

Soğuk Yıldız Lekelerinin Boylamsal Göç Hareketinde Görülen Salınımlar

Nurhan Ö. Kaya¹  , Hasan A. Dal¹ 

¹ Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova İzmir

Accepted: January 9, 2023. Revised: December 23, 2022. Received: November 5, 2022.

Özet

Bu çalışmada, anakolda F ile M tayf türleri arasında sıcaklıklara sahip olan aktif yıldızlar üzerindeki soğuk yıldız lekelerinin davranışları ve sergiledikleri boylamsal göç hareketinde görülen salınımların nedenleri yorumlanmıştır. Işık eğrilerinde soğuk leke kaynaklı sinüzoidal değişim gösteren 10 adet çift sistem seçilmiş ve sistemlerin Kepler Uydusu tarafından elde edilen yüksek çözünürlüklü gözlem verileri kullanılarak, analizler gerçekleştirilmiştir. İncelenen sistemler: KIC4357272, KIC6025466, KIC6058875, KIC6962018, KIC7798259, KIC9210828, KIC11706658, KIC12599700, KIC8669092 ve KIC7671594. Lekelerin boylamsal göç hareketi, θ_{\min} değişimi ve artıkları tespit edilip yorumlanmıştır. Sonucunda, F ile M tayf türleri arasında farklı sıcaklıklara sahip olan aktif yıldızların üzerindeki lekelerin boylamsal göç dönemlerinin, $(B-V)$ ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değiştiği bulunmuştur.

Abstract

In this study, the behavior of cool stellar spots on active stars with temperatures between F and M spectral types in the main sequence and the causes of oscillations in the longitudinal migration they exhibit are interpreted. 10 targets showing sinusoidal changes due to cool spot in their light curves were selected and analyzes were carried out by using high resolution observation data of the systems obtained by the Kepler Satellite. The examined systems are KIC4357272, KIC6025466, KIC6058875, KIC6962018, KIC7798259, KIC9210828, KIC11706658, KIC12599700, KIC8669092 and KIC7671594. The longitudinal migration of spots, the θ_{\min} exchange and residues were determined and interpreted. As a result, we found that the longitudinal migration periods vary versus the stellar $(B-V)$ colour indexes and their temperatures.

Anahtar Kelimeler: binary systems – stellar activity – starspots

1 Giriş

Çoğu çift sistem, yıldız leke aktivitesi sergileyen bileşenlere sahiptir ve bu sistemler, $RS CVn$ veya $BY Dra$ sistemleri olarak bilinmektedir. Bu sistemlerde ilk olarak, YY Gem'in ışık eğrisinde tutulmaların dışında sinüzoidal benzeri bir değişim, kromosferik aktivite bulgusu olarak Kron (1952) tarafından bulunmuştur. Kron (1952) tespit ettiği tutulmalar dışındaki sinüzoidal benzeri değişimi, Kunkel (1975) tarafından 'BY Dra Sendromu' olarak adlandırılan yıldız yüzeyindeki heterojen bir sıcaklık dağılımı olarak açıklamıştır. Dönme modülasyonunun neden olduğu BY Dra Sendromu, Torres & Ferraz Mello (1973), Bopp & Evans (1973), Vogt (1975) ve Friedemann & Guertler (1975)'nin çalışmalarında da doğrulanmıştır.

Tutulma gösteren çiftlerde meydana gelen manyetik aktiviteye odaklanan birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, bazı olgular bulunmuş, ancak açıklanamamıştır. Bunlardan biri 'aktif boylamsal göç'tür. Berdyugina & Usoskin (2003) çalışmalarında, Güneş üzerindeki aktif boylamların her iki yarı kürede de 0.5 evre (180°) ile ayrıldığını, 120 yıllık süre boyunca bu şekilde devam ettiğini gözlemlemişlerdir. Boylamlar zaman içinde düzenli olarak göç eder, ancak kalıcı olarak aktif yapılar değildir (Lopez Arroyo 1961; Stanek 1972; Bogart 1982). Aktif boylamların düzenli aktivite salınımları sırasında gözlemlenen *flip-flop* adındaki bir olgu dikkat çekmektedir (Berdyugina & Tuominen 1998). Bu olgu, yıldız manyetik topolojisi tarafından

sergilenen kuzey-güney asimetrisi durumunda çok önemlidir. Bu boylamların açılma hızlarının belirlenmesi, lekelerin ve leke gruplarının enlemsel dönme hızlarını netleştirebilmektedir.

Çalışmada incelenen 10 çift sistemin hepsi Watson ve diğ. (2006) tarafından 'tutulma gösteren örten çift sistem' olarak sınıflanmıştır. KIC 7671594, incelenen sistemler arasında en düşük etkin sıcaklığa sahip sistemdir. MAST veri tabanında etkin sıcaklığı 3354 K olarak verilmiştir. Gao ve diğ. (2016), sisteme ait 345 flare listelemiş ve literatürde ilk kez sistemin flare aktivitesi sergilediğini belirtmiştir. KIC 7671594 sisteminin ayrıntılı çalışması, Kaya and Dal (basımda) tarafından yapılan çalışmada sunulmaktadır.

- KIC 12599700 sistemi, etkin sıcaklığı düşük olan diğer bir sistemdir ve etkin sıcaklığı 3728 K'dir. Sisteme ait bir tane gezegen olabileceği ihtimali vardır (Thompson ve diğ. 2015).
- KIC 6962018 sisteminin diğer adlandırılması KOI 6799'dur. KOI-6799'un etkin sıcaklığı 4448 K'dir. Bu sistem için literatürdeki iki çalışmada, bir tane gezegen adayı olduğu ifade edilmiştir (Thompson ve diğ. 2015; Morton ve diğ. 2016). KOI-6799 sistemi için, literatürde iki çalışmada da tayf türü K5 III olarak verilmiştir (Gray ve diğ. 2016; Qian ve diğ. 2018).
- KIC 11706658 sisteminin etkin sıcaklığı 4627 K olarak verilmiştir. Bunun dışında sistemin tayf türü K5 olarak belirlenmiştir (Qian ve diğ. 2018).
- KIC 6058875 sisteminin de literatürdeki diğer bir adlandırması KOI-3616'dır. KOI 3616 sisteminin etkin

* nurhanozlemk@gmail.com

Çizelge 1. Seçilen sistemlerin bazı parametreleri. Kullanılan kaynaklar: (1) Kepler veri tabanından alınmıştır; (2) Uzay Teleskopları için Mikulski Arşivi (MAST)'nden alınmıştır; (3) [Armstrong ve diğ. \(2014\)](#); (4) [Pinsonneault ve diğ. \(2012\)](#); (5) [Slawson ve diğ. \(2011\)](#).

KIC	T_0 ⁽¹⁾	P (gün) ⁽¹⁾	$\log(g)$ (cm^{-2}) ⁽²⁾	T_1 (K) ⁽³⁾	T_2 (K) ⁽³⁾	$(B-V)^{(m)}$	[Fe/H] ⁽⁴⁾	i ($^\circ$) ⁽⁵⁾
07671594	54965.39936	1.41035	5.031	4646	4123	1.561	0.52	83.65
12599700	54965.25916	1.01779	4.765	3758	3759	1.432	0.17	73.23
06962018	54965.07384	1.26989	4.566	3698	4539	1.128	0.36	85.44
11706658	54965.26679	1.40794	4.564	4406	4343	1.026	0.16	66.33
06058875	55002.07258	1.12987	4.722	6367	5178	0.959	-0.72	-
07798259	54965.83256	1.73422	4.584	4952	3800	0.947	-0.19	84.29
09210828	54965.40883	1.65641	4.611	5053	5236	0.847	-0.66	79.37
04357272	54964.96468	2.08595	4.337	5378	4607	0.754	-0.631	80.38
06025466	54953.77410	1.12780	4.417	6367	5178	0.564	-0.22	80.64
08669092	54954.28886	1.00083	4.212	6435	4785	0.513	-0.83	88.77

sıcaklığı 4745 K'dir. Literatürde sistem için yapılan 3 farklı çalışmanın sonucunda sistemin bir gezegen adayına sahip olduğu ifade edilmiştir ([Rowe ve diğ. 2015](#); [Thompson ve diğ. 2015](#); [Morton ve diğ. 2016](#)).

- KIC 7798259 sisteminin MAST veri tabanından alınan etkin sıcaklığı 4765 K'dir. Kepler Uydusu'ndan elde edilen fotometrik verilerindeki ışık eğrilerinin değişimini inceleyen [Gao ve diğ. \(2016\)](#), bu sistemin aktif bileşeninin 4 yıllık sürede gösterdiği toplam flare sayısını 81 olarak tespit etmiştir.
- KIC 9210828 sisteminin bir diğer isimlendirmesi de KOI-7147'dir. Sistemin etkin sıcaklığı 5033 K olarak belirlenmiştir. [Gao ve diğ. \(2016\)](#) tarafından yapılan çalışmada sistemdeki aktif bileşenin 4 yıllık süre boyunca gösterdiği toplam flare sayısı 87'dir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, sistemin tayfi alınıp analiz edilmiş ve tayf türü G9 olarak bulunmuştur ([Qian ve diğ. 2018](#)).
- KIC 4357272 sisteminin etkin sıcaklığı 5278 K olarak verilmektedir. Sistemin flare aktivitesi gösterdiğinden ilk kez [Shibayama ve diğ. \(2013\)](#) tarafından söz edilmiştir ve 4 adet flare listelenmiştir. Aynı şekilde [Gao ve diğ. \(2016\)](#) tarafından yapılan çalışmada 4 yıllık gözlem süresi boyunca toplam 58 flare listelenmiştir.
- KIC 0602566 sistemi, diğer sistemlere göre etkin sıcaklığı en yüksek olan sistemlerden ikincisidir. Çalışmada kullanılan etkin sıcaklık değeri 6022 K'dir. Bu sistem üzerinde pek fazla bireysel çalışma yoktur.
- KIC 8669092 sistemi, KOI-68AB olarak adlandırılmaktadır. İncelenen sistemler içindeki en yüksek etkin sıcaklığa sahip sistemdir ve etkin sıcaklığı 6284 K'dir. Sistemin ışık eğrisindeki değişimleri birçok çalışmada incelenmiştir. [Balona \(2015\)](#), [Gao ve diğ. \(2016\)](#) ve [Kaya & Dal \(2019\)](#) çalışmalarında, KOI 68AB'nin kromosferik olarak aktif bir bileşene sahip olan bir çift sistem olduğunu belirtmişlerdir. [Kaya & Dal \(2019\)](#) çalışmasında, sistemde 313 adet flare listelemiş olup aktif bileşen üzerinde iki leke olduğunu ve bu iki lekenin hem boylamsal hem de enlemsel olarak hareketini yorumlamışlardır. Ayrıca, sistemin ışık eğrisi analizi [Kaya & Dal \(2019\)](#)'ın çalışmasında yapılmış olup bu çalışma içerisinde bahsedilmemiştir.

