal en küçük kareler yöntemini uyguladığımızda,

$$\mathrm{P_{puls}} = 0.08(0.23) \times \mathrm{P_{orb}} + 0.63(0.06),\ \mathrm{r} = 0.46 \qquad 4.4$$

buluyoruz. Başka bir deyişle $P_{orb} < 13^d$ olan yıldızlar için 0.46 korelasyon katsayısı ile P_{puls} $\alpha P_{orb}^{0.08}$ elde edilmiştir.

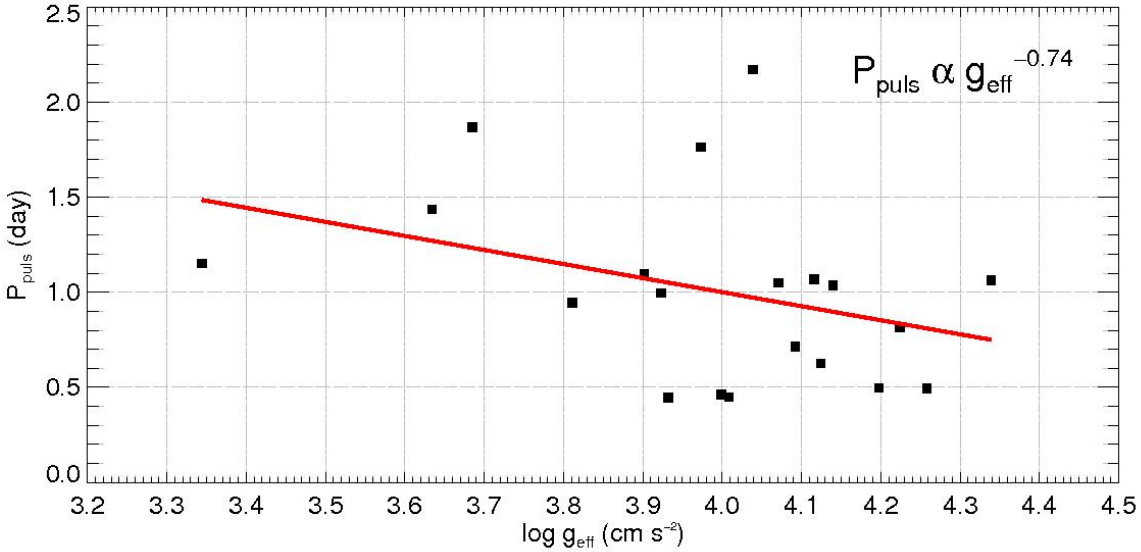
Yıldızların dağılımındaki anlamlı ilişkinin matematiksel eğimi, sistemler yarı-ayrık ve ayrık olduğunda çok daha net bir eğim oluşmaktadır. Projemiz kapsamındaki yayınlarımızda bu konu çalışılmıştır (Çakırlı vd. 2017). Yarı-ayrık ve ayrık sistemler bu grafiğe eklendikçe P_{puls} - P_{orb} değişebileceği açıktır. Bu noktada irdelenmesi gereken yörünge dönemindeki artıştır. Yörünge dönemindeki artış bileşen yıldızlar arasındaki uzaklığın artması anlamına gelmektedir. Değişim P_{orb} α $a^{3/2}$ ile verilir. Bileşen yıldızlar arasındaki uzaklık arttıkça P_{puls}

artacaktır. P_{puls} - P_{orb} arasındaki ilişki Liakos ve Niarchos (2017) tarafından δ Scuti türü yıldızlarda geniş kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Gözlemsel olarak yörünge dönemi 13 günden daha büyük yörünge dönemli yıldızların zonklama dönemi ile yörünge dönemi arasında ilişkinin kurulamadığı görülmektedir.



Şekil 4. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının yörünge dönemine karşı zonklama dönemi arasındaki gözlemsel ilişki.

Örten çift üyesi zonklayan yıldızların (ki genelde baş yıldız) zonklama dönemine yoldaş bileşenin bir katkısı ya da çekimsel olarak bir etkisi var mıdır? Şekil 5 bu sorunun cevabını – şimdilik net olmasa da- vermektedir. Proje kapsamında incelediğimiz yıldızların önemli bir fiziksel parametresi olan g_{eff} değerinin zonklama dönemiyle olan ilişkisi Şekil 5'de verilmiştir. Ancak öncelikle büyük kütleli (M_{pri}) baş yıldız üzerindeki 1 g'lık maddeye etki eden kuvvetleri önceki sayfalardan hatırlamamız gerekir. g: büyük kütleli yıldız yüzeyindeki 1 g'lık maddeyi yıldızın merkezine doğru çeken kuvvet, B_g:1 g'lık maddeyi küçük kütleli yıldıza doğru çeken kuvvet ($B_g = \frac{GM_S}{(a-R_{eq})^2}$) ve A_{ca}: yıldızın kendi ekseni çevresinde dönmesi nedeniyle 1 g'lık maddeye uygulanan merkezkaç ivmedir ($A_{ca} = \frac{8\pi^2 R_{eq}}{3P_{rot}^2}$). Burada P_{rot} ve R_{eq} değerleri zonklayan yıldızın (genelde baş yıldız) kendi ekseni etrafındaki dönme dönemi ile eşlek yarıçapının değeridir. Şekil 5'in gösterdiği ilişkiye bakıldığında zonklama dönemi artan g_{eff} değerleriye azalma eğilimindedir. Başka bir deyişle zonklama dönemi zonklayan bileşen için hesaplanan g_{eff} değerleriyle ters orantılıdır.



Şekil 5. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının g_{eff} değerlerine karşılık zonklama dönemi arasındaki ilişki.

Gözlem verilerinin saçılmasına karşın, doğrusal en küçük kareler yöntemini uyguladığımızda,

$$P_{puls} = -0.74(0.16) \times \log g_{eff} + 3.96(1.01),\ r = 0.35 \qquad 4.5$$

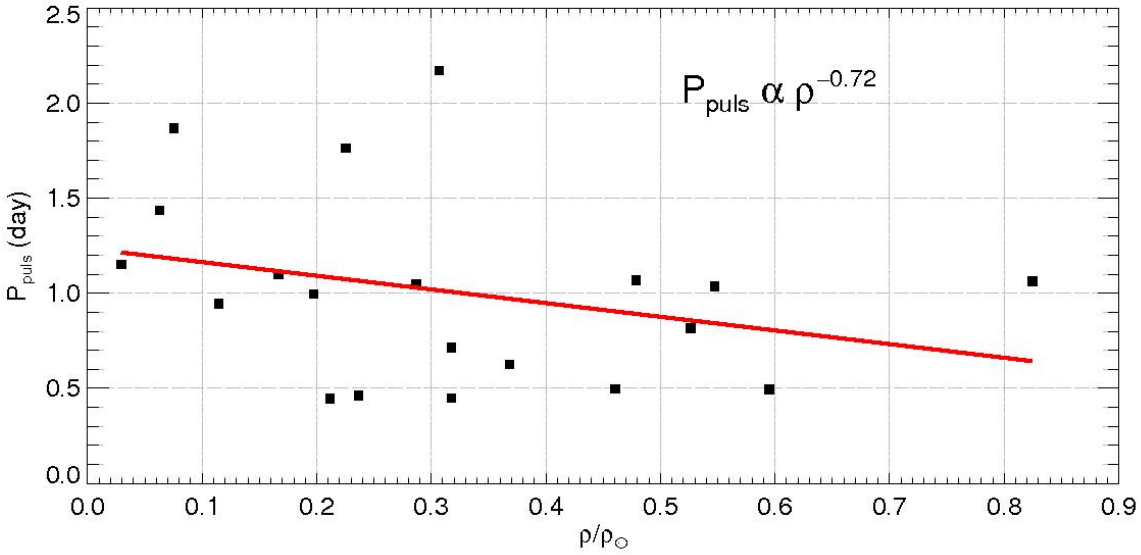
elde ediyoruz. Zonklayan yıldızın etkin yüzey çekim ivmesi büyüdükçe zonklama dönemi kısalmaktadır. Bu sonuç γ Dor türü yıldızlar için ilk defa projemiz kapsamında ortaya konmuştur. Diğer bir önemli nokta ise; kararsızlık kuşağı olarak adlandırılan zonklama bölgesinin düşük kütleli tarafı incelendiğinde konveksiyon ve sönümleme etkileri nedeniyle bazı yıldızların g-modu, radyal olmayan salınımlar gösterdiği görülmüştür (Guzik vd. 2015). Bu karmaşa kendini açık bir şekilde γ Dor ve δ Scuti yıldızlarının karışmasıyla belli eder. Ancak bazı cisimler de vardır ki bunlar δ Scuti ile γ Dor yıldızları arası geçiş objeleri olarak düşünülen hybrid (melez) yıldızlardır. Bu yıldızların kütle sınırı 2 $M_{\odot}$ civarındadır. Bu sınır δ Sct kararsızlık bölgesinin tam ortasına denk gelir, konvektif zarf ile radyatif zarf arasında geçiş bölgesinin ortasıdır. Bu nedenle bu limitin her iki tarafında, limitten uzaklaştıkça giderek farklılaşan zonklama karakteristikleri gözlemek doğaldır. Gerçekte tüm araştırmalar δ Scuti türü değişenlerin neredeyse tamamının melez zonklayıcılar (hybrid pulsators) olarak değerlendirilmesini olanaklı hale getirir (Breger vd. 2000). Yapılan zonklama frekans analizlerinden γ Dor yıldızları ile δ Sct yıldızlarının zonklama karakteristiklerinin birbirinden farklı olduğunu biliyoruz. Her ikisinde de çekirdek ve zarf konvektif olmakla birlikte δ Sct

