

Eksen Dönmesi Gösteren Çift Yıldızlara İstatistikî Yaklaşım

Soheil Sharifiankorkchi¹  , Ömer Lütfi Değirmenci¹ 

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

Accepted: April 16, 2025. Revised: April 16, 2025. Received: November 27, 2024.

Özet

Eksen dönmesi hareketini, bir çift sistemin görelî yörüngesine ilişkin büyük ekseninin ya da görelî yörüngenin enberi doğrultusunun, odaktan geçen ve yörünge düzlemine dik eksen etrafında dönmesi şeklinde ifade edebiliriz. Eksen dönmesi klasik ve rölativistik nedenlerden kaynaklanmaktadır. Rölativistik katkı sistemin toplam kütlesi ile doğru orantılı iken görelî yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu ile ters orantılıdır. Yörünge dış merkezliği büyüdükçe rölativistik katkı da artmaktadır. Eksen dönmesine olan klasik katkı ise daha ziyade bileşenlerin homojen olmayan yoğunluk dağılımlarından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan bileşenlerin dönme hızları, sistemin kütle oranı ve yörünge dış merkezliği de belirleyici parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada eksen dönmesi gösteren çift sistemlerin $d\omega/dt$ ile verilen eksen dönme hızlarının sistemlere ilişkin diğer parametreler ile olası ilişkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında eksen dönmesi gösteren yıldızların eksen dönme parametreleri ve bileşenlerine ve sisteme ilişkin parametreler literatürden derlenmiş ve parametreler arasında olası istatistikî ilişkiler araştırılmıştır.

Abstract

We can express the apsidal motion as the rotation of the major axis of the relative orbit of a binary system or the perigee direction of the relative orbit, around the axis passing through the focus and perpendicular to the orbital plane. Apsidal motion is due to classical and relativistic reasons. The relativistic contribution is directly proportional to the total mass of the system and inversely proportional to the semi-major axis length of the relative orbit. As the orbital eccentricity increases, the relativistic contribution also increases. The classical contribution to apsidal motion is rather due to the non-homogeneous density distributions of the components. On the other hand, the rotational velocities of the components, the mass ratio of the system and the orbital eccentricity also appear as determining parameters. In this study, the possible relationships between the apsidal motion rate, $d\omega/dt$, and other parameters related to the systems were investigated. Within the scope of the study, the apsidal motion parameters of systems showing apsidal motion, and parameters related to the component stars and binary systems were compiled from the literature and possible statistical relationships between them were investigated.

Anahtar Kelimeler: binaries: eclipsing – stars: fundamental parameters – stars: statistics

1 Giriş

Çift sistemler yıldız astrofizığının hem önemli bir bilgi kaynağı hem de olağanüstü laboratuvarlarıdır. Yıldızların fiziksel parametrelerine en duyarlı biçimde çift yıldızlar vasıtasıyla ulaşılabilmektedir. Diğer yandan eliptik yörüngeli örten çift sistemler yıldızların fiziksel ve yörüngesel öğelerini sunmaları dışında yıldızların yapısını anlamamızda temel olan bazı gözlemsel olayları da sergilerler. Bu bakımdan kuramsal astrofizik açıdan da çok önemlidirler. Yıldızların içyapı ve evrim modellerinin ve ayrıca genel rölativite kuramının test edilmesine olanak sağlarlar. Bu nedenlerden dolayı eksen dönmesi gösteren çift sistemlerin derlenmesi, kataloglarının yapılması ve genel özelliklerinin ortaya konulması astrofizik açısından son derece önem arz eder. Eksen dönmesi gösteren yıldızlara ilişkin literatürde çok sayıda yayın ve birkaç katalog bulunmaktadır. Eksen dönmesi olayının kuramsal alt yapısı için esas olarak Sterne (1939), Schwarzschild (1958), Kopal (1959) ve Kopal (1978)'e bakılabilir. Söz konusu sistemlere ilişkin en son kataloglar: Bulut & Demircan (2007) ve Kim ve diğ. (2018) tarafından yayımlanan kataloglardır. Bulut & Demircan

(2007)'ın kataloğunda 124 örten çift sistem bulunmaktadır. Bugüne kadar yapılan en geniş kataloğu sunan Kim ve diğ. (2018)'nin kataloğunda toplam 653 eliptik yörüngeli çift sistem yer alırken bunlardan galaksimize ait olan 172 sistemin eksen dönme parametreleri sunulmuştur.

2 Eksen Dönmesi

Eliptik yörüngeli çift yıldızlarda ortaya çıkan gözlemsel olayların en önemlisi eksen dönmesidir. Eksen dönmesi görelî yörüngenin büyük ekseninin ya da diğer bir ifadeyle görelî yörüngenin odağını, enberi noktasına birleştiren doğrultunun (enberi doğrultusu), yörüngenin odak noktasından geçen ve yörünge düzlemine dik olan eksen etrafında dönmesidir. Enberi doğrultusunun konumu ω açısıyla belirlenir ve enberi boylamı adını alır. Enberi boylamı ω , yörüngenin çıkış düğümü doğrultusundan itibaren, enberi doğrultusuna kadar, pozitif yönde ve 0° ile 360° arasında ölçülür. Dolayısıyla eksen dönmesi olayını nicel olarak ortaya koyan parametre ω açısının zamanla değişimini gösteren $\dot{\omega} = d\omega/dt$ parametresidir ve eksen dönme hızı adını alır. Eksen dönmesi gösteren bir örten çift sistemin ışık eğrisinde baş ve yan minimum süreleri, minimumların iniş ve çıkış kollarının eğimleri ve yan minimumun, baş minimuma göre

* Soheil_sh@outlook.com

konumu sürekli ve dönemli olarak değişir. Bu döneme eksen dönme dönemi denir ve U ile gösterilir.

Eliptik yörüngeli bir çift sistemin yörünge dönemi P , dönem başına eksen dönme miktarı $\Delta\omega$ ve eksen dönme dönemi U arasında

$$\frac{\Delta\omega}{360} = \frac{P}{U} \quad (1)$$

ilişkisi vardır. Buna göre eksen dönme hızı

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\Delta\omega}{P} \quad (2)$$

olur. Buna göre $\dot{\omega}$ parametresinin birimi derece/çevrim şeklindedir. Burada çevrim kelimesi, süre olarak, söz konusu sistemin yörünge dönemine karşılık gelmektedir. Eksen dönmesi gösteren bir örten çift sistemin minimum zamanları gözlenerek yan minimumun, baş minimuma göre dönemli yer değiştirmesi tespit edilmek suretiyle eksen dönme hızı ve dolayısıyla da eksen dönme dönemi belirlenebilir. Bu yöntem literatürde genellikle $O-C$ diyagramı gösterimi olarak bilinir. Bir örten çift sistemin T_0 başlangıç minimum zamanına göre E -inci ($E=\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) sıradaki minimum zamanı

$$C = T_0 + PE \quad (3)$$

bağıntısıyla tahmin edilebilir. Eğer kullanılan T_0 ve P parametreleri doğru ve sistemde de eksen dönmesi yoksa bu yolla belirlenen $O-C$ farkları, bir $E-(O-C)$ diyagramında, gerek parlaklık ölçümlerinde, gerek zaman ölçümlerinde ve gerekse gözlem koşullarındaki değişimler nedeniyle kabul edilebilir bir saçılma ile birlikte $O-C=0$ civarında bir dağılım gösterecektir. O halde eğer bir örten çift sistem eksen dönmesi gösteriyorsa bu durumda onun minimum zamanlarının

$$O = T_0 + P_S E + \tau_a \quad (4)$$

ifadesi ile tahmin edilen zamanlarda gözlenmesi gerekir. Burada P_S sistemin yıldızı dolanma dönemi ve

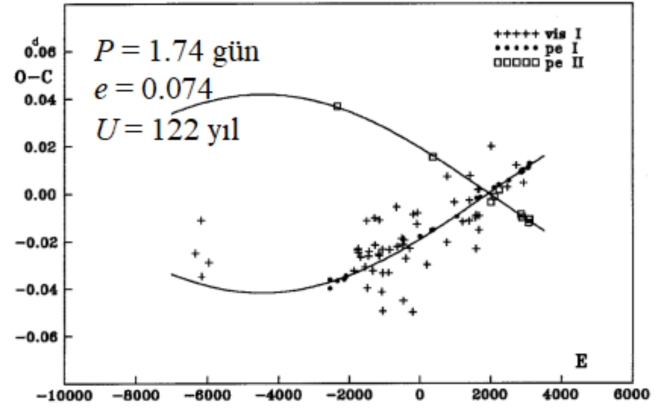
$$O - C = \tau_a \quad (5)$$

ifadesi de eksen dönme terimidir. τ_a terimi, esas itibarıyla, yörünge parametreleri olan dolanma dönemi P , dış merkezlik e , yörünge eğim açısı i ve enberi boyları ω 'nın bir fonksiyonudur ve tam ifadesi Gimenez & Bastero (1995)'de verilmiştir. Eksen dönmesi gösteren bir çift sistemin $O-C$ diyagramının en bariz özelliği baş ve yan minimumlara ilişkin verilerin, aralarında 180° faz farkı olan çevrimsel yapılar olarak dağılım göstermeleridir. Örnek olarak eksen dönmesi gösteren bir çift sistem olan IQ Per'in, Değirmenci (1997)'den alınan $O-C$ diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Çoğu durumda eksen dönme dönemi yüzlerce hatta binlerce yıl mertebesinde olup eldeki minimum zamanları eksen dönme döneminin ancak küçük bir kısmını kapsar. Bu nedenle çoğu durumda dönem analizine ilişkin elde edilen sonuçlar ancak bir ilk yaklaşım duyarlılığına sahiptir. Sonuç olarak böylece çift sistemlerin ışık ölçümü ve minimum zamanlarına ilişkin gözlemler önemini korumaktadır.

2.1 Eksen dönmesine neden olan fiziksel süreçler

Eliptik yörüngeli çift sistemlerde, özellikle minimum zamanlarının tespiti yoluyla belirleyebildiğimiz eksen dönmesi olayına neden olan pek çok fiziksel süreç vardır. Eksen dönmesine yol açan mekanizmalar klasik ve rölativistik olmak üzere iki gruba ayrılır.