Ek olarak, incelenen sistemlere ait temel parametreler Çizelge 1'de verilmiş olup yedinci sütunda yer alan $(B-V)$ değerleri, [Armstrong ve diğ. \(2014\)](#) tarafından belirlenen T_1 ve T_2 sıcaklıkları temel alınarak, [Tokunaga \(2000\)](#) tarafından sunulan kalibrasyonlar kullanılarak hesaplanmıştır.

2 Veri ve Analizler

Kepler Programı, 2009 yılında gökadamızı keşfetmek ve diğer Güneş benzeri yıldızların yörüngelerinde barınan ötegezegen arayışında bulunmak için geliştirilmiştir ([Koch ve diğ. 2010](#); [Caldwell ve diğ. 2010](#)). Bu program doğrultusunda, Kepler Uydusu tarafından uzun kadansta her 29.4 dakikada ve kısa kadansta da yaklaşık 1 dakikada bir 150.000'e yakın yıldızın parlaklıkları fotometrik olarak ölçülmüştür ([Koch ve diğ. 2010](#); [Caldwell ve diğ. 2010](#)). Bu gözlemlerin bir diğer önemi ise, bugüne kadar ki en yüksek duyarlılığa sahip fotometrik gözlemler olmalarıdır ([Jenkins ve diğ. 2010a,b](#)). Dolayısıyla, bu gözlemler yalnızca ötegezegen arayışında olan bilim insanları için değil, değişen yıldız ve aktivite inceleyen bilim insanları için de ayrı bir önem kazanmıştır ([Slawson ve diğ. 2011](#); [Matijević ve diğ. 2012](#)). Bu çalışmada, Kepler veri tabanında bulunan 10 hedefin kısa kadans (58.89 saniye) ve uzun kadans (29.4 dakika) Kepler fotometrisi kullanılmıştır. Her sistemin uzun kadans verilerinden oluşturulan ışık eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Kullanılan gözlem verileri, aşağıdaki bölümlerde açıklandığı gibi farklı analizler için farklı formatlarda düzenlenmiştir.

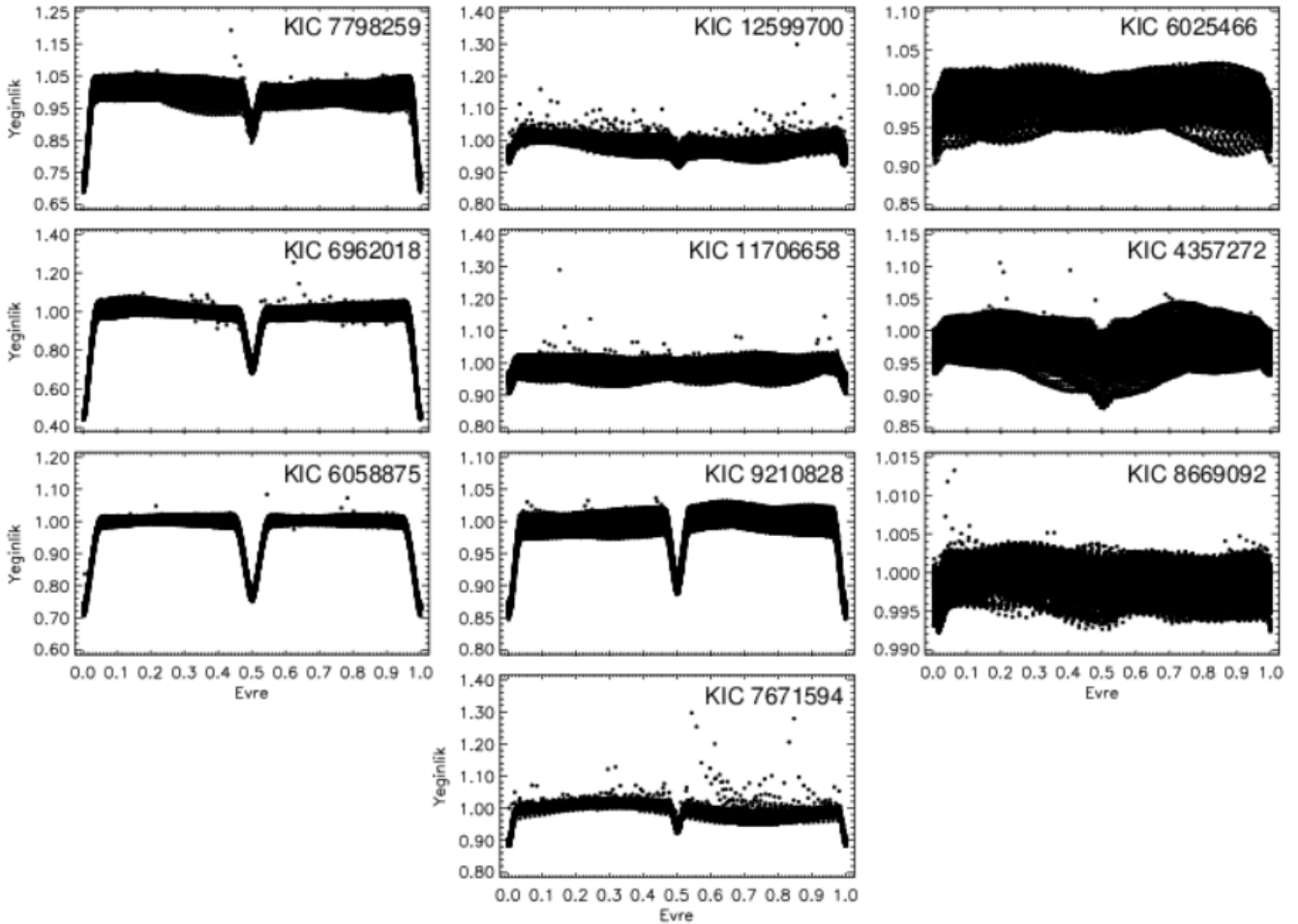
2.1 Işık Eğrisi Analizi

İncelenen sistemlerin ışık eğrisi analizleri için, her bir sistemin ışık eğrisinde dönme modülasyonunun etkisinin en az olduğu ardışık çevrimler seçilerek ilenmiştir. Işık eğrisi analizleri, PHOEBE V.0.32 programı ([Prša & Zwitter 2005](#)) ile yapılmıştır. Temelde bu programda kullanılan yöntem, *Wilson-Devinney* kodunun 2014 versiyonunda kullanılan yöntemeye dayanmaktadır ([Wilson & Devinney 2015](#)). Sistemlerin ışık eğrilerinin genel biçimi göz önüne alınarak, her sistem için olası çözüme Mod2 (Ayrık çiftler)'de ulaşılabilmektedir.

Işık eğrisi analizlerinde, baş bileşen için sıcaklık değerlerinin belirlenmesi sürecinde, literatürde birbirinden çok farklı değerler olduğu görülmüştür. Bu nedenle, her bir sistem için, baş bileşen sıcaklığı olarak sistemin MAST veri tabanında verilen sıcaklık değeri kullanılmıştır. MAST veri tabanından alınan sıcaklık değeri, analiz sırasında sabit değer olarak kullanılırken; yoldaş bileşenin sıcaklığı serbest parametre olarak bırakılmıştır. Bileşenlerin albedosu (A_1 ve A_2) ile çekimsel kenar kararma katsayıları (g_1 ve g_2), bileşenlerin olası tayf türleri göz önünde bulundurulacak konvektif yıldızlara uygun olacak şekilde [Lucy \(1967\)](#) ve [Ruciński \(1969\)](#)'dan alınmıştır. Bileşenlerin kenar kararma katsayıları (x_1 ve x_2) ise [van Hamme \(1993\)](#)'den alınmıştır. Bileşenlerin potansiyel değerleri (Ω_1 ve Ω_2), baş

Çizelge 2. İncelenen sistemlerin dördü için ışık eğrisi analizi ile elde edilen parametreler. Sabitlenmiş değerler "•" ile belirtilmiştir.