yıldızlarında konvektif zarf daha dar bir alanda yer alırken artan yaş ve/veya azalan kütle ile konvektif zarf da daha derine doğru iner. Bu iki türün HR diyagramı üzerinde bir kesişim kümesi bulunur. Özellikle yeni eklenen kaynaklarla "zonklama dönemi–mutlak parametre" ilişkisinin ne denli önemli olduğu son yıllarda iyi bir şekilde anlaşılmaktadır. Bu bölgedeki yıldızlarda g-modu salınımları derin katmanları incelememize izin verirken, p-modu salınımları yüzeyi çalışabilmemize olanak sağlar. Zonklama karakteristikleri mutlaka detaylandırılmalıdır. Bu ancak γ Dor türü yıldızların salt parametrelerinin çok iyi bilinmesi ile yapılabilir. Buradan hareketle örten çift üyesi γ Dor türü sistemlerin sayısının çoğaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle de g_{eff} ile zonklama dönemi arasındaki ilişki net olarak belirlenmelidir. Buradaki modelleme Yer–Ay arasındaki ilişkiye oldukça benzerdir. Ay'ın konumundaki değişimin yer merkezinde üretilen çekim dalgalarının yüzeye varması konusunun test edilebilmesini sağlar. İşte tam bu noktada bu tür yıldızların ölçülen metal bolluğu önem kazanır. Yıldız merkezinde üretilen bir çekim dalgasının hangi katmanlardan geçerek yüzeye ne kadarlık bir soğurulma ya da başka özelikleri taşıyarak gelebileceğini henüz bilmiyoruz. Bu süreç ancak merkez ile yüzey arasındaki madde yoğunluğuna, dolayısıyla iyonisazyon dengesine ve son noktada hangi katmanda hangi elementin, ne kadar bollukta olduğu ile ilişkilidir. Bu yüzden bu tür sistemlerin çok yüksek çözünürlüklü tayflarına ve bu tayfların da iç yapı modelleri ile karşılaştırılmasına ihtiyaç vardır.

Proje kapsamında incelediğimiz yıldızlardan elde edilen salt parametreleri kullanarak yapılan analizlerden ortalama yoğunluğa karşı "ρ - P_{puls}" değişimi incelendi. Değişim ve matematiksel ilişkisi Şekil 6'da verilmektedir. Uygulanan doğrusal değişim:

$$P_{puls} = -0.72(0.19) \times \rho + 1.24(0.65),\ r = 0.30 \qquad 4.6$$

ile temsil edilmiştir. Zonklama dönemi ile zonklayan yıldızın ortalama yoğunluğunun birbirine "$P_{puls} \alpha \rho^{-0.72}$" şeklinde bağlı olduğu görülüyor. İlişkinin toplamda 23 yıldızın hesaba katılarak elde edilmesi doğrusal ilişkinin duyarlık sınırlarını düşürmekle beraber yıldız sayının artmasıyla bu değişim daha net bir şekilde ortaya çıkacaktır.



Şekil 6. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının ρ değerine karşılık zonklama dönemi arasındaki ilişki.

Bununla beraber projemizin kapsamında incelediğimiz yıldızlar sayesinde elde edilen ve ilk defa projemiz kapsamında bulunan ilişkilerden önemli birtakım sonuçlar çıkartılabilir. Bunlardan ilki özellikle son olarak verilen zonklama döneminin g_{eff} ve ortalama yoğunluk ρ ile olan ilişkisi yıldız iç yapı modellerinin zonklama parametreleri kullanılarak test edilmesi açısından önemlidir. Bu konuda Zahn (1975, 2008) çalışmalarında kuramsal olarak erken tür çiftlerde açısal momentum aktarımını, tek yıldızlardaki gibi konvektif olarak uyartılmış iç çekim dalgalarının aksine, çekimsel olarak uyartılmış olan dalgalarla yapılabildiğini gösterir. Goldreich ve Nicholson (1989) tarafından da bu konu çalışılmıştır. Çekimsel olarak uyartılan zonklama tedirginliği yıldız zarfındaki konvektif-radyatif arakesit bölgesinde sürecin başlamasına neden olur. Daha sonra bu dalgalar radyatif zarfa doğru yayılır ve radyatif difüzyon nedeniyle sönümlenir. Zahn (2013) çalışmalarından dış konvektif bölgeli ve dış radyatif bölgeli yıldızlar için ayrı ayrı olmak üzere fiziksel formülasyonlarla difüzyonu açıklamıştır. Bu süreç Hambleton vd. (2016) tarafından oldukça basık yörüngeli yakın bir çift sistem olan KIC3749404 için gözlemsel olarak doğrulanmıştır. Özellikle zonklayan bileşenli çift sistemlerin modellenmesinde çekimsel olarak uyartılmış zonklama tedirginliğinin süreçlere katılması ile analiz edilen sisteme ilişkin yörünge parametreleri ve bileşenlerin salt parametre değerlerinin önemli ölçüde değişebileceği bu çalışma ile vurgulanmıştır.

Projemiz kapsamında incelenen yıldızların zonklama dönemleri ile salt parametreleri ve ortalama yoğunlukları arasındaki ilişki tamamen çekim modları ile zonklayan ve zonklama

genliği çok düşük olan örten bileşenli çift yıldız üyesi γ Dor yıldızlarının iç yapı modellerinin incelenmesi açısından da önem taşır. Düşük frekanslı radyal olmayan çekim modları karakteristiği gösteren γ Dor yıldızları bu özellikleri sayesinde erken F, geç A tayf türü üyelikleriyle küçük kütleli tamamen konvektif yıldızlar ile konvektif çekirdekli büyük kütleli yıldızlar arasında bir köprüdür. Guzik vd. (2000) ve Dupret vd. (2005) tarafından yapılan çalışmalarda γ Dor yıldızlarının düşük genlikli radyal olmayan çekim modları ile zonklamasının temelinde konvektif taban kaynaklı akı bloklanmasının yattığı ileri sürülmüştür. Dönme ve manyetik aktivitenin etkisi arındırılarak bu kuramın gözlemsel olarak test edilmesi gerekir. Bu noktada A-F tayf türünden anakol yıldızları olan γ Dor'lar önemli birer laboratuvar halini alır. Kuramı doğrulamak için çeşitli yollar varsa da (Miglio vd. 2008) bunların içersinden en olası görüleni γ Dor yıldızlarının salt parametrelerinin en hassas şekilde bulunması ve zonklama modlarının modellenmesidir. Çünkü, zonklama modları ve çeşitliliği ile yıldızların sahip oldukları salt parametreler açısından bu tür yıldızlar en önemli kaynaktır. Zonklama modlarının modellenmesi yıldız yüzeyinden içlerine doğru girmemizi sağlayacaktır. Projemiz kapsamında incelenen örten çift bileşenli γ Dor yıldızlarının Şekil 5 ve 6'da verilen zonklama dönemi ile bileşen yıldızların birbirlerine uyguladıkları çekim etkisi ve ortalama yoğunluk arasındaki ilişki önemlidir. Özellikle ortalama yoğunluk değişiminin konvektif tabanlı akı bloklamasını açıklamasını bekleyebiliriz. Bunun yanısıra konvektif bölgenin derinliğinin akı bloklamasına olan etkisi ile toplamda oluşan zonklama modlarının ilişkisi ortaya çıkartılabilir. Sonuç olarak zonklama modlarının modellenmesiyle yıldız iç yapı modelleri test edilebilir.