Rölativistik katkı genel relativite kuramının öngördüğü bir



Şekil 1. IQ Persei örten çift sisteminin $O-C$ diyagramı. Şekil Değirmenci (1997)'den alınmıştır.

sonuç olup Levi-Civita (1937) tarafından

$$\dot{\omega}_{rel} = 5.4510^{-4} \frac{1}{1-e^2} \left(\frac{M_1 + M_2}{P} \right)^{2/3} \quad (6)$$

bağıntısıyla verilmiştir.

Klasik olarak bileşenlerin küresel simetriden sapmaları (yakın çift sistemlerde beklenen normal durum) ve homojen olmayan yoğunluk dağılımlarına sahip olmaları, bileşenlerin dönmesi, sistemde üçüncü bir cismin varlığı ya da yıldızlararası gaz ve toz nedeniyle yörünge hareketinin frenlenmesi gibi süreçler de eksen dönmesine neden olur. Bu çalışmada klasik nedenlerin en baskını olan homojen olmayan yoğunluk dağılımı ve bileşenlerin dönme hızları dikkate alınmış, etkileri küçük olan diğer mekanizmalar dikkate alınmamıştır.

Eksen dönme hızının klasik kısmının, bileşenlere ve sisteme ilişkin parametreler ile ilişkisi Kopal (1978) tarafından

$$\frac{\dot{\omega}_{cl}}{360} = c_{21}k_{21} + c_{22}k_{22} \quad (7)$$

bağıntısıyla verilir. Burada k_{2i} ($i=1,2$) bileşenlerin içyapı sabitleri ve c_{2i} ise ilgili bileşenin fiziksel niceliklerine bağlı terimlerdir. c_{2i} terimleri Kopal (1978) tarafından

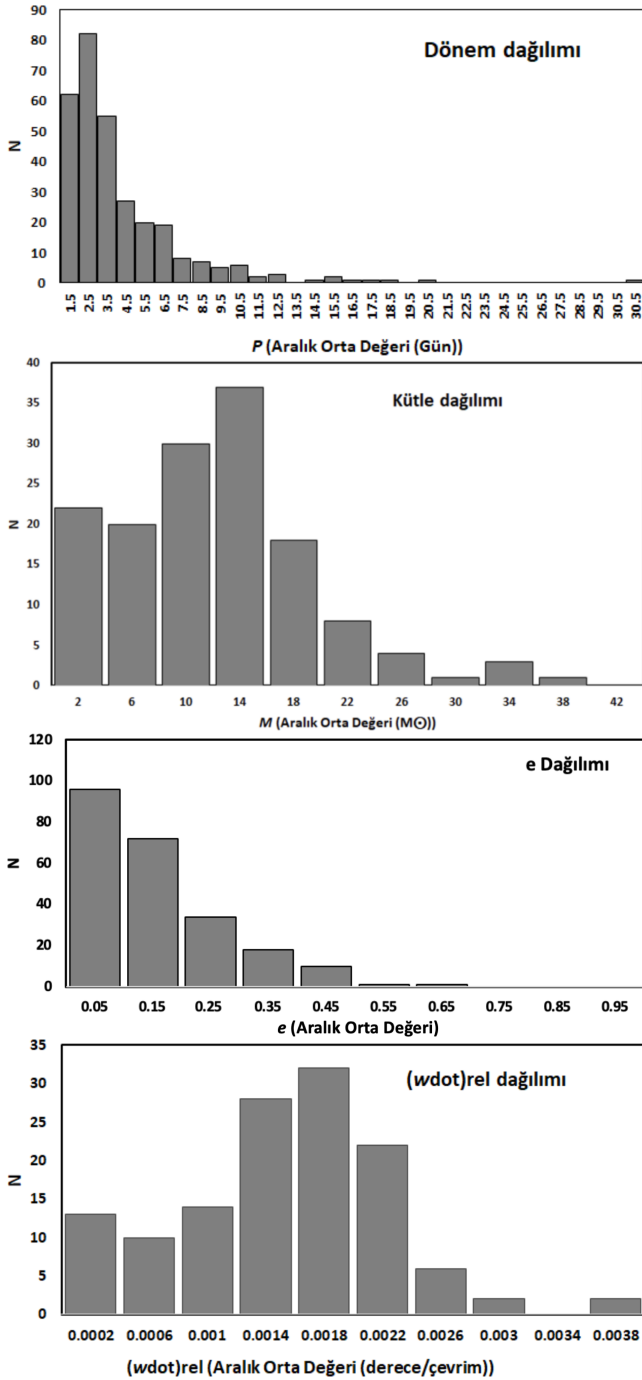
$$c_{2i} = \left[\left(\frac{\omega_i}{\omega_k} \right) \left(1 + \frac{m_{3-i}}{m_i} \right) f(e) + 15 \frac{m_{3-i}}{m_i} g(e) \right] \left(\frac{R_i}{a} \right)^5 \quad (8)$$

bağıntısıyla verilir. Burada ω_i , m_i ve R_i terimleri bileşenlerin, sırasıyla dönme açısal hızlarını, kütle ve yarıçaplarını, $\omega_k = P/2\pi$ yörüngenin Keplerian açısal hızını, a göreceli yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğunu gösterirken dış merkezliğin birer fonksiyonu olan $f(e)$ ve $g(e)$ terimleri ise

$$f(e) = \frac{1}{(1-e^2)^2} \quad (9)$$

$$g(e) = (1-e^2)^{-5} (1 + 1.5e^2 + 0.125e^4) \quad (10)$$

bağıntılarıyla verilir (bkz. Kopal 1978). Denklem 8'de yer alan bileşenlerin dönme açısal hızları genellikle literatürde mevcut olmadığından bu çalışma kapsamında dönme açısal hızları için onların enberi noktasındaki dolanma açısal hızları kullanıldı. Hunt (1981), çift sistem bileşenlerinin enberi noktasındaki dönme açısal hızlarının, güçlü çekimsel etkileşim nedeniyle, yörüngenin enberi noktasındaki dolanma açısal hızıyla kilitli (pseudo-synchronization) olduğunu kabul eder. Diğer taraftan



Şekil 2. Katalog yıldızlarının (en üst) yörünge dönemi dağılımı, (üsten ikinci) toplam kütle dağılımı, (alttan ikinci) yörünge dışmerkezliklerinin dağılımı, (en alt) eksen dönme hızlarının rölativistik kısımlarının dağılımı.

Swings (1936)'ya göre bir çift sistemin enberi noktasındaki dolanma açısal hızı, Keplerian açısal hızı ile

$$\omega_p^2 = \frac{1+e}{(1-e)^3} \omega_K^2 \quad (11)$$

şeklinde ilişkilidir. Sonuç olarak dönme açısal hızları bilinmeyen bileşenler için $\omega_i = \omega_p$ kullanılması iyi bir yaklaşım sağlar.

İçyapı sabiti yıldız evrim modellerinin çok önemli bir

parametresi olmakla birlikte bir çift sistemin bileşenlerinin her birine ilişkin içyapı sabitlerini (k_{21} ve k_{22}) gözlemsel olarak ayrı ayrı elde etme şansımız ne yazık ki bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılabileceklerin en iyisi olarak sistemi temsil eden bir ortalama içyapı sabiti (k_2) tanımlanır ve kullanılır. k_{21} ve k_{22} içyapı sabitlerinin ağırlıklı ortalaması olan k_2 sabiti

$$k_2 = \frac{c_{21}k_{21} + c_{22}k_{22}}{c_{21} + c_{22}} \quad (12)$$

ifadesiyle verilir. Burada ağırlık olarak kullanılan c_{2i} nicelikleri Denklem 8 ifadesiyle verilmiştir.

3 Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında eksen dönmesi gösteren çift sistemlere istatistiki açıdan yaklaşılarak onların çeşitli parametrelerinin dağılımları elde edilmiş ve bazı parametreleri arasında ilişkiler araştırılmıştır.

Eksen dönmesi gösteren çift sistemlere ilişkin veriler literatürden derlenerek toplam 303 sistemden oluşan bir örneklem oluşturulmuş ve Çizelge 1'de sunulmuştur. Sistemlerin yörünge ve fiziksel parametreleri dışında her bir bileşene ilişkin fiziksel parametreler de (mevcut olanlar) derlenmiştir. Doğal olarak bazı sistemlerin parametrelerinde eksiklikler bulunmaktadır.

3.1 Yörünge dönemi dağılımı

Katalog yıldızlarının yörünge dönemi dağılımı Şekil 2'de (en üst panel) gösterilmiştir. yörünge dönemi 1 günden daha küçük sistem yoktur, 10 günden daha uzun dönemli sistem sayısı ise yok denecek kadar azdır. Dönem dağılımı 2.5 gün civarında bir maksimuma sahip olup, sistemlerin büyük bir kısmı 1–7 gün aralığında toplanmıştır.

3.2 Kütle dağılımı

Örnekleme yer alan sistemlerin 144'ünün toplam kütleleri elde mevcuttur. Söz konusu 144 sistemin toplam kütle dağılımı diyagramı Şekil 2'te (üstten ikinci panel) verilmiştir. Diyagram incelendiğinde sistemlerin çoğunluğunun $2 < M < 18 M_{\odot}$ aralığında toplandığı görülmektedir. Birkaç istisna dışında, toplam kütlesi $30 M_{\odot}$ ten daha büyük sistem yok denecek kadar azdır.

3.3 Dışmerkezlik dağılımı

Şekil 2'de (alttan ikinci panel) verilen dağılım grafiğinden de görüleceği üzere örnek sistemlerimizin önemli bir kısmının yörünge dışmerkezliği 0.30'dan küçüktür. Dışmerkezliği 0.50 ve üzeri olan sistem yok denecek kadar azdır. Diğer bir deyişle sistemlerin yörünge dışmerkezlikleri sıfır civarında toplanma eğilimi göstermektedir.