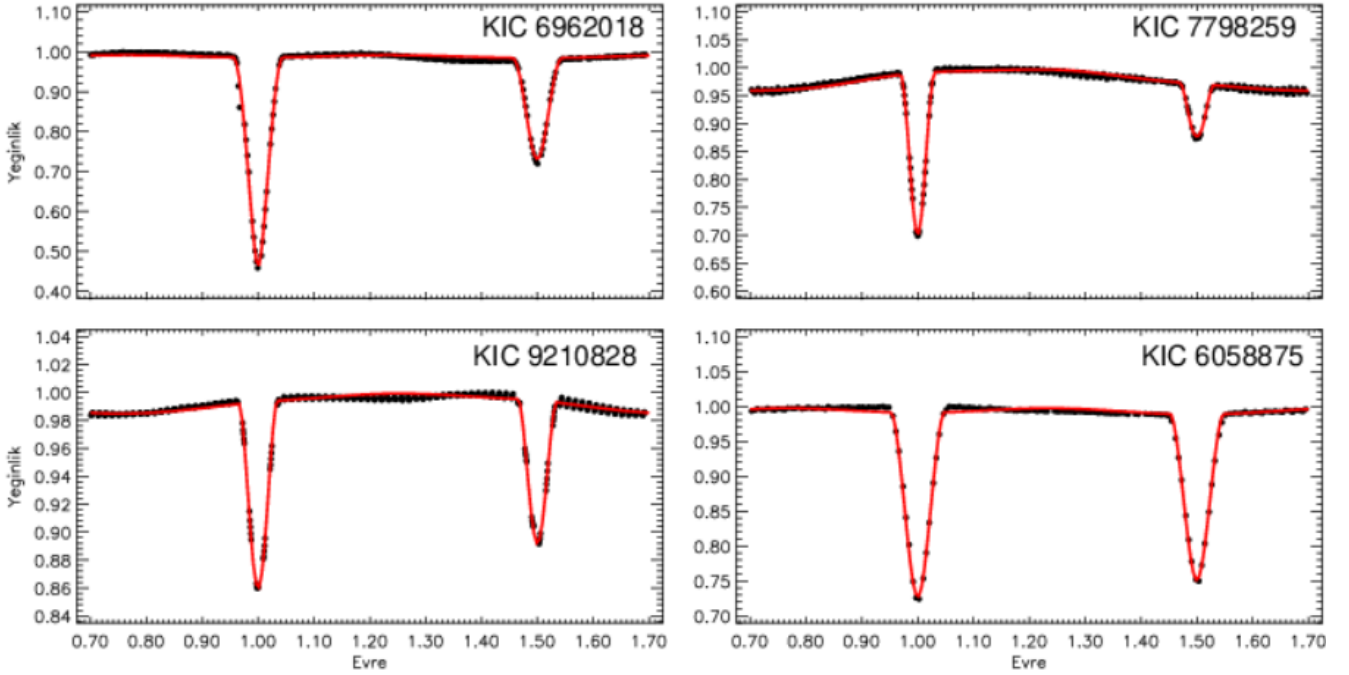
Parametre	KIC 06962018	KIC 06058875	KIC 07798259	KIC 09210828
q	0.8878 ± 0.0307	0.9650 ± 0.0041	0.7889 ± 0.0088	0.8965 ± 0.0066
i ($^\circ$)	87.75 ± 0.19	82.55 ± 0.08	86.27 ± 0.09	80.28 ± 0.05
T_1 (K)	3698 •	6367 •	4952 •	5053 •
T_2 (K)	3421 ± 60	6190 ± 120	4234 ± 80	4795 ± 50
Ω_1	7.5036 ± 0.0730	6.9192 ± 0.0467	8.6356 ± 0.0403	7.8340 ± 0.0345
Ω_2	8.3470 ± 0.2528	7.4986 ± 0.0725	12.2243 ± 0.1322	8.3118 ± 0.0538
L_1/L_T	0.7430 ± 0.0154	0.5705 ± 0.0187	0.9077 ± 0.0046	0.6483 ± 0.0093
g_1, g_2	0.32, 0.32 •	0.32, 0.32 •	0.32, 0.32 •	0.32, 0.32 •
A_1, A_2	0.50, 0.50 •	0.60, 0.60 •	0.50, 0.50 •	0.50, 0.50 •
x_{1bol}, x_{2bol}	0.626, 0.626 •	0.644, 0.644 •	0.618, 0.618 •	0.614, 0.614 •
x_1, x_2	0.807, 0.807 •	0.720, 0.719 •	0.759, 0.759 •	0.753, 0.753 •
$\langle r_1 \rangle$	0.1513 ± 0.0018	0.1668 ± 0.0013	0.1281 ± 0.0006	0.1450 ± 0.0007
$\langle r_2 \rangle$	0.1224 ± 0.0041	0.1535 ± 0.0018	0.0695 ± 0.0008	0.1241 ± 0.0009



Şekil 1. İncelenen sistemlerin Kepler veri tabanından alınan uzun kadans verisi üzerinden evreye göre çizdirilmiş ışık eğrileri.

bileşenlerin ışıtmaları (L_1), sistemlerin kütle oranları (q) ve sistemlerin yörünge eğim açıları (i), serbest parametre olarak alınmıştır. Analizler sonucunda sadece 4 çift sistem için elde edilen parametreler, Çizelge 2'de listelenmişken; elde edilen kuramsal ışık eğrileri gözlemlerle birlikte Şekil 2'de dört sistem için gösterilmiştir.

Tutulma dışındaki sinüzoidal değişimleri ortaya çıkarmak için, 4 hedef sistemin ışık eğrisi analizi yapılmıştır. Kalan 6 sistemden biri olan KIC 08669092 için ışık eğrisi analizi, Kaya & Dal (2019) tarafından yapılmıştır. Bu sistemin tutulma dışındaki değişimlerini elde etmek için ışık eğrisi analizinden elde ettikleri kuramsal eğri kullanılmıştır. KIC



Şekil 2. KIC 6962018, KIC 7798259, KIC 9210828 ve KIC 6058875 sistemlerinin soğuk yıldız lekelerinin etkisinin en az olduğu çevrimler (siyah dolu noktalar) ve ışık eğrisi analizi sonucunda elde edilen kuramsal ışık eğrisi (kırmızı düz çizgi) verilmektedir.

7671594 sistemi içinde aynı şekilde, Kaya and Dal (basımda) çalışmasında ışık eğrisi analizi yapılmış ve oradaki kuramsal eğri analizlerde kullanılmıştır. Ancak diğer 4 sistemin (KIC 6025466, KIC 4357272, KIC 11706658, KIC 12599700) ışık eğrileri incelendiğinde, diğer sistemlerin aksine özellikle yan minimum genlikleri oldukça sığdır. Minimumların çok küçük genlikli olmalarından dolayı, PHOEBE V.0.32 programı, ışık eğrisini temsil etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, dört sistemin baş ve yan minimumları gözlem verisinde dikkatlice çıkarılarak, yıldız lekesi kaynaklı tutulma dışı sinüzoidal değişimler elde edilmiştir.

2.2 Dönme Modülasyonu ve Yıldız Leke Aktivitesi

Dönme modülasyonunun etkisini ortaya çıkarabilmek için, önce ışık değişiminde yıldız akısının ani ve hızlı artışı olarak görülen flare aktivitesi kaynaklı etkiler veriden arındırılmıştır. İncelenen sistemler, tutulma gösteren çift sistemlerdir ve buna bağlı olarak tutulma kaynaklı minimumlar sergilemektedirler. Sistemlerdeki tutulmalar dışı değişimin belirlenebilmesi için, 6 sistem için ışık eğrisi analizlerinden elde edilen kuramsal eğriler kullanılarak gözlemlerin artıkları elde edilmiştir. Öte yandan, sığ minimumlara sahip diğer dört sistem durumunda, 0,45-0,55 ve 0,95-0,05 evreleri arasında kalan baş ve yan minimuma denk gelen kısımlar, gözlem verisinden çıkarılmıştır. Ardından da artıkların sistematik bir değişim gösterip göstermediğine bakılmıştır.

Artıklardan oluşturulan ışık eğrileri incelendiğinde, her sistemin ışık değişiminde sinüs benzeri değişimler görülmektedir. Sistemlerdeki bileşenlerin gerek tayf türleri gerekse de zaman zaman sergiledikleri flare aktivitesi gibi belirteçler göz önüne alındığında, sinüs benzeri bu değişimlerin kromosferik aktivite kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Aktif

bileşenler üzerindeki soğuk leke yapıları, yıldızın dönmesi nedeniyle sistemlerin ışık değişiminde dönme modülasyonu etkisi olarak kendisini göstermektedir.

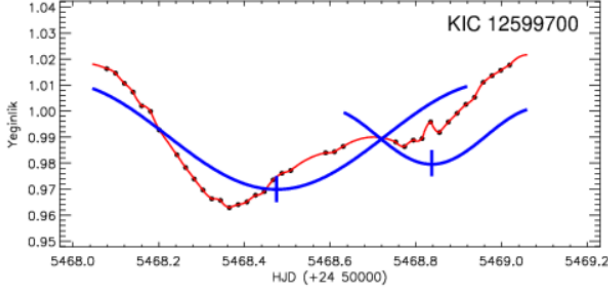
Kromosferik aktiviteye bağlı dönme modülasyonunun etkisinin varlığı göz önünde bulundurularak, tutulma dışındaki sinüs benzeri ışık değişimleri Fourier dönüşümü kullanılarak modellenmiştir. Hall (1990), $\cos(\theta)$ teriminin bir yıldızın yüzeyindeki lekeli alan için bir gösterge olabileceğini öne sürmektedir. Ayrıca, bir yıldızın yüzeyinde yalnızca bir lekeli alan varsa, $\cos(\theta)$ teriminin daha baskın olması beklenmektedir. Bununla birlikte Hall (1990), aktif bileşenin yüzeyinde birbirinden 180° ile ayrılmış iki lekeli alanın $\cos(2\theta)$ teriminin baskınlığını arttırabileceğini öne sürmektedir (Dal ve diğ. 2012). Artık verilerde görülen değişimlerin, Fourier yöntemi ile yapılan modellemelerinde, aşağıdaki eşitlik ile tanımlanan ifade kullanılmıştır (Morris 1985):

$$L(\theta) = A_0 + \sum_{j=1}^N A_j \cos(j\theta) + \sum_{j=1}^N B_j \sin(j\theta) \quad (1)$$

Eşitlikteki A_0 , fonksiyonun ortalama değeri olup sabit bir değerdir. A_j katsayısı $\cos(j\theta)$ 'nin, B_j katsayısı ise $\sin(j\theta)$ 'nin katsayılarıdır.