Örten çift üyesi γ Dor türü zonklayan yıldızların salt parametreleri ile zonklama dönemi arasındaki ilişkiler yukarıda anlatılanlar dışında daha da çeşitlendirilebilir. Özellikle T_{eff} ve log g_{eff} arasındaki ilişki Kepler katalog yıldızlarının incelenmesi ile daha anlaşılır bir seviyeye gelmiştir. T_{eff} ile g_{eff} arasındaki ilişki beklenen bir ilişkidir. Ancak zonklama sabiti Q ve ortalama yoğunluk ile ışınım gücü-kütle arasındaki ilişkiden yararlanarak kabaca;

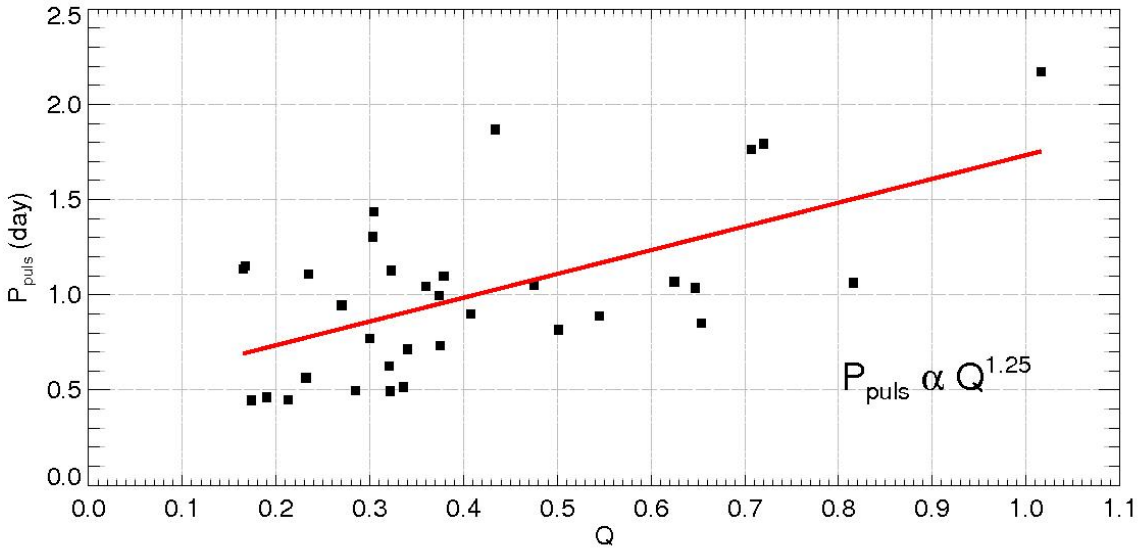
$$P_{puls} \approx R^{x}, T^{y} \qquad 4.7$$

olarak yazılabilir. Burada R ve T yıldızın yarıçap ve sıcaklığıdır. δ Scuti türü yıldızlar için bu denklem Liakos vd. (2017) tarafından çıkartılmıştır. Q=0.033 değeri δ Scuti türü yıldızlar için tam olarak bilinmekle beraber γ Dor yıldızları için Q değeri (proje kapsamında incelenen yıldızlardan) 0.25-0.74 gibi geniş bir aralıkta değişir. γ Dor yıldızları için Q değerinin hassas bir şekilde belirlenmesi ile zonklama dönemi ile salt parametreler arasındaki ilişki net olarak

ortaya çıkartılabilir. Şekil 7'de proje kapsamında incelenen yıldızların zonklama dönemi ile Q partametresi arasındaki ilişki verilmektedir. Doğrusal ilişki;

$$\mathrm{P_{puls}} = 1.25(0.12) \times \mathrm{Q} + 0.49(0.06),\ \mathrm{r} = 0.59 \qquad 4.8$$

olarak tanımlanmıştır. Q zonklama sabiti beklendiği gibi artan zonklama dönemi ile birlikte artmaktadır. Zonklama dönemine etki eden önemli parametrelerden biri olan Q sabiti daha önce tanımlanmıştı. Zonklama sabiti hem zonklama dönemine hem de ortalama yoğunluğa bağlıdır. Yoğunluğa bağlılık eğimi arttırıcı yönde etki etmektedir. Proje kapsamında elde edilen gözlemsel verilerin analizinden elde edilen bulgular değişimin varlığını, doğrusal bir ilişki olduğunu, artan zonklama dönemi ile Q parametresinin artmakta olduğunu ve bu ilişki ile zonklama döneminin ortalama yoğunluğa bağlı olduğunu gözlemsel olarak ispatlamıştır.



Şekil 7. Proje kapsamında incelenen örten çift üyesi ve literatürden alınan γ Dor yıldızlarının Q değerine karşılık zonklama dönemi arasındaki ilişki.

5. SONUÇ

Projemiz kapsamında, kararsızlık kuşağının soğuk tarafında bulunan, kararsızlık kuşağı δ Scuti türü yıldızlar ile kısmen örtüşen, örten çift üyesi γ Dor türü yıldızların ayrıntılı ışıkölçüm ve tayfsal verileri analiz edilmiştir. Amacımız; öncelikle karasızlık kuşağının soğuk tarafındaki γ Dor yıldızlarının yerlerini yüksek duyarlıkla belirlemek ve aynı bölgede yer alan ve

neredeyse aynı fiziksel özellikleri gösteren δ Scuti türü yıldızlardan zonklama bağlamında nerede farklılıklar gösterdiklerini en azından zonklama dönemi ile salt parametreleri arasındaki ilişkileri kullanarak bulmaktır. Örten çift üyesi γ Dor türü yıldızların kararsızlık kuşağı sorgulanırken incelenen bazı yıldızların kararsızlık kuşağı dışında yer alabileceği görülmüştür. Uydu tabanlı ışıkölçüm verilerin incelenmesi, Kepler ve CoRot kataloglarının taranması ve halen oluşturulmaya çalışılan EPIC K2 kataloğu ile birlikte artan örnek yıldız sayısına karşın birbirine karışan kararsızlık kuşaklarının tam olarak sınırları belirlenememiştir. Projemiz kapsamında ortaya konan örten çift üyesi zonklayan yıldızların çiftlik özellikleri kullanılarak salt parametrelerinin yüksek duyarlıkla belirlenmesi yöntemiyle kararsızlık kuşaklarının ayrılabileceği mümkündür. Önemli nokta yıldızların temel atmosfer parametrelerinin doğrulukla belirlenmesidir. Böylece temel atmosfer parametreleri kullanılarak zonklama modelleri daha güvenilir yapılacak, yüksek duyarlıkla belirlenen salt parametreler kullanılarak yıldız iç yapı modelleri test edilebilecektir. Her iki durumun paralel uygulaması ile güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Proje kapsamında bu durum gerçekleşmiş ve elde edilen salt parametreler kullanılarak yıldızlar HR diyagramının değişik türlerinde (T_{eff} - $L/L_{\odot}$, T_{eff} – g ...) işaretlenmiştir.

Proje kapsamında 23 örten çift üyesi zonklayan yıldız incelenmiştir. Bunlardan 5 tanesi projemiz kapsamında literatüre kazandırılmış, geri kalanların salt parametreleri literatürden toplanmıştır. Yıldız sayısına göre zonklama dönemi ve etkin sıcaklık değerlerine göre istatiksel dağılım Şekil 8'de verilmektedir.

Şekil 8'de verilen dağılıma ek olarak henüz tayfsal ve fotometrik verileri analiz aşamasında olan kaynaklar vardır. İlk olarak incelenen yıldızların tayf türlerinin sınıflaması yapılmış ve yıldızların tayf aralığı A7-F2 olarak tanımlanmıştır. İncelenen yıldızlardan birinin γ Dor kararsızlık kuşağının dışında yer aldığı görülmüştür. Bunun yan ısıra yine proje kapsamında incelenen bir yıldızın diğerlerine göre daha evrimleşmiş olduğu ve anakoldan ayrıldığı görülmüştür. Bu sayede γ Dor yıldızları için oluşturulmaya çalışılan kararsızlık kuşağının HR diyagramındaki en yüksek noktasına ulaşılmıştır. Başlangıç olarak kuşağın en üst ve en alt limitleri aşağı yukarı belirlenmiştir.