3.4 $\dot{\omega}_{rel}$ dağılımı

Örnek sistemlerimizin 129'unda eksen dönmesi açısal hızının rölativistik kısmı elde edilebilmiş ve dağılımı Şekil 2'te (en alt panel) gösterilmiştir. Sistemlerin önemli bir kısmı $0.0012 < \dot{\omega}_{rel} < 0.0024$ ($^{\circ}$ çevrim $^{-1}$) aralığında yer almakta ve dağılım $\dot{\omega}_{rel} = 0.0018^{\circ}$ çevrim $^{-1}$ civarında maksimum yapmaktadır. $\dot{\omega}_{rel} > 0.0030^{\circ}$ çevrim $^{-1}$ bölgesinde hemen hemen hiçbir sistem bulunmamaktadır.

Çizelge 1. Eksen dönmesi gösteren çift sistemlerin yörünge ve fiziksel parametreleri. ω : derece biriminde, $\dot{\omega}$: $^{\circ}$ çevrim $^{-1}$ biriminde verilmiştir. Kaynaklar: (1)Sügit ve diğ. (2023), (2)Bulut (2022), (3)Zasche ve diğ. (2023), (4)Fekel ve diğ. (2022), (5)Volkov & Kravtsova (2022), (6)Baroch ve diğ. (2022), (7)Latkovič ve diğ. (2022), (8)Wolf ve diğ. (2005), (9)Wolf ve diğ. (2022), (10)Hong ve diğ. (2016).

Sistem	P_s (gün)	$d(P_s)$	T_0	$d(T_0)$	ω	$d(\omega)$	$\dot{\omega}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega})$ ($\times 10^6$)	$\dot{\omega}_{rel}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega}_{rel})$ ($\times 10^6$)	Kaynak
GV Nor	2.971864	0.00000272	58636.9876	0.0101	168	2	0.01307	0.00274	0.00082	0.00003	1
V881 Sco	2.491569	0.0000017	52129.6555	0.008	348	8	0.01394	0.00316	0.00076	0.00002	1
V610 Car	4.844901	0.0003346	52501.6153	0.1759	184.1	6.3	0.0253	0.0041			2
V944 Cep	6.560006	0.0000226	52502.0277	0.0176	43.8	0.7	0.0347	0.0015			2
V2815 Ori	2.131016	0.0000071	52501.2946	0.0082	132.5	0.4	0.0289	0.001			2
V1260 Tau	5.430801	0.0001355	52500.6779	0.0884	0.9	2.2	0.0294	0.0079			2
TYC 5378-1590-1	3.732349	0.0000468	53946.517	0.005	18	7	0.000368	0.000112	0.000615	0.000056	3
TYC 8378-252-1	2.877687	0.0000101	51981.779	0.016	143	8	0.002852	0.000851	0.0005	0.000044	3
V1022 Cas	12.15616	0.0000025	56029.612	0.0013	34469	0.045	0.00032		0.00025		4
V490 Sct	12.043959	0.00000009	55073.39094	0.00002	50.71	0.09	0.00028	0.00002	0.000412	0.0000066	5
V889 Aql	11.120757	0.000004	59416.752	0.006	126.1	0.2	0.00046	0.00002	0.000336	0.000002	6
V402 Lac	3.782043	0.000005	58761.579	0.008	57.9	0.4	0.009	0.0003	0.000822	0.000007	6
EK Cep	4.427794	0.000004	42624.752	0.009	50	3	0.00073948	0.0000024			7
HS Her	1.637434	0.0000002	57909.487	0.001	355.7	0.8	0.01961	0.3			7
V539 Ara	3.169085	0.00000007	45056.74674	0.00009	119.9	1.1	0.02025	0.00022	0.00129		9
V335 Ser	3.449874	0.0000012	50304.42685	0.00011	47.2	1.6	0.00315	0.00012	0.00061		9
GG Lup	1.8496	0.0000015	46136.7448	0.00001	86.12	0.15	0.018	0.0005	0.00131		8
V526 Sgr	1.919412	0.00000008	47739.6517	0.0002	254.9	0.1	0.01219	0.00003	0.00093		8
AO Vel	1.584621	0.0000007	45043.67	0.0003	97.1	0.1	0.0287	0.0003	0.00161		8
V1103 Cas	6.177627	0.00000034	54472.43925	0.0002	284,423	0.001	0.007154	0.00005	0.0008795	0.000034	10
SMC-ECL-0273	1.602491	0.000006	55001.539	0.001	116	4	0.06857477	0.00245693			10
SMC-ECL-0286	3.396074	0.000007	55003.4038	0.001	88	2	0.03691284	0.00148767			10
SMC-ECL-0391	3.399923	0.000013	55001.2617	0.0014	36	6	0.0220611	0.00297871			10
SMC-ECL-0481	4.241589	0.000006	55003.9739	0.0006	153	4	0.01614184	0.00092903			10
SMC-ECL-0665	2.533936	0.000006	55002.4193	0.0006	124	2	0.01727447	0.00166501			10
SMC-ECL-0678	2.856128	0.000005	55002.6053	0.0013	149	1	0.02361535	0.00125114			10
SMC-ECL-0834	2.781443	0.000012	55001.9925	0.0011	34	1	0.04576721	0.00296992			10
SMC-ECL-0938	4.937516	0.000005	55000.4685	0.0009	110	2	0.008922	0.00054073			10
SMC-ECL-1041	1.928686	0.00001	55001.7817	0.0013	63	3	0.05291015	0.00374912			10
SMC-ECL-1042	2.465385	0.000038	55000.505	0.0011	48	2	0.05703629	0.01113726			10
SMC-ECL-1133	2.383556	0.000007	55000.491	0.0006	240	5	0.02101314	0.00195775			10
SMC-ECL-1167	4.086291	0.000008	55000.2873	0.0008	30	2	0.01599835	0.00134252			10
SMC-ECL-1189	2.483882	0.000001	55001.0072	0.0007	70	4	0.00360426	0.00034002			10
SMC-ECL-1196	2.594678	0.000002	55002.1673	0.0007	105	6	0.03210936	0.00049727			10
SMC-ECL-1214	1.946716	0.000004	55001.497	0.0008	73	9	0.02771505	0.00138575			10
SMC-ECL-1278	2.316402	0.000015	55001.9586	0.0006	139	5	0.08491889	0.00456621			10
SMC-ECL-1370	1.699614	0.000009	54999.9894	0.0016	182	5	0.05830572	0.00358303			10
SMC-ECL-1545	3.610734	0.000006	55002.122	0.0011	124	3	0.0295581	0.00108742			10
SMC-ECL-1607	2.516993	0.000007	55001.9791	0.0006	104	6	0.04065779	0.00192952			10
SMC-ECL-1634	2.172873	0.000005	55001.1124	0.0008	136	2	0.03581299	0.0017847			10
SMC-ECL-1670	1.907813	0.000005	55001.8999	0.0015	331	4	0.02423615	0.00167146			10
SMC-ECL-1699	3.337852	0.000006	55001.6965	0.0012	105	4	0.00913854	0.00118801			10
SMC-ECL-1709	2.200136	0.000035	55000.4724	0.0017	5	9	0.02897373	0.01132445			10
SMC-ECL-1903	3.942682	0.000009	55002.2416	0.0015	243	3	0.01694733	0.00161917			10
SMC-ECL-1947	2.401342	0.00002	55002.2972	0.0008	87	3	0.0604198	0.00604855			10
SMC-ECL-1961	1.865556	0.000001	55001.7023	0.0008	266	4	0.01511854	0.00045969			10
SMC-ECL-2256	3.688373	0.000004	55003.6971	0.0005	55	1	0.01141098	0.00080786			10
SMC-ECL-2290	6.833784	0.000009	55003.5586	0.0008	61	3	0.00860655	0.00093549			10
SMC-ECL-2361	2.312142	0.000017	55000.123	0.0004	109	2	0.07457093	0.00519085			10
SMC-ECL-2384	2.355919	0.000008	55001.4553	0.0019	309	3	0.01838294	0.00225755			10
SMC-ECL-2454	1.717993	0.000003	55000.8224	0.001	131	8	0.01792075	0.00126997			10
SMC-ECL-2605	6.354359	0.000009	55003.1976	0.0005	76	3	0.03705622	0.00086986			10
SMC-ECL-2744	2.243211	0.000009	55000.2718	0.0008	87	4	0.03789353	0.00276371			10
SMC-ECL-2753	1.644985	0.000001	55000.2752	0.0007	289	6	0.01369132	0.00045037			10
SMC-ECL-2762	1.761061	0.000009	55000.985	0.0008	344	7	0.0440205	0.00361614			10
SMC-ECL-2865	2.219812	0.000059	55002.0761	0.001	183	8	0.0454598	0.01896184			10
SMC-ECL-3006	5.353413	0.000006	55002.1597	0.0006	28	3	0.01612253	0.00087941			10
SMC-ECL-3035	2.34289	0.000006	55001.5582	0.001	128	3	0.03855104	0.00173191			10
SMC-ECL-3071	2.562812	0.000014	55001.0986	0.0014	58	6	0.01522602	0.00392929			10
SMC-ECL-3118	2.585575	0.000014	55000.1845	0.0009	125	6	0.05351662	0.00375183			10

Çizelge 1 – devamı. Kaynaklar: **(10)**Hong ve diğ. (2016), **(11)**Kolář ve diğ. (2023), **(12)**Pavlovski ve diğ. (2011), **(13)**Wolf ve diğ. (2006), **(14)**Wolf ve diğ. (2011), **(71)**Bozkurt (2000), **(72)**Kozyreva ve diğ. (1999), **(86)**Kim ve diğ. (2018).