2.3 Boylamsal Leke Göçü Tespiti

Analizin bu aşamasında ilk olarak, Bölüm 2.2'de açıklandığı gibi gözlemlerden ışık eğrisi analizinden elde edilen kuramsal eğriler çıkarılmış ve artıklar elde edilmiştir. Hem flare aktivitesinin varlığı hem de bileşenlerin sıcaklıkları göz önüne alındığında, sinüzoidal değişim, yıldızların soğuk lekelerinin neden olduğu bir dönme modülasyonunun etkisi olduğu görülmektedir. İkinci olarak, Fourier yöntemini kullanarak, en iyi modeli elde etmek için artık veriler modellenmeye çalışılmıştır. Fourier ile



Şekil 3. Fourier dönüşümü ile temsil edilen KIC 12599700'e ait bir çevrim ve çevrime ait minimum zamanlarını göstermektedir. Siyah dolu noktalar, orijinal gözlem verisi, kırmızı düz çizgi ise noktalar arası boşluğun doldurulması için elde edilen kuramsal veridir. Mavi eğimli çizgiler lekeler için Fourier temsilleri, mavi dik çizgiler ise o lekeler için çevrimlerin minimum zamanlarını ifade etmektedir.

modelleme aşamasında, analizlerde her bir sisteme ait tüm çevrimlerin tek adımda dönüşümü gerçekleştirilmemiş, sistemin her bir çevriminin ayrı ayrı analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun nedeni, her bir çevrimde görülen sinüzoidal değişim, bir ya da iki lekenin etkisiyle ortaya çıkan bileşke bir değişim olarak kendisini göstermektedir. Bu bileşke değişimleri, kendi içerisinde çevrim çevrim analiz ettiğimizde, aktif bileşen üzerindeki soğuk yıldız lekelerinin boylam üzerinde ayrı ayrı buldukları konumlarını elde edebilmek istenmektedir. Çevrimde modellenen verilerin minimum seviyelerindeki zaman değerleri, temel matematik denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, modellerden sinüzoidal değişimin minimum akı seviyeleri ve zamanları elde edilmiştir. Bu aşamanın bir örneği olarak, KIC 12599700 sistemine ait bir çevrimin Fourier dönüşümü ile temsil edilmesi ve o çevrime ait minimum zamanları Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada gözlem verisini tam olarak temsil edilmesini beklenmemektedir. Çünkü, iki ayrı lekenin bir çevrimdeki bileşke değişiminden arındırılıp tek bir leke olması durumunda yapacağı sinüzoidal değişimin minimum noktasının hesaplanması, boylamsal olarak iki veya daha fazla lekenin göç hareketini kesintisiz inceleyebilmek için gereklidir.

Birisi, sinüzoidal değişimlerin minimum zamanlarının evrelerini incelediğinde, minimum zamanlarının daha önce Berdyugina & Usoskin (2003) tarafından ifade edildiği gibi genel olarak azalan bir eğilimde 1.0 evresinden 0.0'a göç ettiğini görebilecektir. Kepler verisindeki dört yıllık gözlem boyunca, sinüzoidal değişimin minimum evreleri, Şekil 4'ün üst panelinde görülebileceği gibi, 1.0 evresinden 0.0 evresine birkaç kez göç edebilmektedir. 1.0'dan 0.0'a ilk göçü sıfır olarak ve ikinci göçü için 1 vb. olacak şekilde ilerlemektedir. Böylece, bu dört yıllık gözlemler sırasında göçün genel eğilimleri elde edilmiştir. Lineer dağılımlar ve elde edilen modeller için örnek, Şekil 4'ün ikinci üst panelinde gösterilmektedir. Şekilde aktif bileşen üzerindeki lekelerin elde edilen boylamsal göç hareketleri, en küçük kareler yöntemi kullanılarak doğru ile temsil edilmiştir. Elde edilen doğru denklemleri kullanılarak her bir çift sistemin aktif bileşenleri üzerindeki lekelerin boylamsal göç dönemleri hesaplanmış ve Çizelge 3'te listelenmiştir.

Literatürde, aktif yıldızların soğuk leke göç hareketini elde etmek için benzer bir yol izleyen birkaç çalışma vardır (Mekkaden & Raveendran 1998; Taş ve diğ. 2001; Rosario ve diğ. 2009; Balaji ve diğ. 2015; Dal & Özdarcan 2018).

Çizelge 3. Sistemlerin aktif bileşenleri üzerindeki soğuk yıldız lekelerinin boylamsal göç dönemleri.

KIC	$P_{\text{mig-1}}$ (gün)	$P_{\text{mig-2}}$ (gün)	$P_{\text{mig-3}}$ (gün)
07671594	-	-	-
12599700	2500.000±0.004	1428.571±0.082	1369.863±0.027
06962018	-	588.235±0.022	-
11706658	909.091±0.036	714.286±0.111	-
06058875	263.158±0.101	303.030±0.329	-
07798259	714.286±0.151	322.581±0.846	-
09210828	192.308±0.135	416.667±0.078	-
04357272	156.250±0.070	161.290±0.064	-
06025466	101.010±0.057	80.645±0.086	-
08669092	476.190±0.062	454.545±0.555	-

2.4 Leke Göçünde Görülen İkinci Derece Değişimler

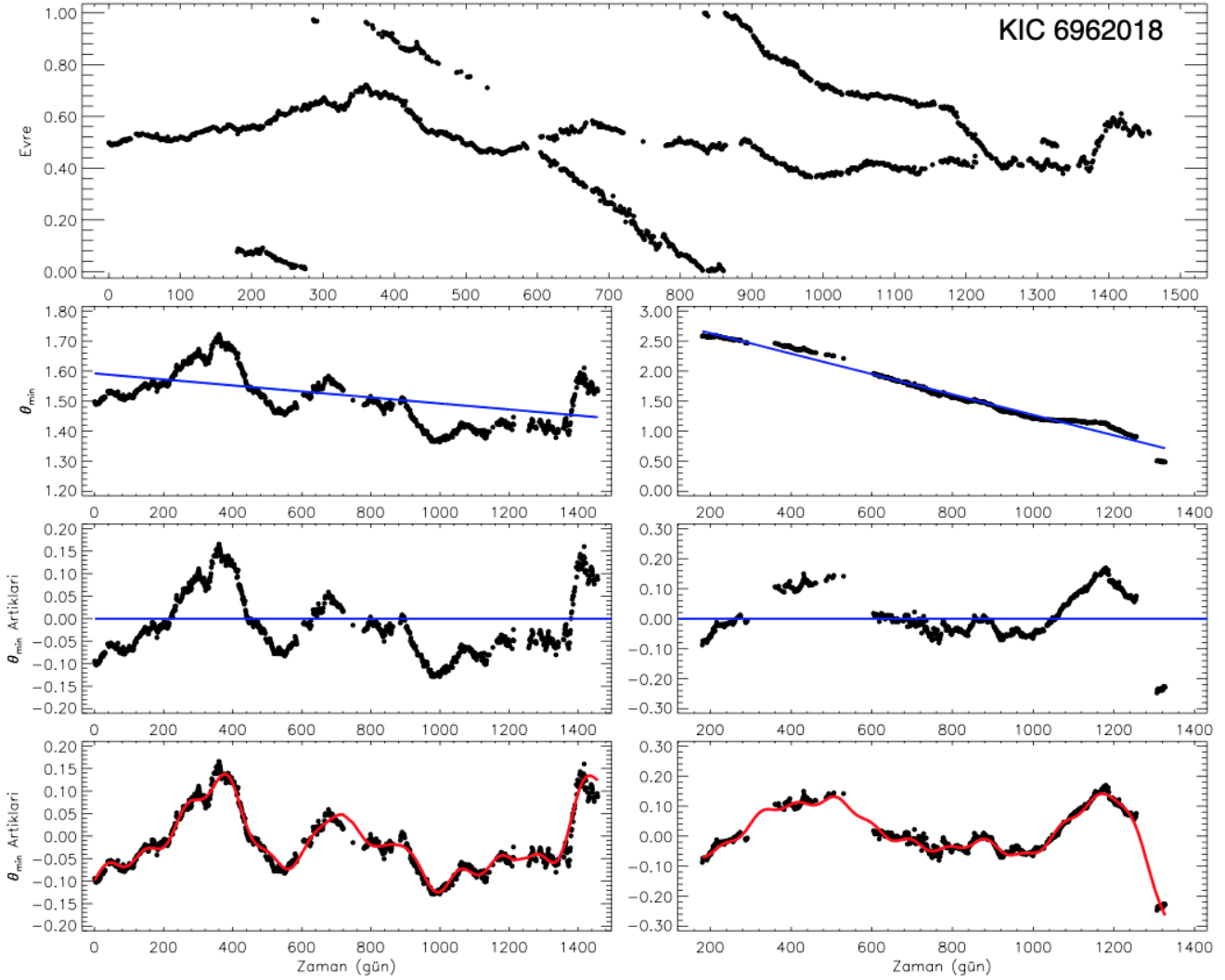
θ_{min} artıkları, boylamsal göçün işareti olan θ_{min} değişimlerinden doğrusal temsillerin çıkarılmasıyla elde edilmiştir. θ_{min} artıklarının zamana göre değişimine bakıldığında, artıklarda sistematik değişimlerin olduğu görülmektedir. Şekil 4'ün üçüncü panelinde görüldüğü gibi, θ_{min} artıklarındaki düzenli sinüzoidal değişimler dikkat çekicidir. Bu değişimler, Berdyugina & Usoskin (2003) tarafından da ifade edildiği gibi θ_{min} değerlerinin stabil azalan ya da artan lineer olması beklenen değişimde, zamanla kaymalar olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, lekelerin boylamsal göç hareketinde enlemsel değişimin de etkin olabileceğini göstermektedir.