Tayfsal verilerin beraberinde ışıkölçüm verilerinin analiz edilmesiyle salt parametreler yüksek duyarlıkla elde edilmiştir. Bu sayede literatürde eksik kalan, örten çift üyesi γ Dor türü yıldızların ilk defa bir çizelgesi oluşturulmuş ve literatürde önemli bir kaynak oluşturulmuştur. Beraberinde γ Dor türü yıldızların temel atmosfer parametreleri, metal bolluk oranları ve ışıkölçüm verilerinin analizi ve ışıkölçüm verilerinden çoklu dönem temsilleri yapılmış,

uluslararası literatüre sunulmuştur. Zaman içerisinde bu çizelgenin daha çok yıldız kapsayacağını ve önemli bir katalog halini alacağını umuyoruz.

Proje kapsamında analiz edilen ve salt parametreleri literatürden toplanan yıldızlar birleştirilerek yıldızların zonklama dönemi ile salt parametreleri arasındaki ilişki matematiksel ve fiziksel olarak yorumlanmıştır. Projemiz amaçlarına katkı sağlayacak bazı önemli parametrelerin birbirleri ile olan doğrusal ilişkileri test edilmiştir. Bu ilişkilerden en dikkat çekici olanı P_{orb} α P_{puls} ilişkisidir. Yörünge dönemi P_{orb} < 13 gün değeri daha önce örten çift yıldız üyesi δ Scuti türü zonklayan yıldızlar için test edilmişti. Aynı değişim projemiz kapsamında incelenen çift yıldız üyesi γ Dor yıldızları için de bulunmuştur. Yıldızları birleştiren yarı büyük eksen uzunluğu büyüdükçe baş yıldızın yoldaşın etkisinden kurtulması böylece "serbest" zonklayabilmesi, çekim etkisinin en aza inmesi ve böylece baş yıldızın hiç bir tedirginlik etkisinde olmadan sadece bünyesel nedenlerden dolayı zonklamasını gerektirir. Bu kapsamda yine g_{eff} – P_{puls} ilişkisi projemiz kapsamında ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Örnek yıldız sayısının artması ile bileşen yıldızların birbirilerine uyguladıkları çekim etkisi ya da başka tür tedirginlikler (kütle aktarımı, disk yapı vs.) olmaksızın yıldızların doğrudan zonklama nedenlerini en az hatayla araştırma imkanımız doğacaktır.

γ Dor türü zonklayan yıldızların ortalama yoğunluk ile zonklama dönemi arasındaki ilişkisi dikkat çeken diğer önemli bir ilişkidir. Zonklama sabitinin yine zonklama dönemi ile ilişkisi bağlamında incelendiğinde artık merkezi dalgaların yüzeye yaptığı etkilerden daha fazla merkezde oluşan dalganın yıldız yüzeyine ulaşıncaya kadarki geçtiği ortamları ve dalganın evrimini araştırma imkanımız doğmuştur. Artan yıldız sayısı ve yüksek çözünürlüklü tayfsal çalışmalarla belirleyebileceğimiz hassas atmosfer parametreleri ve metal bolluğu ile artık iç yapı modelleri yüksek duyarlıkta test edilebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- **Alfonso-Garzon J.,** Montesinos B., Moya A., Mas-Hesse J. M., Martín-Ruiz S. 2014, "OMC/INTEGRAL photometric observations of pulsating components in eclipsing binaries and characterization of DY Aqr", MNRAS, 443, 3022
- **Antonello, E**., Mantegazza, L. 1986, "Variable stars in the southern open cluster NGC 2516", A&A, 164, 40
- **Balona, L. A.**, Guzik, J. A., Uytterhoeven, K., Smith, J. C. Tenenbaum, P. Twicken, J. D., 1994, "The Kepler view of γ Doradus stars", MNRAS, 415, 3531
- **Barstow, M. A.** 2013, "Planet, Stars and Stellar Systems", Vol. 4, Springer, New York
- **Breger M.** 2000, "δ Scuti stars", ASP Conference Series, 210, 3
- **Bruntt H.**, De Cat P., Aerts C., 2008. "A spectroscopic study of southern (candidate) γ Doradus stars. II. Detailed abundance analysis and fundamental parameters.", Astronomy and Astrophysics, 478, 487
- **Borkovits, T.**, Derekas, A., Fuller, J., Szabó, Gy. M., Pavlovski, K., Csák, B., Dózsa, Á., Kovács, J., Szabó, R., Hambleton, K. M. 2014, "HD 183648: a Kepler eclipsing binary with anomalous ellipsoidal variations and a pulsating component", MNRAS, 434, 3068
- **Bowman D. M.**, Catanzaro G., van Aarle E., Bloemen S. 2015, "Spectroscopic survey of Kepler stars. I. HERMES/Mercator observations of A- and F-type stars", MNRAS, 450, 2764
- **Chapellier, E.**, Mathias, P. 2013, "The CoRoT star ID 100866999: a hybrid γ Doradus-δ Scuti star in an eclipsing binary system", 2013, A&A, 556, 87
- **Cousins, A. W. J**., Laing, J. D. 1988, "Zero-Point Checks of Magellanic Cloud Sequences", MNSSA, 47, 16
- **Çakırlı, Ö.**, Ibanoglu, C., Sipahi, E., Akan, M. C. 2017, "V850 Cyg: An eclipsing binary with a giant γ Dor pulsator", New Astronomy, 52, 96
- **Damiani, C.**, Cardini, D., Maceroni, C., Debosscher, J. 2010, "Pulsating Binaries in CoRoT Exoplanet Targets", ASPC, 435, 41
- **Debosscher, J.**, Aerts, C., Tkachenko, A., Pavlovski, K., Maceroni, C., Kurtz, D., Beck, P. G., Bloemen, S., Degroote, P., Lombaert, R., Southworth, J. 2013, "KIC 11285625: A double-lined spectroscopic binary with a γ Doradus pulsator discovered from Kepler space photometry", A&A, 556, 56
- **Drilling, John S.**, Landolt, Arlo U. 2000, "Allen's astrophysical quantities, 4th ed. Edited by Arthur N. Cox. ISBN: 0-387-98746-0. Publisher: New York: AIP Press; Springer, 2000, p.381
- **Dupret, M.-A.,** Grigahcène, A., Garrido, R., De Ridder, J., Scuflaire, R., Gabriel, M. 2005, "Time-dependent convection seismic study of five γ Doradus stars", MNRAS, 360, 1143
- **Fernie J. D.** 1965, "The Period-Radius Relation for Pulsating Variable Stars. II a Modification", AJ, 142, 1072

- **Hambleton, K. M.** Kurtz, D. W., Prša, A.; Guzik, J. A., Pavlovski, K., Bloemen, S., Southworth, J., Conroy, K., Littlefair, S. P., Fuller, J. 2013, "KIC4544587: an eccentric, short-period binary system with δ Sct pulsations and tidally excited modes", MNRAS, 434, 925