Sistem	P_s (gün)	$d(P_s)$	T_0	$d(T_0)$	ω	$d(\omega)$	$\dot{\omega}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega})$ ($\times 10^6$)	$\dot{\omega}_{rel}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega}_{rel})$ ($\times 10^6$)	Kaynak
SMC-ECL-3200	2.479641	0.000001	55001.4855	0.001	105	4	0.01378144	0.00013578			10
SMC-ECL-3219	2.314064	0.000007	55002.2578	0.0007	84	6	0.03788666	0.0022808			10
SMC-ECL-3310	2.701522	0.000008	54999.9618	0.0009	161	9	0.02477782	0.00214495			10
SMC-ECL-3346	2.508743	0.000002	55002.2633	0.0011	74	2	0.01229473	0.00061817			10
SMC-ECL-3403	1.686144	0.000006	55001.149	0.0012	147	6	0.0379469	0.00253903			10
SMC-ECL-3626	2.076496	0.000004	55001.8271	0.0015	64	4	0.03604376	0.00130758			10
SMC-ECL-3731	2.012744	0.000005	55001.3253	0.0011	65	3	0.04391942	0.00170828			10
SMC-ECL-3772	3.11121	0.000011	55000.274	0.0011	98	3	0.02640589	0.00221469			10
SMC-ECL-3780	3.593279	0.000006	55000.255	0.0008	65	3	0.01082165	0.00108216			10
SMC-ECL-3833	1.774831	0.000003	55000.1179	0.0016	232	7	0.04353863	0.0012634			10
SMC-ECL-4169	2.613741	0.000008	55000.7171	0.0008	283	6	0.04730138	0.00228993			10
SMC-ECL-4187	3.207519	0.000003	55000.7198	0.0012	44	7	0.01686088	0.00079035			10
SMC-ECL-4195	1.863677	0.000029	55001.7417	0.0016	50	6	0.06837309	0.01112338			10
SMC-ECL-4204	1.889967	0.000009	55000.3093	0.0008	341	4	0.02939086	0.00331165			10
SMC-ECL-4216	1.833665	0.000008	55000.173	0.0023	302	4	0.03760206	0.00301218			10
SMC-ECL-4272	5.477015	0.000007	55002.5806	0.0019	88	5	0.01754444	0.00059981			10
SMC-ECL-4309	3.252136	0.000002	55000.1406	0.0007	135	3	0.01665022	0.00026712			10
SMC-ECL-4313	3.723047	0.000004	54999.8308	0.0016	153	7	0.0220172	0.00071352			10
SMC-ECL-4340	1.54401	0.000017	55000.6575	0.0014	194	6	0.05102314	0.00777817			10
SMC-ECL-4398	1.907976	0.000013	55001.5904	0.0013	162	5	0.04403624	0.00491033			10
SMC-ECL-4408	2.154013	0.000008	55001.1786	0.0014	149	5	0.02040489	0.00241792			10
SMC-ECL-4566	4.80186	0.00002	55001.0145	0.0015	114	2	0.03444455	0.00289229			10
SMC-ECL-4613	1.927898	0.000006	55001.1529	0.0014	107	4	0.03642025	0.00205854			10
SMC-ECL-4681	2.322652	0.000003	55000.1504	0.0015	137	3	0.03338514	0.00101745			10
SMC-ECL-4718	5.179781	0.000008	55000.5586	0.0012	119	2	0.00567259	0.00085089			10
SMC-ECL-4789	3.148961	0.000004	55001.1444	0.0011	51	4	0.02396745	0.00094835			10
SMC-ECL-4848	2.687018	0.000011	55001.9887	0.0017	111	9	0.01905373	0.0028691			10
SMC-ECL-4863	4.674637	0.000046	55003.9129	0.0023	36	7	0.03993119	0.00716714			10
SMC-ECL-4909	2.275898	0.00001	55000.0397	0.0016	102	3	0.02249416	0.00286629			10
SMC-ECL-4927	3.070733	0.000188	55002.5816	0.0021	233	8	0.13998003	0.04354934			10
SMC-ECL-4946	1.916088	0.00001	55000.7321	0.0017	92	3	0.02392159	0.00361971			10
SMC-ECL-5063	4.253295	0.000061	55003.1271	0.0018	353	4	0.04844273	0.01013105			10
SMC-ECL-5093	2.926367	0.000009	55000.9218	0.0008	47	4	0.03461165	0.00216323			10
SMC-ECL-5103	1.537221	0.000033	55000.1428	0.0021	197	5	0.04448577	0.01527751			10
SMC-ECL-5235	2.87121	0.000009	55001.4081	0.0017	256	3	0.03977638	0.00220106			10
SMC-ECL-5247	2.321428	0.000004	55000.262	0.0015	121	2	0.02529578	0.00101692			10
SMC-ECL-5382	2.261634	0.000022	55001.01	0.0013	11	9	0.02656375	0.00693506			10
SMC-ECL-5428	2.311875	0.000015	55000.0331	0.0022	162	5	0.02519168	0.00455729			10
SMC-ECL-5441	3.595292	0.000007	55000.9189	0.0014	106	2	0.0160447	0.00127964			10
SMC-ECL-5483	3.103263	0.000014	55002.783	0.0009	29	6	0.02353467	0.00331355			10
SMC-ECL-5555	2.12944	0.000011	55000.5708	0.0025	266	5	0.01824818	0.00343975			10
SMC-ECL-5660	3.5129	0.000021	55002.9457	0.0016	27	4	0.02192857	0.00471272			10
SMC-ECL-5747	2.675035	0.000007	55001.2833	0.0014	155	6	0.02534051	0.00175772			10
SMC-ECL-5806	2.339658	0.000009	55001.29	0.0013	101	5	0.03068299	0.00275442			10
SMC-ECL-5953	1.845591	0.000067	55000.8019	0.0019	199	6	0.06199973	0.02597218			10
SMC-ECL-5978	2.65044	0.000033	55001.9822	0.0046	57	4	0.05921312	0.0093609			10
SMC-ECL-6029	1.088609	0.000061	55000.9412	0.0028	289	12	0.10109683	0.03946114			10
SMC-ECL-6059	1.712048	0.000021	55000.2328	0.0024	177	8	0.02151485	0.0089528			10
SMC-ECL-6128	3.452971	0.000014	55000.6241	0.0024	307	4	0.01200622	0.00217436			10
GX Lac	6.355242	0.00000001	56495.46066	0.00004							11
TT Lyr	5.243733	0.0000008	54357.4341	0.0007							11
OGLE LMC-ECL-7641	6.32964	0.00002	56963.6352		93.8	0.7	0.0212	0.001			11
OGLE-ECL-17660	6.22893	0.00002	57004.92594		123	5	0.009	0.002			11
OGLE-ECL-17411	5.33485	0.00002	49340.5146		223.5	0.6	0.0244	0.0003			11
AS Cam	3.430967	0.0000023	40204.4043	0.0003	241.5	1.9	0.00124933	9.39E-01	0.00090459	1.88E-02	12;71;72; 86
CW Cep	2.72914	0.00000011	41669.5722	0.0005	201.6	0.5	0.0582	0.0005	0.00225	0.05595	13
V478 Cyg	2.880901	0.00000008	44777.4852	0.0007	48.3	0.5	0.1047	0.001	0.00277	0.10193	13;86
AG Per	2.02873	0.00000012	42728.3306	0.0007	292.4	0.8	0.0262	0.0004	0.00161	0.02459	13;86
IQ Per	1.743562	0.00000008	44290.3644	0.0004	62.8	0.4	0.0138	0.0003	0.00114	0.01266	13
V785 Cas	2.702515	0.0000007	52218.3305	0.0007	159.6	0.4	0.0332	0.0006			14
V821 Cas	1.769739	0.00000008	47964.1801	0.0006	116.6	0.7	0.0124	0.0009	0.00091		14

Çizelge 1 – devamı. Kaynaklar: (14)Wolf ve diğ. (2011), (15)Sowell ve diğ. (2012), (16)Gallenne ve diğ. (2019), (17)Lacy ve diğ. (2005), (18)Torres ve diğ. (2014), (19)Milone ve diğ. (2010), (20)Anderson ve diğ. (1987), (21)Torres ve diğ. (2017), (22)Torres ve diğ. (2009), (23)Lacy ve diğ. (2004), (24)Tomkin & Fekel (2006), (25)Sandberg Lacy & Fekel (2014), (26)Anderson & Vaz (1984), (27)Torres ve diğ. (2015), (28)Torres ve diğ. (2000), (29)Sandberg Lacy ve diğ. (2006), (30)Claret & Willems (2002), (37)Anderson ve diğ. (1983), (38)Gimenez ve diğ. (1986), (41)Wolf (2000), (45)Claret & Gimenez (1993), (51)Clausen (1996), (52)Wolf & Zejda (2005), (55)Bozkurt & Değirmenci (2007), (57)Albrecht ve diğ. (2009), (58)Popper (1982), (59)Marcussen & Albrecht (2022), (60)Anderson & Winn (2022), (62)Claret & Gimenez (2010), (66)Rosu ve diğ. (2022), (68)Gimenez & Garcia-Pelayo (1983), (69)Rauw ve diğ. (2016), (70)Kozyreva ve diğ. (2005), (71)Bozkurt (2000), (75)Wolf ve diğ. (2001), (76)Değirmenci ve diğ. (2003), (79)Wolf & Diethelm (1999), (80)Bozkurt & Değirmenci (2002), (81)Alencar ve diğ. (1997), (84)Bozkurt (2006), (85)Zasche ve diğ. (2014), (86)Kim ve diğ. (2018).