θ_{min} artıklarında gözlenen değişimlerin nedeninin anlaşılması için öncelikle bu ikinci derece değişimlerin doğasının belirlenmesi gerekmektedir. Öncelikle bu değişimlerin düzenli ya da dönemsel olup olmadığının tespit edilebilmesi için, frekans analizi yapılmıştır. Frekans analizi, Fourier tabanlı bir program olan *Period04* (Lenz & Breger 2005) kullanılarak yapılmıştır. θ_{min} artıklarının frekans analizinde, ortalama 7 adet dönem hesaplanmıştır. Elde edilen frekans ve dönem değerleri Çizelge 4 ve 5'te listelenmiştir. Bu frekanslar kullanılarak θ_{min} artıkları için türetilen modellerin bir örneği Şekil 4'ün alt panelinde gösterilmektedir.

3 Sonuçlar ve Tartışma

Çalışma sonucunda, incelenen 10 çift sistemin aktif bileşenleri üzerindeki yıldız lekelerinin boylamsal göçleri incelenmiş ve örnek olarak KIC 6962018 için Şekil 4'te ayrıntılı olarak yapılan analizlerle elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Lekelerin, gözlem süresi boyunca süren bu hareketini daha iyi belirleyebilmek için, θ_{min} değişimleri oluşturulmuş ve şekillerin orta panellerinde her bir leke için θ_{min} değişimi verilmiş olup doğru ile temsil edilmiştir ve her lekenin göç dönemleri (P_{mig}) hesaplanmıştır. Lekelerin göç dönemleri Çizelge 3'te verilmektedir. Çizelge 3'teki göç dönemlerine bakıldığında, bazı sistemlerde yer alan lekelerin P_{mig} değerlerinin birbirine yakın olduğu; bazılarının ise 2 kat farka sahip olduğu görülmektedir. İncelenen sistemlerdeki aktif bileşenlerin sahip oldukları lekelerin boylamsal göç hareketleri ve elde edilen dönemleri karşılaştırıldığında, sistemler 3 farklı grup halinde yorumlanmaktadır.

Bölüm 2.3 ve 2.4'te açıklandığı gibi, göç dönemlerini Çizelge 3'te verildiği gibi belirledik. KIC 4357272 sisteminin lekelerinin boylamsal göç dönemlerinin 156.250 gün (0.428 yıl) ve 161.290 gün (0.442 yıl); KIC 6025466 sistemindeki lekelerin 101.010 gün (0.277 yıl) ve 80.645 gün (0.221 yıl);



Şekil 4. KIC 6962018 sistemindeki aktif bileşen üzerindeki lekenin boylamsal göç hareketi, θ_{\min} değişimi ve θ_{\min} artıkları. Ayrıca, KIC 6962018'in aktif bileşenlerine ait θ_{\min} artıklarının frekans analizi ile elde edilen temsilleri alt panelde verilmektedir. İlk iki panelde verilen siyahla doldurulmuş daireler lekelerin tespit edilen boylamsal evre değerlerini verirken; mavi düz çizgi ile belirtilen ise en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen doğru temsillerini göstermektedir. Son iki panelde ise; siyahla doldurulmuş daireler θ_{\min} artıklarını, kırmızı düz çizgiler ise frekans analizi sonucunda elde edilen kuramsal temsillerini göstermektedir.

KIC 6058875 sistemindeki lekelerin 263.158 gün (0.720 yıl) ve 303.581 gün (0.883 yıl); KIC 8669092 sistemindeki lekelerin 476.190 gün (1.304 yıl) ve 454.545 gün (1.244 yıl); KIC 11706658 sistemindeki lekelerin ise 909.091 gün (2.489 yıl) ve 714.286 gün (1.956 yıl) olduğu görülmektedir. Bu 5 sistemin bir grup olarak incelenmesinin nedeni, sistemlerin aktif bileşenleri üzerinde yer alan lekelerin boylamsal göç dönemlerinin birbirine yakın değerde olmasıdır. Tespit edilen lekelerin göç dönemlerinin birbirine bu kadar yakın çıkması, sistemlerde yer alan leke gruplarının her ikisinin de sistemlerdeki tek bir bileşen üzerinde olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 3'te de görüldüğü üzere, KIC 7798259 sisteminin lekelerinin boylamsal göç dönemleri 714.286 gün (1.956 yıl) ve 322.581 gün (0.883 yıl); KIC 9210828 sistemindeki lekelerin 192.308 gün (0.527 yıl) ve 416.667 gün (1.141 yıl) olarak hesaplanmıştır. Bu 2 sistemi, diğerlerinden ayıran durum ise, sistemlerde yer alan lekelerin göç dönemlerinin birbiri ile uyumlu

olmadığı ve 2 kat farkın görüldüğüdür. Örneğin; KIC 7798259 sisteminde yer alan birinci lekenin θ_{\min} değeri 3.0'a çıkarken, ikinci lekenin 6.0'a kadar çıkmaktadır. Bu, birinci lekenin yıldız etrafında yaklaşık 3 turu tamamlarken, ikinci lekenin yaklaşık 6 turu tamamladığı anlamına gelmektedir. Bu iki lekeli alan aynı bileşen üzerinde olamaz, çünkü yıldızların dönme dönemi farklı enlemlerde 2 katlık bir fark yaratamaz. KIC 7798259 ve KIC 9210828 durumunda her iki sistemde de baş ve yoldaş bileşenlerin sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu sistemlerin her iki bileşeninde de leke aktivitesi olabilir.

KIC 6962018 ve KIC 12599700 diğerlerinden biraz farklıdır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, KIC 6962018 durumunda iki lekeli alan tespit ettik. KIC 6962018'e ait lekelerin boylamsal göç hareketine bakıldığında, birinci leke yaklaşık 0.50 evrede boylamsal olarak konumlanmış durumdadır. İkinci leke ise diğer sistemlerde görüldüğü gibi 1.0 evresinden 0.0 evresine lineer bir

Çizelge 4. θ_{\min} artıklarının frekans analizi sonucunda elde edilen frekans, dönem ve SNR değerleri.

Çift Sistem (KIC)	No.	Birinci Aktif Bölge			No.	İkinci Aktif Bölge		
		Frekans (d^{-1})	Dönem (d)	SNR		Frekans (d^{-1})	Dönem (d)	SNR
7671594	F1	0.00062 ± 0.00000	1618.823	35.578	-	-	-	
	F2	0.00271 ± 0.00001	368.846	11.381	-	-	-	
	F3	0.00347 ± 0.00002	288.503	5.872	-	-	-	
12599700	F1	0.00181 ± 0.00002	552.511	16.634	F1	0.00259 ± 0.00000	386.189	27.231
	F2	0.00654 ± 0.00002	152.822	11.594	F2	0.00189 ± 0.00000	530.449	18.315
	F3	0.00877 ± 0.00004	114.010	6.211	F3	0.00479 ± 0.00001	208.713	9.292
	F4	0.00107 ± 0.00004	936.866	7.042	F4	0.00577 ± 0.00001	173.263	9.633
	F5	0.01564 ± 0.00005	63.940	5.653	F5	0.00793 ± 0.00001	126.028	6.659
	F6	0.01035 ± 0.00005	96.627	5.084	-	-	-	
6962018	F1	0.00089 ± 0.00000	1120.472	27.082	F1	0.00148 ± 0.00001	674.843	15.137
	F2	0.00175 ± 0.00001	571.221	21.002	F2	0.00275 ± 0.00001	364.201	15.634
	F3	0.00261 ± 0.00001	383.319	18.634	F3	0.00410 ± 0.00001	244.092	13.258
	F4	0.00374 ± 0.00001	267.269	10.961	F4	0.00519 ± 0.00001	192.812	9.783
	F5	0.00783 ± 0.00003	127.773	4.368	F5	0.00793 ± 0.00002	126.070	8.096
	F6	0.00584 ± 0.00002	171.366	5.307	F6	0.00684 ± 0.00003	146.144	5.221
	F7	0.00879 ± 0.00003	113.798	4.239	F7	0.00893 ± 0.00002	111.925	5.578
	-	-	-	-	F8	0.01024 ± 0.00003	97.637	4.165
11706658	F1	0.00094 ± 0.00000	1065.148	32.533	F1	0.00084 ± 0.00000	1197.112	32.973
	F2	0.00210 ± 0.00000	476.216	17.908	F2	0.00188 ± 0.00000	532.050	15.376
	F3	0.00376 ± 0.00001	266.226	6.727	F3	0.00292 ± 0.00001	342.032	7.598
	F4	0.00496 ± 0.00001	201.752	5.113	F4	0.00452 ± 0.00001	221.005	4.578
	F5	0.00539 ± 0.00001	185.366	4.761	-	-	-	
6058875	F1	0.00093 ± 0.00000	1075.889	31.051	F1	0.00745 ± 0.00001	134.231	10.231
	F2	0.00234 ± 0.00001	426.646	12.596	F2	0.01076 ± 0.00002	92.936	5.887
	F3	0.00348 ± 0.00001	287.738	8.221	F3	0.01352 ± 0.00002	73.946	7.599
	F4	0.00158 ± 0.00001	634.499	5.991	F4	0.00447 ± 0.00002	223.750	5.982
7798259	F1	0.00166 ± 0.00000	602.079	26.423	F1	0.00156 ± 0.00000	642.612	20.895
	F2	0.00218 ± 0.00001	458.727	23.758	F2	0.00078 ± 0.00001	1285.224	9.155
	F3	0.00429 ± 0.00002	233.063	7.394	F3	0.00813 ± 0.00001	122.934	7.848
	F4	0.00100 ± 0.00001	996.544	11.079	F4	0.00322 ± 0.00001	310.713	7.192
	F5	0.00713 ± 0.00002	140.290	6.367	-	-	-	
	F6	0.00903 ± 0.00003	110.727	4.585	-	-	-	
	F7	0.00284 ± 0.00002	352.436	5.579	-	-	-	
	F8	0.00481 ± 0.00002	207.912	5.007	-	-	-	
9210828	F1	0.00635 ± 0.00001	157.427	11.045	F1	0.00204 ± 0.00001	491.281	21.324
	F2	0.00064 ± 0.00002	1565.525	7.673	F2	0.00272 ± 0.00001	368.312	18.516
	F3	0.00930 ± 0.00002	107.555	8.332	F3	0.00442 ± 0.00002	226.253	10.810
	-	-	-	-	F4	0.00790 ± 0.00003	126.588	6.355
4357272	F1	0.00072 ± 0.00000	1387.578	20.502	F1	0.00089 ± 0.00001	1118.274	15.736
	F2	0.00270 ± 0.00001	369.781	6.485	F2	0.00204 ± 0.00001	490.749	7.498
	F3	0.00685 ± 0.00001	145.929	5.169	F3	0.00355 ± 0.00002	281.586	4.083
6025466	F1	0.00334 ± 0.00002	299.201	9.316	F1	0.00783 ± 0.00001	127.715	9.725
	F2	0.01682 ± 0.00002	59.469	10.864	F2	0.02536 ± 0.00001	39.425	7.622
	F3	0.00735 ± 0.00002	136.129	9.710	F3	0.01516 ± 0.00002	65.962	5.628
	F4	0.00519 ± 0.00003	192.774	8.222	F4	0.00608 ± 0.00001	164.408	8.584
	F5	0.01904 ± 0.00002	52.511	12.047	F5	0.01103 ± 0.00003	90.647	4.200
	F6	0.02141 ± 0.00003	46.705	7.422	-	-	-	
	F7	0.01079 ± 0.00003	92.656	7.744	-	-	-	
	F8	0.02740 ± 0.00004	36.497	5.496	-	-	-	
8669092	F1	0.00522 ± 0.00004	191.655	8.520	F1	0.00066 ± 0.00005	1517.752	7.058
	F2	0.00570 ± 0.00005	175.528	5.889	F2	0.00443 ± 0.00005	225.867	7.342