- **Handler G.,** Shobbrook R. R. 2002, "On the relationship between the δ Scuti and γ Doradus pulsators", sMNRAS, 333, 25
- **Handler, G.**, Krisciunas, K. 1997, "An updated list of Gamma Doradus stars", DSSN, 11, 3
- **Hartman, J. D.,** Gaudi, B. S., Holman, M. J., McLeod, B. A., Stanek, K. Z., Barranco, J. A., Pinsonneault, M. H., Kalirai, J. S. 2008, "Deep MMT Transit Survey of the Open Cluster M37. II. Variable Stars", ApJ, 675, 1254
- **Gebran M.**, Monier R., Royer F., Lobel A., Blomme R. 2014, "Microturbulence in A/F Am/Fm stars, Putting A Stars into Context: Evolution, Environment, and Related Stars", Proceedings of the international conference held on June 3-7, 2013 at Moscow M.V. Lomonosov State University in Moscow, Russia, 193 p.
- **Goldreich, P.**, Nicholson, P. D. 1989, "Tidal friction in early-type stars", Apj, 342, 1079
- **Guo, Zhao**, Gies, Douglas R., Matson, Rachel A., García Hernández, Antonio 2016, "Kepler Eclipsing Binaries with Delta Scuti/Gamma Doradus Pulsating Components I: KIC 9851944", ApJ, 826, 69
- **Guzik, Joyce Ann**, Morgan, Taylor H., Nelson, Nicholas J., Lovekin, Catherine, Kitiashvili, Irina N., Mansour, Nagi N., Kosovichev, Alexander 2015, "2D and 3D Models of Convective Turbulence and Oscillations in Intermediate-Mass Main-Sequence Stars", IAUGA, 2255601
- **Ibanoğlu, C.**, Taş, G., Sipahi, E., Evren, S. 2007, "VZ CVn: a close binary system with γ Doradus-like variations", MNRAS, 376, 573
- **Ibanoglu, C.** 1974, "Photometric orbit of VZ CVn and the variation of its light curve", A&AS, 13, 119
- **Judge, P. G.**, Carpenter, K. G. 1998, "On Chromospheric Heating Mechanisms of ``Basal Flux'' Stars", ApJ, 494, 828
- **Kaye, A. B.**, Handler, G., Krisciunas, K., Poretti, E., & Zerbi, F.M., 1999, ''□ Doradus Stars: Defining a New Class of Pulsating Variables'', PASP, 111, 840
- **Keen, M. A.**, Bedding, T. R., Murphy, S. J., Schmid, V. S., Aerts, C., Tkachenko, A., Ouazzani, R.-M., Kurtz, D. W. 2015, "KIC10080943: a binary star with two γ Doradus/δ Scuti hybrid pulsators. Analysis of the g modes", 454, 1792
- **Kim, S. L.**, Lee, J. W., Kwon, S. G., et al., 2003, "Search for A-F Spectral type pulsating components in Algol-type eclipsing binary systems", A&A, 405, 231
- **Krisciunas, K.**, Guinan, E. 1990, "Unexplained Light Variations of the F0 V Star 9 Aurigae", IBVS, 3511, 1

- **Krisciunas, K.**, Aspin, C., Geballe, T. R., Akazawa, H., Claver, C. F., Guinan, E. F., Landis, H. J., Luedeke, K. D., Ohkura, N., Ohshima, O., Skillman, D. R. 1993, "The 9-AURIGAE System", MNRAS, 263, 781
- **Kurtz, Donald W.**, Shibahashi, Hiromoto, Murphy, Simon J., Bedding, Timothy R., Bowman, Dominic M. 2015, "A unifying explanation of complex frequency spectra of γ Dor, SPB and Be stars: combination frequencies and highly non-sinusoidal light curves", MNRAS, 450, 3015
- **Liakos A.**, Niarchos P., Soydugan E., Zasche P., 2012, "Survey for δ Sct components in eclipsing binaries and new correlations between pulsation frequency and fundamental stellar characteristics", MNRAS, 422, 1250
- **Liakos A.**, Niarchos P. 2017, "Catalogue and properties of δ Scuti stars in binaries", MNRAS, 465, 1181
- **Lee, Jae Woo**, Kim, Seung-Lee; Hong, Kyeongsoo; Lee, Chung-Uk; Koo, Jae-Rim 2014, "The Eclipsing System V404 LYR: Light-travel Times and γ Doradus Pulsations", AJ, 148, 37
- **Lee, Jae Woo** 2016, "γ Doradus Pulsations in the Eclipsing Binary Star KIC 6048106", ApJ, 833, 170
- **Maceroni, C.**, Lehmann, H., da Silva, R., Montalbán, J., Lee, C.-U., Ak, H., Deshpande, R., Yakut, K., Debosscher, J., Guo, Z. 2014, "KIC 3858884: a hybrid δ Scuti pulsator in a highly eccentric eclipsing binary", A&A, 563, 59
- **Maceroni, C.**, Montalbán, J., Gandolfi, D., Pavlovski, K., Rainer, M. 2013, "CoRoT 102918586: a γ Doradus pulsator in a short-period eccentric eclipsing binary", A&A, 552, 60
- **Mantegazza, L.**, Poretti, E., Bossi, M., Zerbi, F. M. 1995, "Simultaneous Photometric and Spectroscopic Observations of the unusual Variable F-type stars HD 224638 and HD 224945", ASPC, 83, 339
- **Matson, Rachel A.**, Gies, Douglas R., Williams, Stephen J., Guo, Zhao 2013, "Spectroscopic Orbits for Kepler FOV Eclipsing Binaries", noao.prop, 290
- **Miglio, A.**, Montalbán, J., Noels, A., Eggenberger, P. 2008, "Probing the properties of convective cores through g modes: high-order g modes in SPB and γ Doradus stars", MNRAS, 386, 1487
- **Niemczura E.**, Murphy S. J., Smalley B., Uytterhoeven K., Pigulski A., Lehmann H.,
- **Pamyatnykh, A. A.**, Dziembowski, W. A., Handler, G., Pikall, H. 1998, "Towards a seismic model of the delta Scuti star XX Pyxidis", A&A, 333, 141
- **Poretti, E.**, Zerbi, F., Mantegazza, L. 1994, "Unusual Photospheric Activity in Stars of Spectral Type FO-F5", MmSAI, 65, 83
- **Queloz, D.**, Allain, S., Mermilliod, J.-C., Bouvier, J., Mayor, M. 1998, "The rotational velocity of low-mass stars in the Pleiades cluster", A&A, 335, 183
- **Rodriguez, E.**, Lopez-Gonzalez, M.J., Lopez de Coca, P. 2000. "A List of δ Scuti Stars and their Associated Parameters", IAU Delta Scuti and Related Stars, 210, 499
- **Schmid, V. S**., Tkachenko, A., Aerts, C., Degroote, P., Bloemen, S., Murphy, S. J., Van Reeth, T., Pápics, P. I., Bedding, T. R., Keen, M. A. 2015, "KIC 10080943: An eccentric

binary system containing two pressure- and gravity-mode hybrid pulsators", 2015, A&A, 584, 35

- **Shibahashi, H.** 2002, "The Effect of a Close Binary upon Stellar Pulsation", ASPC, 259, 82
- **Sipahi, E.**, Dal, H. A. 2014, "A γ Doradus candidate in eclipsing binary BD And?", New Astronomy, 26, 62
- **Sokolovsky, K.**, Maceroni, C., Hareter, M., Damiani, C., Balaguer-Núñez, L., Ribas, I. 2010, "A new eclipsing binary system with a pulsating component detected by CoRoT", CoAST, 161, 55
- **Soydugan E.**, Soydugan F., Demircan O. ve İbanoğlu C., 2006, "A catalogue of close binaries located in the δ Scuti region of the Cepheid instability strip", MNRAS, 370, 2013
- **Özdarcan, O.**, Dal, Hasan Ali 2017, "KIC 7385478: An Eclipsing Binary with a γ Doradus Component", 34, 17
- **Van Reeth T.**, Tkachenko A., Aerts C., Pápics P. I., Degroote P., Debosscher J., Zwintz K., Bloemen S., De Smedt K., Hrudkova M. 2015, "Detecting non-uniform period spacings in the Kepler photometry of γ Doradus stars: methodology and case studies", Astronomy and Astrophysics, 574, 17
- **Yıldız, M.** 2008, "Mixing-length parameter from binaries and clusters", IAUS, 252, 183
- **Zahn, J.-P** 1975, "The dynamical tide in close binaries", A&A, 41, 329
- **Zahn, J, -P** 2008, "Instabilities and mixing in stellar radiation zones", IAUS, 252, 47
- **Zahn, J.-P.** 2013, "Rotation induced mixing in stellar interiors", EAS, 63, 24

Ekler:

1.Davet Yazıları:

Gmail Omur Cakirli <omur.cakirli@gmail.com>

V2653 Ophiuchii with a pulsating component and Ppuls – Porb, Ppuls – g correlations for γ Dor type pulsators

2 messages

Astrophysics 2017 <particle@physicsconferences.org> 27 April 2017 at 19:29
To: omur.cakirli@ege.edu.tr

2nd International Conference on Astrophysics and Particle Physics, November, 13-15, San Antonio, USA, 2017

Dear Dr. Ö. Çakırlı,

Greetings of the day!

We are glad to inform you that your article **"V2653 Ophiuchii with a pulsating component and Ppuls – Porb, Ppuls – g correlations for γ Dor type pulsators"** is selected for the seat **"2nd International Conference on Astrophysics and Particle Physics"** which will be held from the **November 13-15, 2017** in the Beautiful City – **San Antonio, USA**. On behalf of our **Scientific Committee** we are pleased to invite you to participate as a **Speaker** at the **Particle Physics 2017** conference where you can share your research work on your current research interests.