Sistem	P_s (gün)	$d(P_s)$	T_0	$d(T_0)$	ω	$d(\omega)$	$\dot{\omega}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega})$ ($\times 10^6$)	$\dot{\omega}_{rel}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega}_{rel})$ ($\times 10^6$)	Kaynak
V796 Cyg	1.480869	0.00000015	52434.1014	0.0007	2	0.4	0.044	0.001			14
V398 Lac	5.406056	0.0000008	53577.4281	0.0008	222.4	0.8	0.0122	0.001	0.00069		14
V871 Per	3.023882	0.0000005	51421.5607	0.0005	144.8	0.4	0.0418	0.0008			14
KX Cnc	31.219787	0.00000014	56910.0768		63.76		0.000131	0.00001	0.00012127	0.00000016	15
AL Dor	14.90537	0.00002	58368.7277		107.45		0.000163	0.000006	0.00015838	0.00000003	16
RW Lac	10.36921	0.00068	18657.4008	0.0023	235	51	0.00114	0.00024			17; 86
V530 Ori	6.110778	0.0000002									18
HP Dra	10.7615	0.0002									19
TZ Men	8.568991	0.000054	42403.7495	0.0003	294.9	0.2	0.0099	0.0016			86; 20
V541 Cyg	15.337899	0.0000007	50817.976		262.72		0.000352	0.000004	0.0003124	0.0000012	21;86
LV Her	18.435954	0.000002									22
V459 Cas	8.458254	0.00000019	54815.5698		240.32		0.00065	0.0001	0.0003297	0.0000023	23;86
RR Lyn	9.94508	0.00006									24
V501 Her	8.597687	0.000001	55648.5943		250.1		0.00041	0.0002	0.00024	0.0000003	25
KW Hya	7.750469	0.000006	53430.9533		225.29		0.00045	0.00007	0.0003211	0.0000019	16;26
V501 Mon	7.021208	0.000001	58477.9808		232.79		0.00046	0.00011	0.0003219	0.0000003	27
GG Ori	6.631494	0.0000017	51952.4777		122.89		0.00061	0.00003	0.0004541	0.0000016	28
EY Cep	7.971488	0.000006	58836.4248		110.14		0.000507	0.000012	0.000354	0.0000014	29;86
DI Her	10.550167	0.000022	42234.892	0.094	344	11	0.00077	0.00061	0.00068		57;58;59; 60;62;86
QX Car	4.477973	0.00000093	40701.2258	0.01	117.1	0.04	0.013561	0.000055	0.00147		30;37;38; 86
uc0u950 Phe	1.66977	0.0116	41643.7084	0.0055	43.5	0.9	0.02246	0.00018	0.00134		52;51;45; 37;86;
HD 152219	4.24046	0.00005	53200.28	0.003	164.1	2.6	0.01390848	0.00348292			66
GL Car	2.422233	0.0000018	25475.5655	0.0011	137.1	0.7	0.09441	0.0003			68; 86
HD 152218	5.60447	0.00014	53130.009	0.041	105	2.9	0.03	0.009			69
HP Aur	1.442										70
TV Cet	9.10329	0.0000002	52873.5255	0.0002	113	5.5	0.00036	0.00017	0.00024		75;84;55
V477 Cyg	2.346978	0.0000001	50988.2321	0.0004	166	0.3	0.00544	0.00004	0.00074		76;55
RU Mon	3.585		38409.5755	0.0003	71.08	0.06	0.010131	0.000026			71; 79; 86
U Oph	1.677346	0.00000003	44416.3871	0.0005	158.3	6.8	0.07991	0.0016	0.00173		71;80;55
V906 Sco	2.786										81
YY Sgr	2.628474	0.00000035	19467.0395	0.0008	119.8	0.4	0.00871	0.000034			71;41;86
DR Vul	2.251268	0.0000021	46274.71	0.01	72.6	1.5	0.06143	0.00033	0.00275		71;79;55
MACHO 213.15620.12	6.052322	0.000048	53803.39	0.021	67.6	5	0.207	0.03			85
MACHO 212.15624.89	3.299923	0.000048	52745.417	0.032	244.4	10.3	0.0301	0.0037			85
MACHO 212.15680.18	1.918337	0.000011	53470.954	0.015	89.3	4.7	0.0474	0.0193			85
MACHO 208.15744.1836	1.162112	0.0000018	53090.7643	0.0035	94.5	7.8	0.0601	0.0069			85
MACHO 212.15848.1258	1.753212	0.0000099	53501.194	0.014	130	4.2	0.0677	0.0093			85
MACHO 208.15861.734	2.100755	0.000011	53470.497	0.013	115.9	3.9	0.0427	0.012			85
MACHO 208.16083.86	3.291316	0.00002	53470.314	0.015	91.9	2.6	0.0258	0.0042			85
MACHO 208.16084.117	1.491721	0.000008	53089.914	0.01	291.9	8.8	0.0351	0.0121			85
OGLE II SC6 61418	2.336038	0.000033	54179.695	0.025	99.8	5.6	0.0484	0.0132			85
MACHO 208.16141.60	2.169236	0.000023	53471.664	0.024	81.5	6.5	0.0475	0.0092			85
MACHO 208.16147.22	2.296738	0.0000072	53277.1246	0.0072	265	3.4	0.0357	0.0057			85
MACHO 207.16428.1423	4.330333	0.00008	53280.315	0.041	238.1	9.9	0.03	0.0063			85
MACHO 207.16490.6	5.241539	0.000117	53278.036	0.052	40.2	4.6	0.0554	0.0133			85
OGLE II SC8 160725	3.104291	0.000017	53277.2672	0.0075	92.9	4	0.0476	0.0165			85
MACHO 206.16886.52	2.772183	0.000053	54022.771	0.052	143.3	5	0.0239	0.0084			85
MACHO 206.17061.14	5.068362	0.000103	52746.459	0.045	7	8.7	0.1915	0.0321			85
MACHO 206.17170.8	3.040295	0.000031	53656.966	0.026	318.1	6	0.0301	0.0083			85
MACHO 206.17173.10	2.886936	0.000009	53478.7191	0.0072	129.6	3.4	0.0747	0.0214			85
PP Aps	4.279823	0.000041	48503.2737	0.03	98.5	0.8	0.0218	0.0024			86

Çizelge 1 – devamı. Kaynaklar: (85)Zasche ve diğ. (2014), (86)Kim ve diğ. (2018).

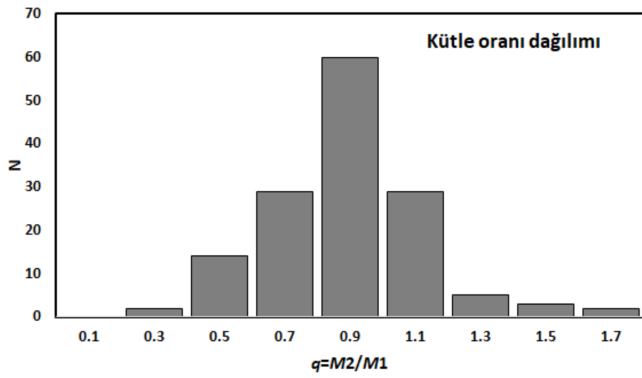
Sistem	P_s (gün)	$d(P_s)$	T_0	$d(T_0)$	ω	$d(\omega)$	$\dot{\omega}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega})$ ($\times 10^6$)	$\dot{\omega}_{rel}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega}_{rel})$ ($\times 10^6$)	Kaynak
BW Aqr	6.719696	0.00000023	39680.4601	0.01	100.6	0.01	0.001098	0.000008			86
LL Aqr	20.178294	0.00000096	48760.907	0.14	155.46	0.08	0.000199	0.0048			86
V871 Aql	2.952667	0.00000031	38637.1658	0.08	168.4	1.9	0.01287	0.00027			86
V1665 Aql	3.881746	0.00000049	52810.7272	0.05	124.4	0.1	0.01662	0.00031			86
AG Ari	1.963128	0.00000012	54033.3259	0.01	110.3	0.1	0.01173	0.00014			86
WW Cam	2.274363	0.00000086	39403.5546	0.02	119.9	0.6	0.00634	0.00096			86
V534 Cam	3.014237	0.0000014	51497.1695	0.02	18.9	1.8	0.037	0.012			86
SW CMa	10.091973	0.00000032	26705.2803	0.04	167.5	0.1	0.006747	0.000087			86
TZ CMa	3.822868	0.0000045	55140.7559	0.35	289	56	0.00133	0.00042			86
AR CMa	2.332225	0.0000034	51869.9099	0.02	110.7	0.2	0.0186	0.0038			86
CV CMa	3.628286	0.00000028	28044.5594	0.11	174.2	1.4	0.01122	0.00021			86
KL CMa	1.762214	0.000000031	48170.3045	0.1	59.1	0.1	0.023767	0.000045			86
LT CMa	1.759523	0.000000099	48388.5412	0.02	78.9	0.4	0.03212	0.00014			86
V388 CMa	2.982741	0.0000036	53067.7537	0.32	72	12	0.0088	0.0019			86
AV CMi	2.277752	0.0000064	52500.6147	0.04	193.3	2.2	0.00929	0.00073			86
EM Car	3.414275	0.0000015	45038.8131	0.01	24.3	1.5	0.0511	0.0011			86
V466 Car	3.455834	0.00000018	48036.7444	0.03	194.8	0.4	0.02062	0.00013			86
V529 Car	4.744573	0.00000061	48157.3801	0.12	31.2	0.5	0.01893	0.00033			86
AR Cas	6.066312	0.00000015	40063.9101	0.03	35.1	0.3	0.005271	0.000067			86
IT Cas	3.896649	0.0000001	28762.5245	0.03	328.9	0.4	0.00171	0.000067			86
MU Cas	9.652939	0.0000067	51877.1784	0.11	345.4	0.7	0.00603	0.000018			86
PV Cas	1.75047	0.000000066	40227.387	0.01	177.4	0.5	0.019509	0.000096			86
V381 Cas	1.745943	0.00000015	44546.2827	0.02	269.7	1.3	0.08707	0.000022			86
V775 Cas	5.390159	0.0000021	48766.4536	0.1	353.9	1.2	0.0051	0.001			86
V799 Cas	7.702933	0.000000091	48500.3927	0.03	230.89	0.02	0.006016	0.000023			86
V1018 Cas	4.127759	0.0000046	51601.488	0.11	125	13	0.0058	0.0029			86
V1137 Cas	4.158989	0.0000089	54763.3492	0.01	57.8	3.8	0.0393	0.0055			86
V1141 Cas	6.909275	0.00000041	51542.5194	0.02	129.3	0.07	0.15536	0.00015			86
KT Cen	4.130438	0.00000018	41696.0724	0.06	214	0.4	0.01059	0.00011			86
V636 Cen	4.283947	0.000000037	34540.3604	0.03	278.91	0.08	0.000961	0.00002			86
V1087 Cen	5.049645	0.00000018	50563.5959	0.3	275.24	0.02	0.040667	0.000068			86
V397 Cep	2.086824	0.00000012	48501.2685	0.02	20.5	0.8	0.01019	0.00015			86
V698 Cep	6.618513	0.0000068	50421.1608	0.58	204.9	9.6	0.0084	0.0027			86
V734 Cep	3.76596	0.0000012	51482.7078	0.33	72	17	0.0033	0.0012			86
V898 Cep	2.874764	0.0000042	51366.3811	0.03	166.3	0.3	0.00971	0.00039			86
V919 Cep	1.851982	0.0000028	51295.7813	0.03	181	1.2	0.02576	0.00039			86
V957 Cep	1.988734	0.0000048	51504.7302	0.02	315.4	0.7	0.01225	0.00062			86
V961 Cep	7.03847	0.0000017	51442.655	0.02	180.9	6.4	0.0107	0.0024			86
alf CrB	17.35991	0.0000049	23165.4584	0.0021	309.84	0.08	0.000837	0.000056			86
VV Crv	3.144516	0.00000025	56045.7141	0.0001	256.1	0.7	0.01869	0.00019			86
Y Cyg	2.996331	1.30E-08	46308.3107	0.0001	132.5	0.2	0.061714	0.000011			86
MY Cyg	4.005188	0.00000034	41559.5996	0.0001	110.7	0.5	0.00213	0.00021			86
V380 Cyg	12.425608	0.0000031	41256.0394	0.0047	134	2.1	0.00968	0.00066			86
V453 Cyg	3.889819	0.00000016	39340.1154	0.0001	301.2	0.3	0.04336	0.0001			86
V490 Cyg	1.140237	0.00000011	51491.5924	0.0001	344.3	0.8	0.06036	0.00025			86
V1136 Cyg	3.462758	0.00000017	35453.484	0.0019	32.7	0.12	0.00579	0.00014			86
V1143 Cyg	7.640741	0.000000028	48410.0562	0.0001	48.76	0	0.000781	0.000012			86
V1147 Cyg	15.251321	0.00000011	34120.2429	0.0004	51.34	0.02	0.00015	0.00017			86
V1326 Cyg	16.68178	0.000079	28391.269	0.043	122	96	0.003	0.012			86
V2094 Cyg	8.480341	0.000072	54969.469	0.011	319	45	0.0021	0.0011			86
V2544 Cyg	2.093766	0.00000013	55004.4892	0.0001	342.9	0.2	0.04631	0.00016			86
V2647 Cyg	5.855308	0.0000011	53670.7767	0.0003	176.6	0.2	0.01631	0.00049			86
BY Del	10.0342	0.000013	25830.3751	0.0031	101.7	0.72	0.0261	0.0034			86
BF Dra	11.210992	0.000000067	47276.3401	0.0002	93.27	0.01	0.000473	0.000017			86
V410 Gem	3.470335	0.0000034	51548.8122	0.0019	68.8	0.39	0.0139	0.0025			86
Al Hya	8.28967	0.000000092	41726.088	0.0003	245.91	0.03	0.001805	0.000026			86
OZ Hya	2.048766	0.00000011	51983.9427	0.0002	232.8	0.3	0.00673	0.00013			86
CH Ind	5.95258	0.000014	52854.935	0.0014	301	81	0.00138	0.00083			86
CO Lac	1.542207	0.000000029	27534.0756	0.0002	165.9	0.8	0.035149	0.000048			86
CY Lac	8.360538	0.00000034	54098.8707	0.0002	31.83	0.03	0.00533	0.0001			86
ES Lac	4.4594	0.00000014	34240.5644	0.0004	306.4	0.3	0.013922	0.000079			86
MZ Lac	3.15879	0.00000012	38264.5464	0.0025	57.7	0.8	0.00485	0.00012			86