Çizelge 5. KIC 12599700 sistemine ait üçüncü aktif bölgenin θ_{\min} artıklarının frekans analizi sonucunda elde edilen frekans, dönem ve SNR değerleri.

Çift Sistem (KIC)	No.	Üçüncü Aktif Bölge		SNR
		Frekans (d^{-1})	Dönem (d)	
12599700	F1	0.00935 ± 0.00015	106.980	7.806
	F2	0.00449 ± 0.00019	222.876	6.028

azalma göstermektedir. Bu durumda birinci lekenin diferansiyel dönmeden daha az etkilenecek, aktif bileşenin üst enlemlerinde yer alabileceği düşüncesini ortaya koymaktadır. İkinci lekenin ise, diferansiyel dönmeden etkilenebilecek bir enlem üzerinde yer alarak, daha alt enlemlerde konumlanmış olması ve bu nedenle lineer bir azalma gösterdiği öngörülmektedir. KIC 12599700'de ise diğer sistemlerde gözlenmeyen bir durum söz konusudur. Şeklin üst panelinde görüldüğü üzere, net bir şekilde aralarında 0.40 evrelilik bir fark bulunan iki leke gözlenmektedir. Bu sistem için elde ettiğimiz sonuçlarda çevrim başlangıcında 0.40 evre aralığında iki lekeli alan görülmektedir. İlk lekeli alan 1.00 ile 0.60 arasındaki evreler arasında yer alırken, ikincisi 0.60 ile 0.40 arasındaki evreler arasında yer alır. Öte yandan, sonuçlar dikkatli bir şekilde incelenirse, ikinci lekeli alanın bileşen üzerinde tek bir alan olmadığı, çevrimin sonuna doğru ayrılan iki farklı lekeli alan olması gerektiği anlaşılır. Çevrimin 500. gününden sonra ikinci lekeli alan yaklaşık 0.30 evre aralığında iki farklı boylamasına göç sergilemeye başlar. Bunun gibi ani bir geçiş, lekeli alanın evre kayması veya farklı bir aktif boylamda yeni bir lekeli alanın oluşumu anlamına gelir. Bu noktada yıldız yüzeyinde 3 farklı aktif boylam görülmektedir. Çizelge 3'te verilen göç dönemlerine göre ilk lekeli bölgenin göç dönemi diğerlerine göre daha uzundur. İkinci ve üçüncülerin göç dönemleri birbirine daha yakındır. Olası bir senaryoya göre birinci lekeli alanın bir aktif bileşen üzerinde, ikinci ve üçüncü lekeli alanların ise diğer aktif bileşen üzerinde yer aldığı şeklinde yorumlanabilmektedir.

Diğer sistemlerden farklı olarak, üç gruba da dahil olmayan tek sistem KIC 7671594'dir. Bunun nedeni, sistemdeki aktif bileşen üzerinde tespit edilen leke ya da leke gruplarının yaklaşık 0.80 evreye karşılık gelen boylam komşuluğunda konumlanmış olmasıdır. Diğer sistemlerde olduğu gibi lineer bir göç hareketi burada söz konusu değildir. Bu sistemde tespit edilen tek lekeye ait boylamsal göç hareketi, Şekil 4'te verilen KIC 6962018'nin birinci lekesine benzer bir davranış sergilemektedir. KIC 6962018 sistemindeki tek fark, ikinci lekenin olması ve onun lineer bir şekilde azalma göstermesidir. Fakat KIC 7671594'te ikinci bir leke söz konusu olmamakla beraber, lineer bir azalma gösterip boylamsal göç döneminin hesaplanabileceği herhangi bir davranış söz konusu değildir. Dolayısıyla, elde edilen çizelgeler ve sistemlerin karşılaştırılması yapılan bazı şekillerde, bu sisteme ait boylamsal göç dönem değeri bulunmamaktadır.

Sistemlerdeki lekelerin θ_{\min} değişimleri lineer bir doğru ile temsil edildikten sonra, bu lineer temsiller çıkarılarak artıklar elde edilmiştir. Lekelerin göç hareketleri düzgün bir lineer doğru ile temsil edilmiş olsa da incelenen lekelerin göç hareketinde belirli bir sinüzoidal değişim gözlenmektedir. Bu sinüzoidal değişimlerin net bir şekilde belirlenip yorumlanabilmesi için, frekans analizi yapılmıştır. Çizelge 4 ve 5'te görüldüğü üzere, lekelerin θ_{\min} artıklarının frekans analizlerinden ortalama 7'şer adet frekans elde edilmiş ve dönemleri hesaplanmıştır. Çizelgelere dikkatle bakıldığında, elde edilen bu sinüzoidal

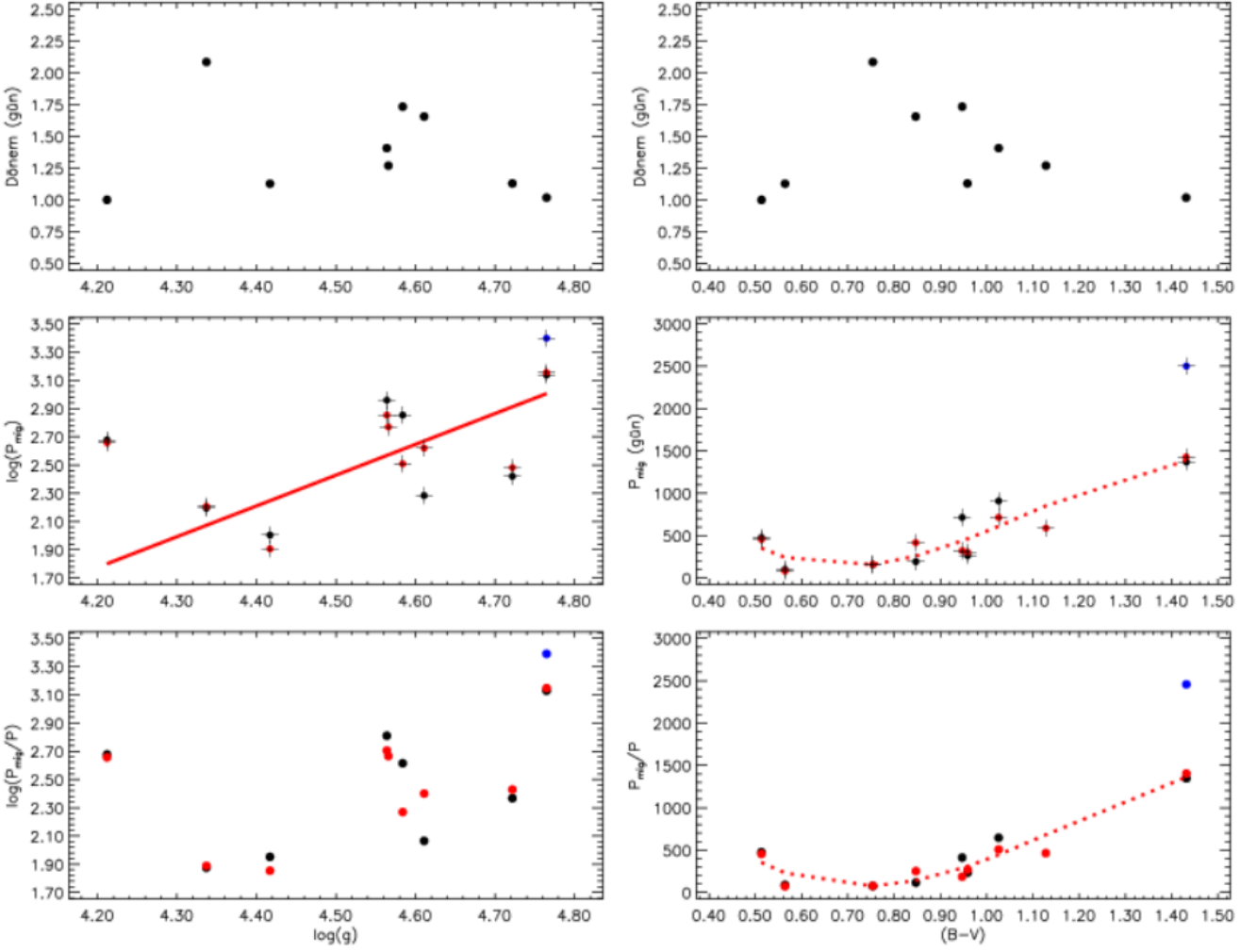
değişimlerin dönemleri sistemlerdeki lekelerin aynı bileşen veya farklı bileşende olduğuna dair yapılan yorumu desteklemektedir. Aynı bileşen üzerinde yer aldığı ifade edilen lekelerin θ_{\min} artıklarındaki sinüzoidal değişimlerin dönemlerinin birbirine yakın olduğu, farklı bileşenlerdeki ise çok fark olmasa da dikkat çeken farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Bu durum, elde edilen sonuçların tutarlılığını da göstermektedir.