The conference focuses on the theme ***"Current Findings and Future Prospects of Particle Physics & Astrophysics"***

Particle Physics 2017 conference targets in gathering renowned Scientists, Professors and Research professionals across the globe under a single roof, where they discuss the research, achievements and advancements in the field. Our honourable Committee members and Keynote speakers includes the leading university professionals.

- Prof. Steven Weinberg, Nobel laureate in Physics-1979, University of Texas, USA
- Vasily Yu. Belashov, Kazan Federal University, Russia
- Shaomin Chen, Tsinghua University, China
- Robert Golub, North Carolina State University, USA
- Neil Spooner, The University of Sheffield, UK
- Anton Lipovka, Sonora University, Mexico
- Lukasz Andrzej Glinka, Member of the American Association of International, Poland
- Włodzimierz Piechocki, National Centre for Nuclear Research, Poland

Submit an abstract today for Particle Physics 2017 and join our colleagues from nearly 70 countries in Dallas, USA. You can also submit through mail. Kindly let me know your feasibility of joining and allow me to clarify more details about the event.

With Regards,
Preity Sae
Program Director
Particle Physics 2017
2360 Corporate Circle STE 400, Henderson, NV 89074, USA
P +1-888-843-8169, F +1-650-618-1414
E: Particle@physicsconferences.org
E: astrophysicsconference@gmail.com

Astrophysics 2017 <particle@physicsconferences.org> 27 April 2017 at 19:29
To: omur.cakirli@gmail.com

[Quoted text hidden]

Gmail Omur Cakirli <omur.cakirli@gmail.com>

V850 Cyg: An eclipsing binary with a giant γ Dor pulsator

1 message

Astrophysics 2017 <particle@physicsconferences.org> 19 April 2017 at 15:48
To: omur.cakirli@gmail.com

2nd International Conference on

Astrophysics and Particle Physics

November 13-15, 2017 San Antonio, Texas, USA

Dear Dr. Ö. Çakırlı,

Hearty Greetings!

On the behalf of Particle Physics 2017 Organising Committee, We are glad to inform you that your article **"V850 Cyg: An eclipsing binary with a giant γ Dor pulsator"** is selected for the seat at the upcoming **2nd International Conference on Astrophysics and Particle Physics** which is going to be held in **San Antonio, Texas, USA** on **November 13-15, 2017.**

Particle Physics 2017 is a 3-Day summit and our objective is to bring together bright minds to give talks that are idea-focused, and on a wide range of subjects, to foster learning, inspiration and wonder – and provoke conversations that matter.

You are the person with significant experience in this discipline to deliver a speech of touchstones that has the potential to ignite young minds and overcome the challenges that hinders the advancements in the concerned domain and your research works proves it no less.

We believe that your valuable presentation will add an important dimension to the event.

For more details P.S: Conference Webpage.

We believe that your voice would be a critical addition to the Particle Physics 2017 stage. Please let us know whether or not you'd be interested in speaking. Thank you for reading, and we very much look forward to hearing from you.

Sincerely Yours,

Preity Sae

Program Director

Particle Physics 2017

Particle@physicsconferences.org

Direct: 1(702)-508-5197 Ext: 8066

2. Yayınların ilk sayfaları;

New Astronomy 38 (2015) 55–62

Contents lists available at ScienceDirect

New Astronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/newast

KIC 9851142: A binary star with total eclipses and γ Dor pulsations

Ö. Çakırlı*

Ege University, Science Faculty, Astronomy and Space Sciences Dept., 35100 Bornova, İzmir, Turkey

HIGHLIGHTS

- KIC9851142 is an eccentric eclipsing binary exhibiting mmag amplitude pulsations.
- I found that the binary is composed of two main sequence stars.
- Multiple frequency analyses techniques were applied to the light residuals.
- This revealed that the primary component is a γ Dor type pulsating star.
- The analysis of the eclipse timing variations revealed preliminary apsidal motion.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 20 October 2014
Received in revised form 13 January 2015
Accepted 14 January 2015
Available online 12 February 2015

Communicated by E.P.J van den Heuvel

Keywords:
Stars: binaries: eclipsing
Fundamental parameters
Oscillations (including pulsations)
Individual: KIC 9851142

ABSTRACT

KIC 9851142 (V2094 Cyg, HD 188854) is an eccentric eclipsing binary with an orbital period of $P_{orb} = 8.4854$ d, exhibiting millimagnitude (mmag) amplitude pulsations on time scales of a few days. I present the results of the analysis of high-resolution spectroscopic data and *Kepler* long and short cadence photometry. The iterative combination of spectral classification by atmospheric analysis, radial velocity and eclipse timing variation studies, separation of pulsational features of the light curve, and binary light curve analysis led to the accurate determination of the fundamental stellar parameters and the comparison with evolutionary models strict constraints on the system age. I found that the binary is composed of two main sequence stars with an age of 0.75 ± 0.21 Gyr, having masses, radii and temperatures of $M_1 = 1.79 \pm 0.11\,M_\odot$, $R_1 = 2.47 \pm 0.07\,R_\odot$, $T_{eff1} = 7250 \pm 480$ K for the primary, and $M_2 = 0.83 \pm 0.12\,M_\odot$, $R_2 = 0.67 \pm 0.05\,R_\odot$, $T_{eff2} = 5050 \pm 650$ K for the secondary. Multiple frequency analyses techniques were applied to the light residuals after subtracting the synthetic eclipsing curve from the *Kepler* data. This revealed that the primary component of KIC 9851142 is a γ Dor type pulsating star, exhibiting five pulsation frequencies in the range of 0.6–1.95 d^{-1} with amplitudes of 0.29–6.72 mmag and pulsation constants of 0.24–0.27 d. The analysis of the eclipse timing variations revealed preliminary apsidal motion with a period of $P^{obs}_{apse} = 240 \pm 29$ y. Only six eclipsing binaries have been known to contain γ Dor pulsating components and, therefore, KIC 9851142 will be an important testbed for examining these exceptional and interesting objects.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

KIC 9851142 is a poorly known star that has been classified A7 CrEu by Bertaud and Floquet (1967). Its photometric peculiarity is just significant in the Geneva system (Hauck and Curchod, 1980) and it was clearly shown by Carrier et al. (2002) to be a single-lined (SB1) eclipsing binary with a relatively long period. These authors also estimated the absolute properties of the system by a joint analysis of the eclipses and radial velocities. They classified it as a long-period SB1 eclipsing binary in their catalog. Later KIC 9851142 was observed by the *Kepler* satellite in both long and short cadence and identified as KIC 9851142 in the *Kepler* Input Catalog (KIC). A very shallow and total secondary eclipse is revealed by these observations. Detailed descriptions of the characteristics of these observations can be found in Prša (2011). The extraordinary quality of the photometric light curves delivered by *Kepler* makes them appropriate to study stellar variability, particularly the detection of pulsating stars in eclipsing binary systems. Such stars in binary systems are relatively rare, and especially interesting for asteroseismic studies (Debosscher, 2013). In this context, using photometric time series complemented with spectroscopic follow-up observations and modelling the orbital dynamics of the binary, we can derive accurate constrains on the masses and radii of the pulsating stars.

* Tel.: +90 2323111740; fax: +90 2323731403.
E-mail address: omur.cakirli@gmail.com

http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2015.01.002
1384-1076/© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

TÜBİTAK

New Astronomy 37 (2015) 70–75

Contents lists available at ScienceDirect

New Astronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/newast

"Constant" eclipsing binary in the instability strip

Ö. Çakırlı *

Ege University, Science Faculty, Astronomy and Space Sciences Dept., 35100 Bornova, İzmir, Turkey

HIGHLIGHTS

- Taking into account the results, I discuss the nature of OO Peg.
- Analyses of the light and radial curves led to determination of stellar parameters.
- I show the location of the components in effective temperature–luminosity diagram.
- About six single stars and OO Peg components do not show any pulsational frequencies.
- They are apparently constant stars lie within the pulsation instability region.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 November 2014
Received in revised form 3 December 2014
Accepted 13 December 2014
Available online 23 December 2014

Communicated by P.S. Conti

Keywords:
Stars: fundamental parameters
Individual: OO Peg
Binaries: eclipses

ABSTRACT

The eclipsing binary OO Peg consist of two late-A type stars in circular orbit with a period of 2.985 days. I use the high-resolution spectroscopic and extensive light curves from the *ASAS* and *Hipparcos* survey to measure the physical properties of the system. Previous attempts to model the light and radial velocity curves of the system have met with limited success, primarily because of the lack of a accurate photometric data. The system shows no signs of stellar activity, it is slowly rotating, has not been detected period changes, and there is no pulsational signs in the photometric data. I show the location of the components in effective temperature vs. luminosity diagram compared to the instability region limits established from eclipsing binary components. While more than 25 system have been plotted to diagram, about six single stars and OO Peg components do not show any pulsational frequencies. They are apparently constant stars lie within the pulsation instability region. I speculate as to the possible causes of this picture.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The analysis of photometric and spectroscopic observations of double-lined detached eclipsing binaries (dEBs) usually yield fundamental parameters like masses and radii which are too important to match the predictions of theoretical stellar evolutionary models. The other use of dEBs is to investigate the physical processes at work in single stars. This is particularly useful if one or both components belongs to a class of peculiar or poorly understood stars, for example eclipsing binaries with at least one of the components located in the δ Scuti region of the *Cepheid* instability strip described by Soydugan et al. (2006). In this work I present the investigation of an eclipsing binary is already reported by Soydugan et al. (2006) and indicate that at least one of the component is a possible δ Scuti star.