Çizelge 1 – devamı. Kaynaklar: (86)Kim ve diğ. (2018).

Sistem	P_s (gün)	$d(P_s)$	T_0	$d(T_0)$	ω	$d(\omega)$	$\dot{\omega}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega})$ ($\times 10^6$)	$\dot{\omega}_{rel}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega}_{rel})$ ($\times 10^6$)	Kaynak
OT Lac	5.149863	0.0000019	56927.8591	0.0003	180.6	0.3	0.049962	0.000095			86
V339 Lac	3.408522	0.000014	34006.0536	0.0012	247.6	0.67	0.0493	0.0011			86
V364 Lac	7.351537	0.00000036	44257.3666	0.0001	83.6	0.1	0.001947	0.000011			86
V401 Lac	1.950092	0.0000014	48501.8792	0.0002	38.5	0.6	0.01586	0.00019			86
V498 Mon	2.47277	0.0000035	33221.747	0.0006	156.9	0.29	0.03815	0.00036			86
V578 Mon	2.408486	0.00000041	54469.0793	0.0001	127.8	0.1	0.073988	0.000044			86
V684 Mon	1.851421	0.0000016	54153.5377	0.0001	171.9	0.6	0.01918	0.00021			86
V730 Mon	1.572319	0.0000007	48502.7455	0.0002	241.6	0.3	0.02569	0.00011			86
GM Nor	1.884577	0.0000024	41696.9087	0.0004	164	2.2	0.02673	0.00033			86
GN Nor	5.703454	0.0000061	25720.3299	0.0012	135.7	0.3	0.0116	0.0028			86
V451 Oph	2.196597	0.0000041	44834.3611	0.0001	246.5	0.9	0.01292	0.00047			86
V2626 Oph	10.87431	0.0000076	52787.4983	0.0002	244.43	0.03	0.00951	0.0002			86
EW Ori	6.936845	0.0000012	27543.4613	0.0004	307.5	0.2	0.000451	0.000044			86
FT Ori	3.150393	0.00000034	41349.0192	0.0005	21.5	0.2	0.005841	0.000031			86
V642 Ori	9.185527	0.0000092	27126.003	0.013	103	21	0.00258	0.00073			86
uc0u55349 u57087 Ori	5.732432	0.0000081	43872.5941	0.0003	105.3	0.3	0.01669	0.00036			86
BK Peg	5.489908	0.000018	41587.7276	0.0003	92.3	0.21	0.01403	0.00085			86
IM Per	2.254227	0.0000072	33541.3792	0.0006	317.6	0.76	0.01424	0.00082			86
SY Phe	5.270884	0.0000056	54163.2641	0.0001	208.6	0.22	0.0911	0.0027			86
KX Pup	2.146798	0.0000011	41686.8054	0.0014	302.5	0.8	0.00974	0.00013			86
LN Pup	3.951129	0.0000032	27803.3012	0.0025	60.9	0.15	0.02234	0.0002			86
NO Pup	1.25688	0.00000022	41361.8145	0.0001	3.4	0.4	0.032859	0.000046			86
V358 Pup	6.79391	0.00097	52503.6027	0.0003	114	55	0.0048	0.0021			86
V366 Pup	2.483981	0.00000074	47860.4656	0.0006	61.9	0.2	0.011058	0.000088			86
V399 Pup	3.910126	0.00000084	47889.8276	0.0002	56.94	0.07	0.039804	0.000055			86
V596 Pup	4.596175	0.0000016	44620.6173	0	108.65	0.02	0.001845	0.000086			86
TZ Pyx	2.318552	0.000012	52226.7765	0.0001	297.6	0.11	0.0998	0.0013			86
V523 Sgr	2.323813	0.00000049	15971.5678	0.0006	274.3	0.9	0.011071	0.000055			86
V1647 Sgr	3.2828	0.0000004	41829.2399	0.0007	211.3	0.3	0.004394	0.000035			86
V2283 Sgr	3.471422	0.00000069	38948.4924	0.0008	2.5	0.2	0.006411	0.000057			86
V385 Sco	4.690243	0.0000025	53268.2494	0.0002	147.8	0.7	0.0049	0.0013			86
V629 Sco	3.249119	0.0000083	53626.9294	0.0001	320.7	0.3	0.1261	0.0067			86
V760 Sco	1.730934	0.0000012	43250.8363	0.0001	311.2	0.6	0.04586	0.00017			86
V883 Sco	4.341177	0.0000057	53685.1893	0.0001	338.8	0.3	0.02692	0.00034			86
V1270 Sco	4.24316	0.00012	52441.5905	0.0047	102	21	0.00713	0.00069			86
CR Sct	4.192346	0.0000019	28719.4993	0.0016	70.6	0.8	0.000605	0.000078			86
V413 Ser	2.259757	0.0000009	49038.8373	0.0002	81.9	0.3	0.04078	0.0001			86
V1154 Tau	1.767903	0.0000018	53064.1259	0.0001	208.4	0.6	0.03472	0.00026			86
MN Tra	2.37982	0.000005	48006.305	0.003	203.3	0.21	0.01268	0.00054			86
ET Vel	3.080883	0.000002	29778.2106	0.0015	260.8	0.12	0.02058	0.00016			86
GT Vel	4.670076	0.0000069	41689.3159	0.0006	18.4	0.21	0.00748	0.00038			86
PT Vel	1.802024	0.0000045	48293.47	0.03	260.9	0.7	0.00901	0.00064			86
BP Vul	1.940346	0.0000013	46003.2323	0.0001	145.4	0.8	0.00656	0.00017			86
EQ Vul	9.297147	0.000006	35343.8116	0.0033	198.9	0.8	0.00688	0.00018			86
FQ Vul	6.262691	0.0000046	34238.4546	0.0018	268.43	0.09	0.00777	0.00022			86
V495 Vul	1.635132	0.0000023	54651.5002	0.0001	2	3	0.01918	0.00026			86
2MASS J04370204+4205520	1.454719	0.0000056	52500.9459	0.0002	301.7	0.12	0.2299	0.0099			86
2MASS J07251501-1135496	4.509982	0.000073	53368.881	0.016	222	42	0.0053	0.0025			86
2MASS J11292643-6201579	3.224771	0.000016	52500.6313	0.0003	127.8	0.2	0.0692	0.0012			86
2MASS J16111795+3307131	8.2837	0.0012	52503.5747	0.0047	297	32	0.0325	0.0058			86
2MASS J19033272+3941003	2.189105	0.0000021	52500.3152	0.0002	328.2	0.2	0.01858	0.00025			86
2MASS J20020438+4734147	5.5989	0.0025	52501.9431	0.0032	274.3	0.7	0.168	0.013			86
AL Ari	3.747462	0.000053	51112.83	0.15	72.2	0.3	0.00059	0.0001			86
CG Aur	1.804859	0.0000059	27148.868	0.0023	169	10	0.01038	0.00085			86
BW Boo	3.332818	0.0000096	40362.725	0.013	190	29	0.00129	0.00026			86
V493 Car	3.229516	0.000047	47945.828	0.009	16.1	0.6	0.01579	0.00021			86
OX Cas	2.489349	0.000014	46733.7639	0.0083	203.9	0.9	0.0658	0.00026			86
V346 Cen	6.321988	0.0000034	21966.933	0.0044	273.24	0.09	0.020354	0.000004			86
V974 Cyg	3.204413	0.0000059	35019.3607	0.0004	202	6	0.00306	0.00048			86
V994A Her	2.083265	0.0000067	48501.1424	0.0003	308.6	2.9	0.01775	0.00082			86
V994B Her	1.42004	0.0000015	55375.4586	0.0001	309.1	0.9	0.0112	0.00027			86
V345 Lac	7.491915	0.000016	31343.539	0.025	245	32	0.00089	0.00013			86