Frekanslardan elde edilen değerlerden oluşturulan temsiller, θ_{\min} artıkları ile beraber şekillendirilmiştir. Örnek olarak, Şekil 4'ün alt panellerinde gösterilmiştir. Bu büyük genlikli değişimlerin nedeni olarak, bilindiği üzere, lekeler aktif boylamlar üzerinde oluşmaktadır ve bu aktif boylamlar, bir tane boylam üzerinde değil; geniş bir boylam aralığı üzerinde yer almaktadır. Dolayısıyla, belirlenen boylamsal olarak yaklaşık 0.20 evrelilik sağa ve sola salınımlar, lekelerin aktif boylam 'bandı' içerisinde farklı konumlarda ortaya çıkıp yok olması olarak yorumlanabilmektedir. Geniş bant aralığında bir leke göç ederse, bunu θ_{\min} artıklarında sinüzoidal değişim olarak görebiliriz. Hesaplanan frekanslar, aktif boylam bandının içinde bir lekenin göçünü göstermektedir.

Öte yandan, KIC 11706658 durumunda, θ_{\min} artıklarının genliği dikkate değer ölçüde büyüktür. Bu büyük genliğin nedeni, aktif bir boylam bandındaki lekenin konum değişimi kaynaklı olamaz. Büyük olasılıkla, diferansiyel dönme nedeniyle lekelerin enlemsel değişimi olması beklenmektedir. Enlem değişikliği bakımından, alt enlemlere doğru leke, dönme döneminden daha hızlı dönmekte ve dolayısıyla, leke göç hareketinde azalma değil, artma gözlenmektedir. Bizim düşüncemize göre, süpergranül ölçekli konveksiyon akımları, lekeli alanları üst enlemlere veya önceki boylamlara doğru kaydırmış olabilir. Bradshaw & Hartigan (2014), süper granül ölçekli konveksiyon akımları nedeniyle lekeli alanların kolayca parçalanabileceğini belirtmişlerdir.

İncelenen sistemlerdeki bileşenlerin Çizelge 1'de verilen $(B-V)$ renk indeksi, $\log(g)$ ve yörünge dönemlerine göre, yüzeylerindeki lekelerin boylamsal göç dönemleri incelenmiştir. Bileşenlerin $(B-V)$ renk indekslerine göre lekelerin göç dönemleri, Şekil 5'in sağ panelinde sunulmuştur. Orta panelde gösterilen değişim incelenirse; $(B-V)$ renk indeksi $0^m50'$ den $1^m15'$ e kadar olan bileşenlerin üzerindeki lekelerin boylamsal göç dönemlerinin 800 günün altında kısa dönemler olduğu, 1^m50 ve üzeri renk değerlerine sahip bileşenlerdeki lekelerin göç dönemlerinin ise 800 günün üzerinde uzun dönemlere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, leke göç dönemlerinin $(B-V)$ renk indeksinin bir fonksiyonu olarak değişim gösterdiği de görülmektedir. $(B-V)$ renk indeksinin 1^m50 ve üzeri olduğu yıldızlar, tamamen konvektif katmandan oluşan soğuk yıldızlardır. Bu tür bir hedef durumunda türbülans dinamosu baskındır ve yüzeylerindeki diferansiyel dönme profilinin nasıl çalıştığı tam olarak bilinmemektedir.

Leke göç dönemlerinin dağılımı Şekil 6'da bileşenlerin yörünge dönemlerine göre çizdirilmiştir. Öncelikle şekilden, leke göç dönemlerinin artan yörünge dönemleri ile azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, 800 ile 2500 günlük göç dönemlerine sahip lekelerde ise, daha belirgin bir eğime sahip dağılım gözlenmektedir. Burada da yıldızların dönemlerinin artmasıyla leke göç dönemlerinin hızla azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Buradaki ayrımın nedeni, $\log(g)$ de olduğu gibi, baskın olarak bileşenlerin $(B-V)$ değerlerinden kaynaklanmaktadır. Kırmızı ile temsil edilen doğrunun soğuk yıldızların, mavi ile temsil edilen doğrunun ise sıcak yıldızların yörünge dönemlerine göre leke göç dönemlerinin değişimini



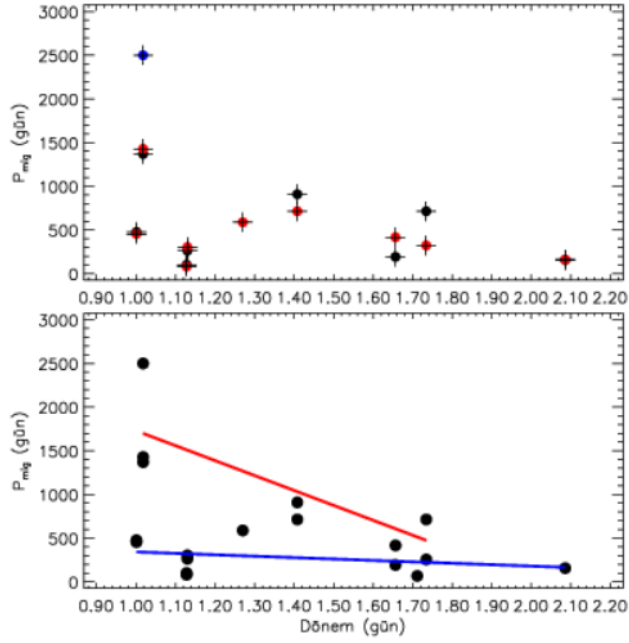
Şekil 5. Sistemlerin $\log(g)$ ve $(B-V)$ renk indeksi değerlerine karşı lekelerin boylamsal göç dönemleri verilmiştir. Orta ve alt panellerdeki kırmızı çizgiler kuramsal eğriyi temsil etmektedir.

göstermektedir. Her iki durumda da leke göç dönemleri, yörünge döneminin artması ile azalmaktadır. Fakat $(B-V)$ renk indeksi, birinde daha az etkiliyken, diğerinde daha baskın etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmadaki dikkat çekici hedeflerden biri KIC 12599700'dür. Şekil 5'in sağ panelinde görüldüğü gibi, birinci ve ikinci lekenin elde edilen kuramsal eğri üzerinde olduğu ve bileşenin renk indeksine göre beklenen konumda olduğu görülür. Fakat, üçüncü lekeli alanın göç dönemi mavi olarak çizilmiştir ve elde edilen kuramsal eğride olması gereken yerde değildir. Sistemin baş bileşenin sıcaklığı 3758 K, yoldaş bileşenin sıcaklığı ise 3759 K'dir (Armstrong ve diğ. 2014). Hedef, bileşenleri neredeyse ikiz olan bir ikili sistemdir. Ancak mavi ile belirtilen leke göç dönemi, bu bileşenlerin sıcaklıkları ile uyumsuz görünmektedir. $(B-V)$ renk indeksi yaklaşık 1^m80 olan bir bileşenle uyumlu olması gerekmektedir. Bu noktada sistemin ışık eğrisine bakıldığında, baş ve yan minimumların genlikleri hemen hemen eşittir, ancak çok sığdır. Bileşenlerin sıcaklıkları göz önüne alındığında, bu sığ minimumlar için olası bir açıklama, sistemin görünmeyen bir üçüncü bileşene sahip olması gerektiğidir. Sistemde görünmeyen bir üçüncü bileşen

varsa, üçüncü cismin toplam ışıktaki çok az ışık fazlalığına sahip olması astrofiziksel bir durum olarak beklenir. Bu durumda, bu üçüncü cisim çok soğuk bir M cücesi olmalıdır. Bu senaryo, şekildedeki mavi nokta olarak belirtilen leke göç dönemini açıklayabilir.