The eclipsing nature of OO Peg (ASAS214138 + 1439.5, HIP107099) was detected by using the *Hipparcos* satellite (Perryman et al., 1997), photometry from which showed two eclipses of nearly the same depth and an orbital period of 2.985 days. The orbit is circular and eclipses are compared to the orbital period. Since then, OO Peg was the subject of several extensive studies based on both ground-based spectroscopy and multi-survey photometry.

Munari and Zwitter (1997) used *Hipparcos* observations plus presented 21 radial velocities for the components obtained with the 1.82 m telescope operated by Osservatorio Astronomico di Padova atop Mt. Ekar (Asiago). They combined *Hipparcos* photometry with the spectroscopic data to refine the orbital solution and to determine precise physical properties of both binary components.

In this paper I obtain and analyze the new high-resolution spectroscopic observations, and used the ASAS (Perryman, 1997) survey data to improve the photometric model and directly determine the high-precision absolute masses and radii of the

* Tel.: +90 2323111740; fax: +90 2323731403.
E-mail address: omur.cakirli@gmail.com

http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2014.12.006
1384-1076/© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

TÜBİTAK

New Astronomy 46 (2016) 47–53

Contents lists available at ScienceDirect

New Astronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/newast

V421 Pegasi: a detached eclipsing binary with a possible γ Doradus component

O. Özdarcan*, Ö. Çakırlı, C. Akan

Ege University, Science Faculty, Astronomy and Space Sciences Dept., 35100, Bornova, İzmir, Turkey

HIGHLIGHTS

- We present first detailed analysis of eclipsing binary V421 Pegasi.
- The system is a detached EB, formed by F1 V + F2 V components.
- We estimated reddening, absolute dimension and distance of the system.
- Primary component is a gamma doradus variable candidate.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 9 December 2015
Accepted 15 December 2015
Available online 22 December 2015

Communicated by P. S. Conti

Keywords:
Stars
Fundamental parameters – individual
V421 Peg – binaries
Eclipsing

ABSTRACT

We present spectroscopic and photometric study of V421 Peg. This eclipsing binary displays lines from both components that are well separated. This allowed us to classify the primary and secondary component as F(1 ± 0.5) *V* and F(2 ± 0.5) *V*, respectively. We use our radial velocity measurements together with *Hipparcos* and ASAS photometry and apply simultaneous analysis, which yields masses and radii of the primary and secondary components as $M_1 = 1.594 \pm 0.029$ $M_\odot$, $M_2 = 1.356 \pm 0.029$ $M_\odot$ and $R_1 = 1.584 \pm 0.028$ $R_\odot$, $R_2 = 1.328 \pm 0.029$ $R_\odot$, respectively. Positions of the components in HR diagram suggest that the primary component is a γ Doradus variable candidate. Spectroscopic and photometric properties of the system indicates reddening value of $E(B-V) = 0^m.021$ which puts the system to the distance of 158 ± 4 pc.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

V421 Peg (ASAS 000702+2250.7, BD+22° 4955, Tycho 1729-206-1, $V = 8^m.28$, $(B-V) = 0.370$) was discovered to be an eclipsing binary of F spectral type, with a variability period of 1.54 d by the *Hipparcos* satellite (ESA, 1997). Since then, V421 Peg was the subject of several extensive studies based on ground-based photometric surveys, such as ASAS-3 (Pojmanski, 2002), NSVS (Woźniak, 2004), and SuperWASP.[1] Otero (2007) first displayed ASAS and *Hipparcos* light curves and listed new light elements of the system. In the plotted light curves, eclipses occur in 0.0 and 0.5 orbital phase indicating circular orbit. Its components do not show intrinsic variability, they are well separated and well within their Roche lobes, which values them proper tests for stellar models.

Several times of minima for V421 Peg have appeared in the literature, but no radial velocity measurements and related analysis have been published. The aim of this work is to obtain the absolute parameters of the system. Along the next section we first present our spectroscopic data and the set of light curves. The spectra allowed us to construct the radial velocity curve and derive the orbital parameters, as well as to estimate the spectral types for both components. Then, using the results from the spectroscopy together with the photometric data, we could determine the rest of the parameters of the system.

2. Spectroscopic observations and data reductions

Spectroscopic observations were performed with the FRESCO échelle spectrograph at the 91-cm telescope of Catania Astrophysical Observatory. The spectrograph was fed by the telescope through an optical fiber (UVNIR, 100 μm core diameter) and was located in a stable position in the room below the dome level. Spectra were recorded on a CCD camera equipped with a thinned back-illuminated SITe CCD of 1024 × 1024 pixels (size 24 × 24 μm^2). The resolution is 24,000, as deduced from the full width at half-maximum of the lines of the Th–Ar calibration lamp. The spectra cover the wavelength range from 4300 to 6650 Å, split into 19 orders. In this spectral region there are several lines useful

* Corresponding author. Tel.: +90 2323112325; fax: +90 2323731403.
E-mail address: orkun.ozdarcan@gmail.com, orkun.ozdarcan@ege.edu.tr (O. Özdarcan).

[1] http://wasp.cerit-sc.cz/ .

http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2015.12.004
1384-1076/© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

TÜBİTAK

New Astronomy 52 (2017) 96–107

Contents lists available at ScienceDirect

New Astronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/newast

V850 Cyg: An eclipsing binary with a giant γ Dor pulsator

Ö. Çakırlı*, C. Ibanoglu, E. Sipahi, M.C. Akan

Ege University, Science Faculty, Astronomy and Space Sciences Department, 35100 Bornova, İzmir, Turkey

HIGHLIGHTS

- We present new spectroscopic observations of binary V850 Cyg.
- We estimate an interstellar reddening and distance of the system.
- Using the photometric data we have made frequency analysis.
- We find empirical relations that Ppuls ~ Porb and Ppuls ~ log g.
- We present the underlying physics behind the correlations.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 7 April 2016
Revised 24 October 2016
Accepted 25 October 2016
Available online 26 October 2016

Keywords:
Stars: fundamental parameters
Individual: V850 Cyg
Binaries: eclipses

ABSTRACT

We present new spectroscopic observations of the double-lined eclipsing binary V850 Cyg. The long-cadence photometric observations obtained by *Kepler* were analysed and combined with the analysis of radial velocities for deriving the absolute parameters of the components. Masses and radii were determined as M_p=1.601 ± 0.076 $M_\odot$ and R_p=4.239 ± 0.076 $R_\odot$, M_s=0.851 ± 0.053 $M_\odot$ and R_s=5.054 ± 0.087 $R_\odot$ for the components of V850 Cyg. We estimate an interstellar reddening of 0.28 ± 0.12 mag and a distance of 1040 ± 160 pc for the system. The measured rotational velocity of the secondary appears to lower than that of synchronize rotation. However its spectral lines are too weak to be measured the rotational velocity with reasonable accuracy. We have extracted the synthetic light curve from the observations and excluded the data within the eclipses for the frequency analysis. We obtained at least nine frequencies in the γ Dor regime. It seems that the primary component oscillates with a dominant period of about 1.152549 ± 0.000009 days. We also compare pulsational properties of the primary star of V850 Cyg with the γ Dor type pulsating components in other binaries.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Eclipsing binaries with well-defined light curves and accurate radial velocities for both components provide us empirical masses, radii, effective temperatures and luminosities. Some eclipsing binaries contain pulsating components. In the last decade they have increased significantly in number by ground-based surveys (Kim et al., 2003) and space missions such as *Kepler* (Borucki et al., 2010), *MOST* (Walker et al., 2003) and *CoRot* (Baglin et al., 2006). Most of them have been found to be δ Scuti type members of classical Algol type semi-detached eclipsing binaries. However, only eleven eclipsing binaries with γ Dor type pulsating components have been reported so far (Çakırlı, 2015).