Çizelge 1 – devamı. Kaynaklar: (86)Kim ve diğ. (2018).

Sistem	P_s (gün)	$d(P_s)$	T_0	$d(T_0)$	ω	$d(\omega)$	$\dot{\omega}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega})$ ($\times 10^6$)	$\dot{\omega}_{rel}$ ($\times 10^6$)	$d(\dot{\omega}_{rel})$ ($\times 10^6$)	Kaynak
AO Mon	1.884763	0.0000032	40588.3305	0.0004	260.4	3	0.05172	0.00044			86
V521 Mon	2.970671	0.00000075	33008.4033	0.001	270.2	0.5	0.014911	0.000063			86
V456 Oph	1.016001	0.00000086	53923.935	0.0001	359.9	0.8	0.04324	0.00022			86
V577 Oph	6.079092	0.0000051	47406.372	0.029	51.67	0.04	0.001172	0.00007			86
V2783 Ori	4.216169	0.000054	52946.8915	0.0065	49	13	0.0111	0.0015			86
PV Pup	1.660727	0.0000043	43119.7156	0.0005	147.4	2.6	0.00678	0.00066			86
2MASS J04233735+2546360	3.21749	0.00011	53735.288'a0	0.016	45	17	0.0226	0.0052			86



Şekil 2 – devamı. Katalog yıldızlarının kütle oranlarının dağılımı.

3.5 Kütle oranı dağılımı

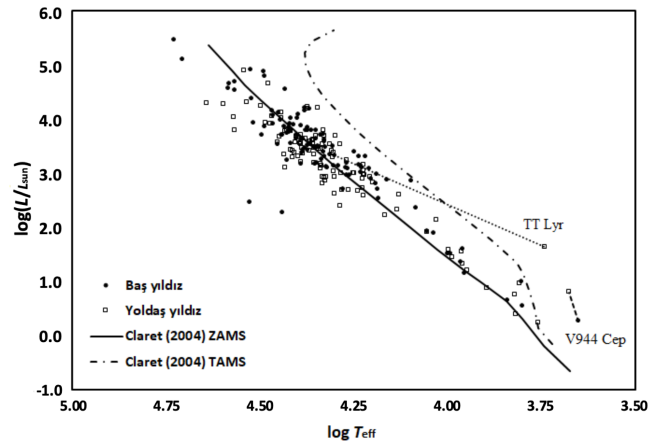
Sistemlerin 144'ünün kütle oranları elde mevcuttur. Söz konusu 144 sistemin kütle oranı dağılımı Şekil 2 devamında gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere kütle oranları $q=0.9$ civarında maksimuma sahip, tek tepeli ve düzgün bir dağılım göstermektedir. Genel olarak sistemlerin önemli bir kısmının $0.4 < q < 1.2$ aralığında toplandığı görülmektedir. Burada kütle oranı $q=m_2/m_1$ olarak tanımlanmıştır. Sistemlerin hemen hemen %75'inde sıcak bileşen daha büyük kütleli iken geriye kalan yaklaşık %25'inde ise soğuk bileşen daha büyük kütlelidir. Sonuç itibarıyla mevcut 144 sistemin kütle oranları $q=1$ civarında yığılma eğilimindedir.

4 Bulgular

Sıcaklık ve yarıçap değerleri bilinen 109 sistemin baş ve yoldaş bileşenlerinin HR diyagramındaki konumları elde edilerek Şekil 3'de gösterilmiştir. Kuramsal ZAMS ve TAMS çizgileri Claret (2004)'den alınmıştır. Görüleceği üzere sistemlerin hemen hepsi ZAMS civarında yer alan genç yıldızlardır. TT Lyr'in yoldaş bileşeni ile V944 Cep sistemin her iki bileşeninin de alt devler bölgesine evrimleşmiş oldukları görülüyor. Yarı ayrık bir sistem olan TT Lyr için normal gibi görünen durum, V944 Cep durumunda şüpheli görünmektedir. Şayet verilerinde bir hata yoksa V944 Cep sistemi her ikisi de anakola doğru büzülmekte olan bileşenlere sahip bir anakol öncesi sistem olmalıdır.

Katalog yıldızlarından 129'unda eksen dönmesinin rölativistik kısmı hesaplanabilmektedir. Eksen dönmesinin gözlenen açısal hızının fonksiyonu olarak rölativistik kısmın oransal katkısı ($\dot{\omega}_{rel}/\dot{\omega}$) Şekil 4 üst panelde verilmiştir. Eldeki verilere göre, oransal rölativistik katkı için

$$\frac{\dot{\omega}_{rel}}{\dot{\omega}} = 0.0065 \dot{\omega}^{-0.612} \quad (13)$$



Şekil 3. Katalogda yer alan çift sistemlerin bileşenlerinin HR diyagramındaki konumları. Sürekli (ZAMS) ve kesikli (TAMS) çizgileri Claret (2004)'den alınmıştır. Baş yıldızlar içi dolu çemberler ile, yoldaş bileşenler ise kareler ile gösterilmiştir.

şeklinde bir ilişki söz konusudur. Buna göre eksen dönme dönemi uzadıkça, rölativistik kısmın oranı büyümekte dolayısıyla klasik kısmın oransal katkısı küçülmektedir. V541 Cyg, KX Cnc ve AL Dor sistemlerinde eksen dönmesi neredeyse tamamıyla rölativistik nedenle iken V490 Sct ve TYC 5378-1590-1 sistemlerinde $\dot{\omega}_{rel}/\dot{\omega}$ oranı 1'den büyüktür. Bu nedenle söz konusu bu iki sistemin izleyen yıllarda yeniden değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Katalog yıldızlarının dolanma dönemlerinin fonksiyonu olarak yörünge dışmerkezlikleri ve eksen dönme dönemleri, sırasıyla Şekil 4 orta ve alt panellerde verilmiştir. Orta panelden de görüleceği üzere sistemler genel olarak küçük e ve P bölgesinde yığılma göstermektedirler. e ile P arasında belirgin bir ilişki olmamakla birlikte $P > 15$ gün olan sistemler arasında, dışmerkezliği 0.1'den küçük olan sistem bulunmamaktadır. Alt panelden de görüleceği üzere eksen dönmesi gösteren sistemler $P - \ln U$ düzleminde belli sınırlar içerisinde yer almaktalar. Bu bölge alt panelde el ile çizilerek gösterilmiştir.

5 Sonuç ve Tartışma

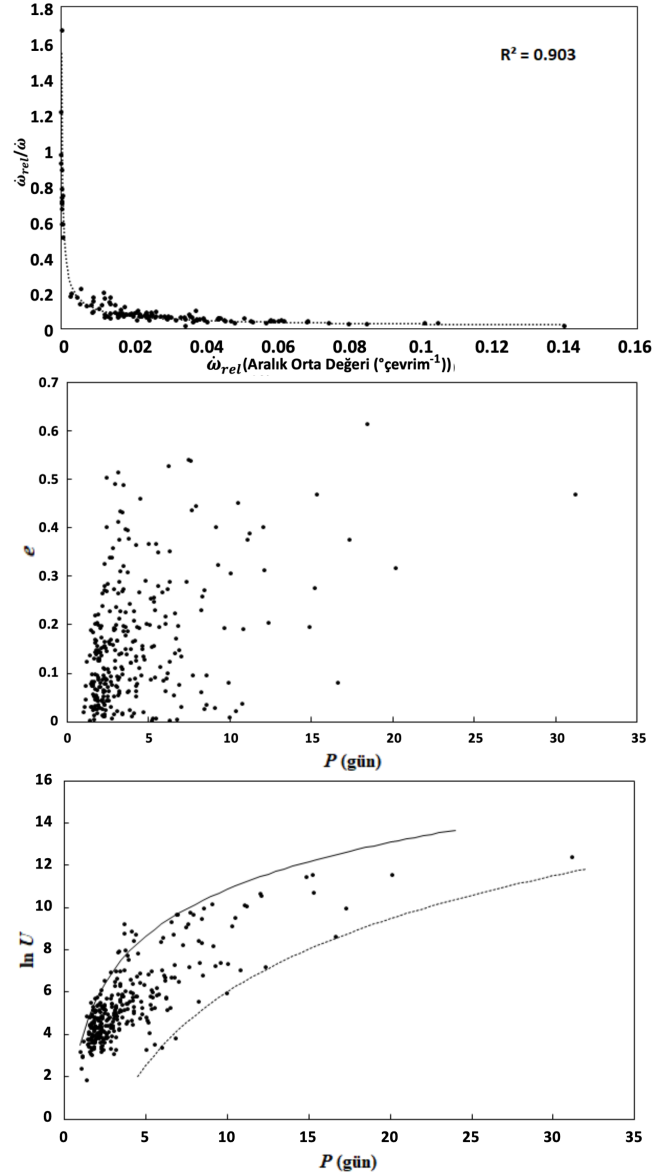
Bu çalışmada eksen dönmesi gösteren ve 303 sistemden oluşan bir katalog oluşturulmuştur. Benzer bir katalog daha önce Bulut & Demircan (2007) ve Kim ve diğ. (2018) tarafından sunulmuştur. Kim ve diğ. (2018) tarafından oluşturulan katalog 623 adet eliptik yörüngeli çift sistem içermekle beraber bunlardan ancak 172'sinin eksen dönme parametreleri verilmiştir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan katalogta ise

295 sistemin eksen dönme parametreleri sunulmuştur. Sunulan grafiklerin hemen hepsinde gözlemsel seçim etkisi gözden kaçmamaktadır. Örneğin yörünge dönemi 15 günden uzun olan sistemler arasında yalnızca $e > 0.1$ sistemlerinin görünüyorsa (bkz. Şekil 4, orta panel) böylesi bir seçim etkisinin sonucu olabilir.