Şekil 5'in sol panellerinde, göç dönemini bileşenlerin $\log(g)$ değerleriyle karşılaştırıyoruz. Sol orta panele bakıldığında, yıldızların $\log(g)$ değerlerinin artması ile leke göç döneminin arttığına dair oldukça kaba/genel bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere, her ne kadar dağılım doğru ile temsil edilebilmiş olsa da çok fazla saçılma ve sapma gözlenmektedir. Bu saçılmaların nedeni, yıldızların farklı sıcaklıklara sahip olmalarıdır. Bazı sistem bileşenleri, neredeyse aynı yaşlara ve dolayısıyla aynı $\log(g)$ değerlerine sahip olsa da, sıcaklıkları birbirinden önemli ölçüde farklı olabilir. Bu durumda, sağ panellerde görülen değişimlerin etkileri, $\log(g)$ değerlerine göre dağılımları etkileyebilir. Düşüncemize göre, aynı sıcaklıklardaki bileşenlere sahip olsaydık, göç dönemleri için $\log(g)$ değerlerine karşı doğrusal bir eğim üzerinde dağılım elde edebilirdik. Nitekim kendi aralarında aynı $\log(g)$ değerlerine sahip bileşenleri karşılaştırdığımızda, panelde daha yüksek

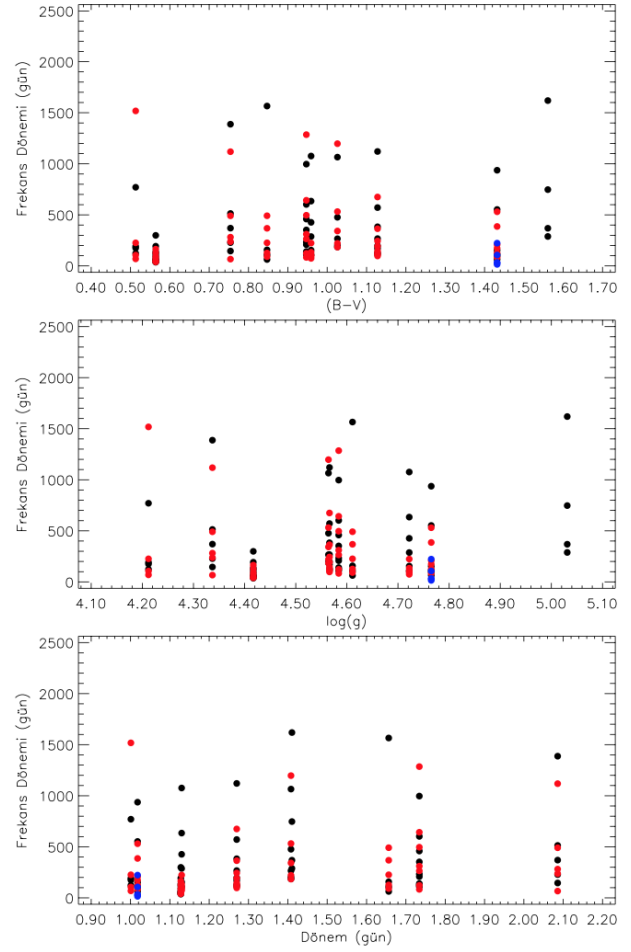


Şekil 6. Sistemlerin yörünge dönemlerine karşı lekelerin boylamsal göç dönemleri verilmektedir. Alt paneldeki kırmızı düz çizgi, soğuk yıldızlardaki lekelerin göç dönemindeki değişimi, mavi düz çizgi ise sıcak yıldızlar üzerindeki lekelerin göç dönemindeki değişimini temsil etmektedir.

sıcaklığa sahip bileşenler doğrunun altında, daha düşük sıcaklığa sahip bileşenler ise düzlemin üst kısmında yer almaktadır.

Genel olarak, leke göç dönemlerinin $(B-V)$ renk indeksinin bir fonksiyonu olduğu ve buna göre uyumlu bir şekilde değişim gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, anakolda daha soğuk yıldızlara doğru leke göç dönemlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, hem $\log(g)$ parametresine hem de yörünge dönemlerine karşı da düzenli bir değişimin olduğu dikkat çekmiştir. Öte yandan, sıcaklığın etkisi bu değişimler üzerinde baskın bir parametre olarak görülmektedir. Çok daha kabul edilebilir sonuçlar elde etmek için, sıcaklıkları aynı olan bileşenler söz konusu olduğunda, leke göç dönemleri farklı $\log(g)$ değerlerine karşı incelenmelidir. Bu arada, θ_{\min} analizleriyle elde edilen frekans değişimlerinin yorumları tamamen öngörüdür. Net bir sonuca varmak için daha fazla yıldızın verileri analiz edilmelidir.

Son olarak, θ_{\min} artıklarının frekans analizi gerçekleştirilmiş ve belirli dönemler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu dönemlerin, lekelerin göç dönemlerinin genel durumunu incelemek için oluşturulan çeşitli parametrelere karşı dağılımının ele alındığı gibi, frekansların da bu parametrelere göre dağılımı incelenmiştir. Şekil 7'de yıldızların $(B-V)$ renk indeksi, $\log(g)$ ve dönem değerlerine göre θ_{\min} artıklarının frekans dönemlerinin dağılımı görülmektedir. Şekildeki frekans dağılımları incelendiğinde, tüm $(B-V)$ renk indekslerinde ve $\log(g)$ değerlerinde daha düşük frekansların görüldüğünü fark ettik. Ancak, daha yüksek frekanslar yalnızca daha küçük $(B-V)$ renk indekslerine ve $\log(g)$ değerlerine doğru görülmektedir. Yörünge dönemleri boyunca net bir frekans dağılımı beklememize rağmen, yörünge dönemleri üzerinde sistematik bir dağılım yoktur. Ek olarak burada belirtilmelidir ki; Çizelge 4 ve 5'te verilen ve Şekil 7'de sunulan dağılımlar,



Şekil 7. θ_{\min} artıklarından elde edilen frekansların hesaplanan dönemlerinin sistemlerin bileşenlerine ait $(B-V)$, $\log(g)$ ve dönem değerlerine göre değişimleri verilmektedir. Siyah noktalar birinci lekelerden elde edilen frekans dönemlerine, kırmızı noktalar ikinci lekeler ve mavi noktalar ise üçüncü lekeler aittir.

tamamen θ_{\min} artıklarının olası bir periyodik değişiminin olup olmadığına bakmak içindir. Bu kısım için yapılan yorumlar öngörüdür ibaret olup kesinliği için daha detaylı analizler yapılmalıdır.

Kaynaklar

- Armstrong D. J., Gómez Maqueo Chew Y., Faedi F., Pollacco D., 2014, *MNRAS*, 437, 3473
 Balaji B., Croll B., Levine A. M., Rappaport S., 2015, *MNRAS*, 448, 429
 Balona L. A., 2015, *MNRAS*, 447, 2714
 Berdyugina S. V., Tuominen I., 1998, *A&A*, 336, L25, *ADS*
 Berdyugina S. V., Usoskin I. G., 2003, *A&A*, 405, 1121
 Bogart R. S., 1982, *Sol. Phys.*, 76, 155
 Bopp B. W., Evans D. S., 1973, *MNRAS*, 164, 343
 Bradshaw S. J., Hartigan P., 2014, *ApJ*, 795, 79
 Caldwell D. A., ve diğ., 2010, *ApJ*, 713, L92
 Dal H. A., Özdarcan O., 2018, *MNRAS*, 474, 326
 Dal H. A., Sipahi E., Özdarcan O., 2012, *PASJ*, 64, 125
 Friedemann C., Guertler J., 1975, *Astronomische Nachrichten*, 296, 125

- Gao Q., Xin Y., Liu J.-F., Zhang X.-B., Gao S., 2016, *ApJS*, 224, 37
- Gray R. O., ve diğ., 2016, *AJ*, 151, 13
- Hall D. S., 1990, *AJ*, 100, 554
- Jenkins J. M., ve diğ., 2010a, *ApJ*, 713, L87
- Jenkins J. M., ve diğ., 2010b, in *Software and Cyberinfrastructure for Astronomy*. p. 77400D, doi:10.1117/12.856764
- Kaya N. Ö., Dal H. A., 2019, *Astronomische Nachrichten*, 340, 539
- Koch D. G., ve diğ., 2010, *ApJ*, 713, L79
- Kron G. E., 1952, *ApJ*, 115, 301
- Kunkel W., 1975, *IAU Symposium*, 67, 15, *ADS*
- Lenz P., Breger M., 2005, *Communications in Asteroseismology*, 146, 53
- Lopez Arroyo M., 1961, *The Observatory*, 81, 205, *ADS*
- Lucy L. B., 1967, *Z. Astrophys.*, 65, 89, *ADS*
- Matijević G., Prša A., Orosz J. A., Welsh W. F., Bloemen S., Barclay T., 2012, *AJ*, 143, 123
- Mekkaden M. V., Raveendran A. V., 1998, *A&A*, 338, 1031, *ADS*
- Morris S. L., 1985, *ApJ*, 295, 143
- Morton T. D., Bryson S. T., Coughlin J. L., Rowe J. F., Ravichandran G., Petigura E. A., Haas M. R., Batalha N. M., 2016, *ApJ*, 822, 86
- Pinsonneault M. H., An D., Molenda-Zakowicz J., Chaplin W. J., Metcalfe T. S., Bruntt H., 2012, *VizieR Online Data Catalog*, p. J/ApJS/199/30, *ADS*
- Prša A., Zwitter T., 2005, *ApJ*, 628, 426
- Qian S. B., Zhang J., He J. J., Zhu L. Y., Zhao E. G., Shi X. D., Zhou X., Han Z. T., 2018, *ApJS*, 235, 5
- Rosario M. J., Heckert P. A., Mekkaden M. V., Raveendran A. V., 2009, *MNRAS*, 394, 872
- Rowe J. F., ve diğ., 2015, *ApJS*, 217, 16
- Ruciński S. M., 1969, *Acta Astron.*, 19, 245, *ADS*
- Shibayama T., ve diğ., 2013, *ApJS*, 209, 5
- Slawson R. W., ve diğ., 2011, *AJ*, 142, 160
- Stanek W., 1972, *Sol. Phys.*, 27, 89
- Taş G., Evren S., Marino G., Frasca A., Ibañoğlu C., Catalano S., 2001, *A&A*, 376, 966
- Thompson S. E., Mullally F., Coughlin J., Christiansen J. L., Henze C. E., Haas M. R., Burke C. J., 2015, *ApJ*, 812, 46
- Tokunaga A. T., 2000, in Cox A. N., ed., , *Allen's Astrophysical Quantities*. New York: AIP Press; Springer, p. 143
- Torres C. A. O., Ferraz Mello S., 1973, *A&A*, 27, 231, *ADS*
- Vogt S. S., 1975, *ApJ*, 199, 418
- Watson C. L., Henden A. A., Price A., 2006, *Society for Astronomical Sciences Annual Symposium*, 25, 47, *ADS*
- Wilson R. E., Devinney E. J. J., 2015, *ApJ*, 807, 80
- van Hamme W., 1993, *AJ*, 106, 2096

Access:M23-0327: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.