The light variability of V850 Cyg (KIC10206340, 2MASS J19245882 + 4714573, NSVS 5592780, V = $11^m.23$, B-V = $0^m.705$) was first announced and suspected as an Algol type eclipsing binary by Weber (1960). Busch (1967) derived a preliminary orbital period of 4.56427 d using the 127 sky patrol plates. He estimated depths of the eclipses as 1.0 and 0.5 mag for the primary and secondary, respectively. Akerlof et al. (2000) measured V magnitude at maxima as 11.280 mag with an uncertainty of 0.012 mag and an orbital period of 4.5458 (± 0.0020) days. Based on the Northern Sky Variability Survey (NSVS) Hoffman et al. (2008) classified the system as an Algol type variable with an orbital period of 4.5585 days. The *Kepler* time series of photometric data of A-F stars were analysed by Uytterhoeven et al. (2011) for the general characterization of their pulsational behaviour. They proposed that V850 Cyg is an eclipsing binary with a γ Dor pulsator.

We present new spectroscopic observations of V850 Cyg. We evaluate astrophysical parameters such as effective temperatures and surface gravities of the component stars from the analysis of the spectra taken near the quadratures. Combining the results obtained by the analysis of radial velocities and *Kepler* light curves we determine directly the absolute masses and radii of the com-

* Corresponding author. Fax: +902323731403.
E-mail address: omur.cakirli@gmail.com (Ö. Çakırlı).

http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2016.10.008
1384-1076/© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

TÜBİTAK

New Astronomy 45 (2016) 36–44

Contents lists available at ScienceDirect

New Astronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/newast

V2653 Ophiuchii with a pulsating component and $P_{puls} - P_{orb}$, $P_{puls} - g$ correlations for γ Dor type pulsators

Ö. Çakırlı*, C. Ibanoglu

Ege University, Science Faculty, Astronomy and Space Sciences Department, 35100 Bornova, İzmir, Turkey

HIGHLIGHTS

- We present new spectroscopic observations of binary V2653 Oph.
- We estimate the membership of the open cluster Collinder 359.
- Using the photometric data we have made frequency analysis.
- We find empirical relations that Ppuls Porb and Ppuls log g.
- We present the underlying physics behind the correlations.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 1 October 2015
Accepted 7 October 2015
Available online 24 October 2015

Communicated by P S Conti

Keywords:
Stars: fundamental parameters
Individual: V2653 Oph
Binaries: eclipses

ABSTRACT

We present new spectroscopic observations of the double-lined eclipsing binary V2653 Ophiuchii. The photometric observations obtained by *ASAS* were analyzed and combined with the analysis of radial velocities for deriving the absolute parameters of the components. Masses and radii were determined for the first time as $M_p = 1.537 \pm 0.021\ M_\odot$ and $R_p = 2.215 \pm 0.055\ R_\odot$, $M_s = 1.273 \pm 0.019\ M_\odot$ and $R_s = 2.000 \pm 0.056\ R_\odot$ for the components of V2653 Oph. We estimate an interstellar reddening of 0.15 ± 0.08 mag and a distance of 300 ± 50 pc for the system, both supporting the membership of the open cluster Collinder 359. Using the out-of-eclipse photometric data we have made frequency analysis and detected a periodic signal at 1.0029 ± 0.0019 c/d. This frequency and the location of the more massive star on the HR diagram lead to classification of a γ Dor type variable. Up to date only eleven γ Dor type pulsators in the eclipsing binaries have been discovered. For six out of 11 systems, the physical parameters were determined. Although a small sample, we find empirical relations that $P_{puls} \propto P_{orb}^{0.43}$ and $P_{puls} \propto g^{-0.83}$. While the pulsation periods increase with longer orbital periods, they decrease with increasing surface gravities of pulsating components and gravitational pull exerted by the companions. We present, briefly, the underlying physics behind the correlations we derived.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Main-sequence and subgiant stars of spectral type A to F in detached and semi-detached eclipsing binaries are very interesting targets for asteroseismic studies, i.e., the determination of the boundaries of instability strip by interpreting the observed oscillation characteristics. Indeed, eclipsing binaries containing A–F stars offer the possibility of determining accurate masses and radii for the components. Unique advantage is if the binary resides in a cluster, determination of the fundamental properties and, in particular for systems belonging to the open clusters, can be used to address relevant astrophysical issues, such as chemical compositions, age and the distance of two stars with accurate masses and radii, allowing a much more discriminating test of physical ingredients of theoretical models.

We present a study of the detached *Algol* type eclipsing binary, which is probably a member of the open cluster Collinder 359 (Zejda et al., 2012). We have obtained complete light curves from the photometry obtained by *Hipparcos* (Perryman et al., 1997) and All Sky Automated Survey, ASAS, (Pojmanski, 2002). We have also obtained an extensive spectroscopy using the FRESCO échelle spectrograph at the telescope of Catania Astrophysical Observatory.

Ochsenbein (1980) measured the visual magnitude of 8.90 mag with a precision of one tenth of a magnitude and a color of G5 using "microfiche" photographic observations for V2653 Oph. The eclipsing character of V2653 Oph (HD 162811;BD+03°3514; HIP 87511; V = 9.49, B-V = 0.60 mag)[1] was discovered by the *Hipparcos* satellite mission, the primary eclipse having an amplitude of 0.09 mag. The depth of the secondary minimum is nearly equal to that of the

* Corresponding author. Tel.: +90 2323111740; fax: +90 2323731403.
E-mail address: omur.cakirli@ege.edu.tr, omur.cakirli@gmail.com (Ö. Çakırlı).

[1] Adopted from the SIMBAD astronomical data base.

http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2015.10.003
1384-1076/© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. MUSTAFA CAN AKAN
Proje No:	114F354
Proje Başlığı:	Gamma-Dor Bileşenli Örten Çift Sistemlerin Fiziksel Özellikleri
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	ÖMÜR ÇAKIRLI
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	EGE Ü. FEN F. ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/04/2015 - 15/06/2017
Onaylanan Bütçe:	162300.0
Harcanan Bütçe:	95319.58
Öz:	Bileşenlerinden biri Gamma Dor türü zonklayan örten çift yıldızların sayısı oldukça azdır. Yıldızların salt parametrelerini ancak çift çizgili örten çiftlerin ışık ve dikine hız eğrlerinin analizi ile duyarlı olarak ölçülebilir. Işık eğrilerinin analizi için baş yıldızın etkin sıcaklığı ve bileşenlerin kütle oranlarının tayfsal olarak bulunmuş olması gerekir. Bu koşul altında ışık eğrisinin analizi ve dikine hız eğrisinin çözümü ile bulunan sonuçlar birleştirilerek salt parametreler duyarlı olarak bulunur. Böylece Dor bileşenli örten çiftin üyeleri Hertzsprung-Russell diyagramında güvenilir bir şekilde işaretlenebilir. Yapılan uzun dönemli ve atmosfer dışı yüksek duyarlıklı fotometrik veriler de bu yıldızlara ait zonklama doyasının ortaya çıkarılmasında önemli bir rol oynar. Sayıca az olan, HR diyagramındaki yerleri henüz tam olarak anlaşılamayan Gamma Dor yıldızları belirlenmiş ve astrofiziksel açıdan önemli bir sorun hakkında ilk defa bu çalışma kapsamında öngörülerimiz oluşmuştur.
Anahtar Kelimeler:	yıldızlar,çift,yıldız,örten,salt-parametreler,tayfsal-çift,zonklayan-yıldızlar,Gamma-Dor
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- KIC 9851142: A binary star with total eclipses and gamma Dor pulsations (Makale - İndeskli Makale), 2- "Constant" eclipsing binary in the instability strip (Makale - İndeskli Makale), 3- V421 Pegasi: a detached eclipsing binary with a possible Gamma Doradus component (Makale - Diğer Hakemli Makale), 4- V2653 Ophiuchii with a pulsating component and P-puls - P-orb, P-puls - g correlations for gamma Dor type pulsators (Makale - Diğer Hakemli Makale),

TÜBİTAK