Diğer taraftan eksen dönme dönemi çok uzun olan sistemlerde, eksen dönmesine rölativistik katkının oransal olarak son derece yüksek olmasını esasen bu sistemlerde klasik katkının küçük olması ile açıklayabiliriz. Denklem 7 ve 8'den anlaşılacağı üzere eksen dönmesine olan klasik katkı bileşenlerin göreceli yarıçaplarının, R_i/a , beşinci kuvveti ile orantılıdır. Bu nedenle, klasik katkının oransal olarak küçük olması için ya yörünge çok geniş olmalı ya da bileşenlerin yarıçapları çok küçük olmalıdır. Sonuç itibarıyla, bu sistemlerde klasik katkının oransal olarak çok küçük çıkmasının sebebinin; ya yörüngelerinin son derece geniş olmasıyla ya da bileşenlerinin yeterince evrimleşmemiş olmasıyla açıklayabiliriz. Zamanla bileşenlerin evrimleşmesiyle r/a oranı büyüyecek ve bileşenler küresel simetriden ayrılarak eksen dönmesine olan katkısını arttıracaklardır. Bu da eksen dönme döneminin evrim ile küçüleceği anlamına gelir. Şekil 4 (üst panel), bir bakıma eksen dönmesinin yukarıda değinilen evrimsel sürecini de yansıtmaktadır. Bu tarz diyagram ve grafiklerin bir avantajı da genel eğilimden sapan sistemleri ortaya çıkarmasıdır. Örneğin Şekil 3'de V944 Cep sisteminin her iki bileşeni de alt devler bölgesine evrimleşmiş görünüyorsa. Bu açıdan bu sisteme ilişkin dönem ve ışık eğrisi analizlerinin gözden geçirilmesi gerektiğini düşünüyoruz.

Kaynaklar

- Kim C.-H., Kreiner J. M., Zakrzewski B., ve diğ., 2018, The Astrophysical Journal Supplement Series, 235, 27 pp.
 Kolář J., Zejda M., Auer R., 2023, New Astronomy, 100, 101968
 Wolf M., 2000, A&A, 356, 134
 Wolf M., Zejda M., 2005, Astronomy & Astrophysics, 437, 545
 Wolf M., Diethelm R., 1999, A&A, 345, 553
 Wolf M., Diethelm R., Zejda M., 2005, Ap&SS, 296, 109
 Hong K., Lee J. W., Kim S.-L., ve diğ., 2016, MNRAS, 460, 650
 Wolf M., Zasche P., Kučáková H., Lehký M., Svoboda P., Šmelcer L., Zejda M., 2011, A&A, 549, A108
 Lacy C. H. S., Torres G., Claret A., Vaz L. P. R., 2005, AJ, 130, 2838
 Lacy C. H. S., Claret A., Sabby J. A., 2004, MNRAS, 352, 1270
 Rosu S., Rauw G., Farnir M., Dupret M.-A., Noels A., 2022, A&A, 660, A120
 Rauw G., Rosu S., Noels A., Mahy L., Schmitt J. H. M., Godart M., Dupret M. A., Gosset E., 2016, A&A, 594, A33
 Wolf M., Diethelm R., Hornoch K., 2001, A&A, 374, 243
 Wolf M., Zejda M., Mašek M., Kučáková H., Souza de Joode M., Uhlář R., Zasche P., 2022, New Astronomy, 92, 101708
 Sürgit D., Zasche P., Hadrava P., Erdem A., Engelbrecht C. A., Marang F., Mašek M., Stevens D. J., 2023, MNRAS, 519, 4699–4715
 Wolf M., ve diğ., 2006, A&A, 456, 1077–1083
 Kopal Z., 1959, Close Binary Systems. London: Chapman and Hall
 Kopal Z., 1978, Dynamics of Close Binary Systems. Dordrecht: Astrophysics and Space Science Library, Springer
 Bulut A., 2022, Research in Astronomy and Astrophysics, 22, 115006 (9pp)
 Bulut ., Demircan O., 2007, MNRAS, 378, 179
 Fekel F. C., Henry G. W., Sowell J. R., ve diğ., 2022, The Astronomical Journal, 164, 224
 Popper D. M., 1982, ApJ, 933, 227
 Sterne T. E., 1939, MNRAS, 99, 662
 Swings P., 1936, Z. Astrophys., 12, 40



Şekil 4. (Üst panel) Katalog yıldızlarında eksen dönmesinin gözlenen hızının fonksiyonu olarak rölativistik katkı oranının değişimi; (Orta panel) Katalog yıldızlarının dolanma dönemlerinin fonksiyonu olarak yörünge dışmerkezlikleri; (Alt panel) Katalog yıldızlarının dolanma dönemlerinin fonksiyonu olarak logaritmik ölçekte eksen dönme dönemleri. Sürekli ve kesikli çizgiler verilerin zarfı olarak el ile çizilmiştir.

- Claret A., 2004, A&A, 424, 919
 Tomkin J., Fekel F. C., 2006, AJ, 131, 2652
 Claret A., Willems B., 2002, Astronomy & Astrophysics, 388, 518
 Claret A., Gimenez A., 1993, Astronomy & Astrophysics, 277, 487
 Claret A., Gimenez A., 2010, A&A, 519, A57
 Volkov I. M., Kravtsova A. S., 2022, The Astronomical Journal, 164, 194 (7pp)
 Zasche P., Sürgit D., Erdem A., Engelbrecht C. A., Marang F., 2023, A&A, 670, A39
 Baroch D., ve diğ., 2022, A&A, 665, A13
 Sowell J. R., Henry G. W., Fekel F. C., 2012, AJ, 143, 5
 Torres G., Sandberg Lacy C. H., Pavlovski K., et al. 2014, ApJ, 797, 31
 Milone E. F., Kurpińska-Winiarska M., Oblak E., 2010, AJ, 140, 129

- Torres G., McGruder C. D., Siverd R. J., et al. 2017, *ApJ*, 836, 177
- Torres G., Sandberg Lacy C. H., Claret A., 2009, *AJ*, 138, 1622
- Torres G., Sandberg Lacy C. H., Pavlovski K., Fekel F. C., Muterspaugh M. W., 2015, *AJ*, 150, 154
- Torres G., Lacy C. H. S., Claret A., Sabby J. A., 2000, *AJ*, 120, 3226
- Zasche P., Wolf M., Vraštil J., Liška J., Škarka M., Zejda M., 2014, *A&A*, 572, A71
- Clausen J. V., 1996, *A&A*, 308, 151
- Bozkurt Z., 2006, Phd thesis, Ege University Science Faculty
- Bozkurt Z., 2000, Msc thesis, Ege University Science Faculty
- Gimenez A., Garcia-Pelayo J. M., 1983, *Astrophysics and Space Science*, 92, 203
- Gimenez A., Bastero M., 1995, *Ap&SS*, 226, 99
- Bozkurt Z., Değirmenci . L., 2007, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 379, 370
- Bozkurt Z., Değirmenci . L., 2002, in Aslan Z., ed., *Proceedings XIII. National Astronomy Meeting*. p. 224
- Gimenez A., Clausen J. V., Jensen K. S., 1986, *A&A*, 159, 157
- Alencar S. H. P., Vaz L. P. R., Helt B. E., 1997, *A&A*, 326, 709
- Latkovič O., Gazeas K., Markov H., Čeki A., S. P., 2022, *MNRAS*, 514, 5813
- Anderson J., Vaz L. P. R., 1984, *A&A*, 130, 102
- Anderson K. R., Winn J. N., 2022, *ApJ*, 928, 96
- Sandberg Lacy C. H., Fekel F. C., 2014, *AJ*, 148, 71
- Sandberg Lacy C. H., Torres G., Claret A., Menke J. L., 2006, *AJ*, 131, 2664
- Kozyreva V. S., Zakharov A. I., Khalilullin K. F., 1999, *IBVS*, 4690
- Gallenne A., Pietrzynski G., Graczyk D., ve diğ., 2019, *A&A*, 632, A31
- Anderson J., Clausen J. V., Nordstroem B., 1987, *A&A*, 175, 60
- Anderson J., Clausen J. V., Nordstroem B., Reipurth B., 1983, *A&A*, 121, 271
- Albrecht S., Reffert S., Snellen I. A. G., Winn J. N., 2009, *Nature*, 461, 373
- Kozyreva V. S., Kusakin A. V., Khalilullin K. F., 2005, *Astron. Lett.*, 31, 117
- Değirmenci . L., 1997, *Astrophysics and Space Science*, 253, 237
- Marcussen M. L., Albrecht S. H., 2022, *ApJ*, 933, 227
- Değirmenci . L., Gülmen ., Sezer C., İbanoğlu C., Çakırlı O., 2003, *A&A*, 409, 959
- Pavlovski K., Southworth J., Kolbas V., 2011, *The Astrophysical Journal Letters*, 734, L29
- Schwarzschild M., 1958, *Structure and Evolution of the Stars*. New York:Dover

Access:

M25-0310: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.