

ROTSE-III'de Veri Arşivinde Kısa Dönemli Değişen Yıldızlar

Deniz ÇOKER⁽¹⁾, Sacit ÖZDEMİR⁽¹⁾, Cahit YEŞİLYAPRAK⁽²⁾,
B. Bülent GÜÇSAV⁽¹⁾ ve M. Emre AYDIN⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ankara Üniv., Fen Fak., Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, ANKARA

⁽²⁾ Atatürk Üniv., Fen Fak., Astronomi ve Astrofizik Bölümü, ERZURUM

Giriş

- Survey çalışmaları ile artan otomatikleştirilmiş yöntem ve algoritmalar
 - Yerden; SDSS, OGLE, ASAS...
 - Uzaydan; Hipparcos, Corot, Kepler, Gaia...
- TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) yerleşkesinde bulunan ROTSE-III'd robotik teleskobu
 - ~1000 bölgede yaklaşık 4.5 milyon nokta kaynak
- Bu çalışmada kısa dönemli değişenler sistemler incelenmiştir.
 - $0.1 \text{ gün} < P < 1.5 \text{ gün}$
- Sınıflanması olası değişen türleri;
 - Geometrik değişenler; EW, EB, EA (E, EC, ESD, ED)
 - Bünyesel değişenler; δ Scu, RR Lyr (RRab, RRc, RRd) ...

➤ Kullanılan algoritmanın adımları:

Geliştirilen yazılım (PnF.py – TAY [Türk Astronomi Yazılımları])

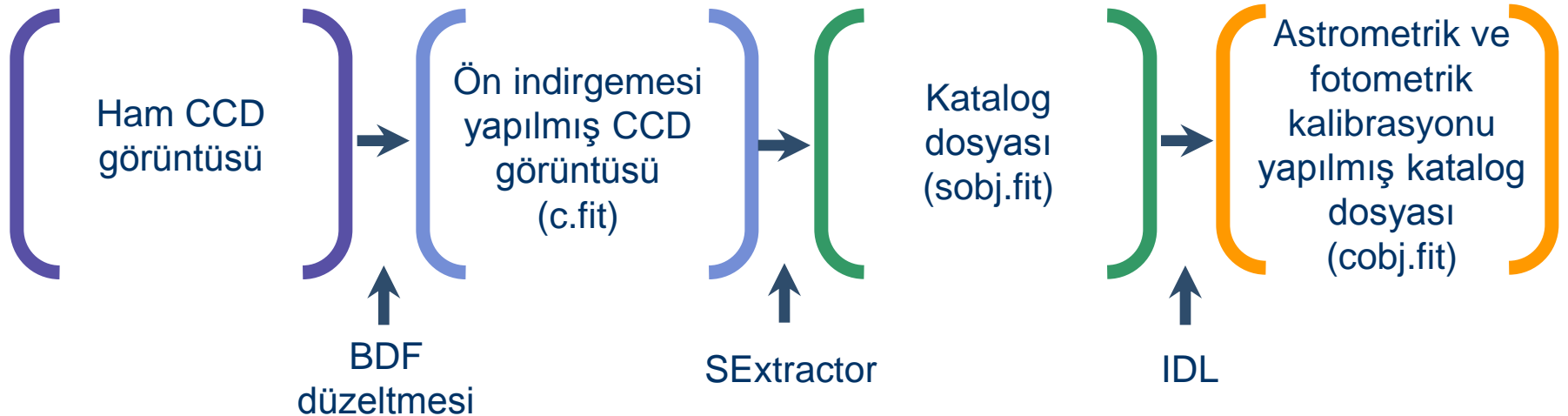
- Dönem hesaplamaları → Lomb-Scargle (Lomb 1976, Scargle 1982)
- Kriterlere uygun sistemlere uygulanan Fourier serisi fitlerinden Fourier katsayılarının elde edilmesi
- Fourier katsayıları kullanılarak değişen sistemlerin sınıflandırılması
- W UMa (EW) değişen türü olarak belirlenen sistemlerin yaklaşık geometrik parametrelerinin elde edilmesi

Materyal ve Yöntem

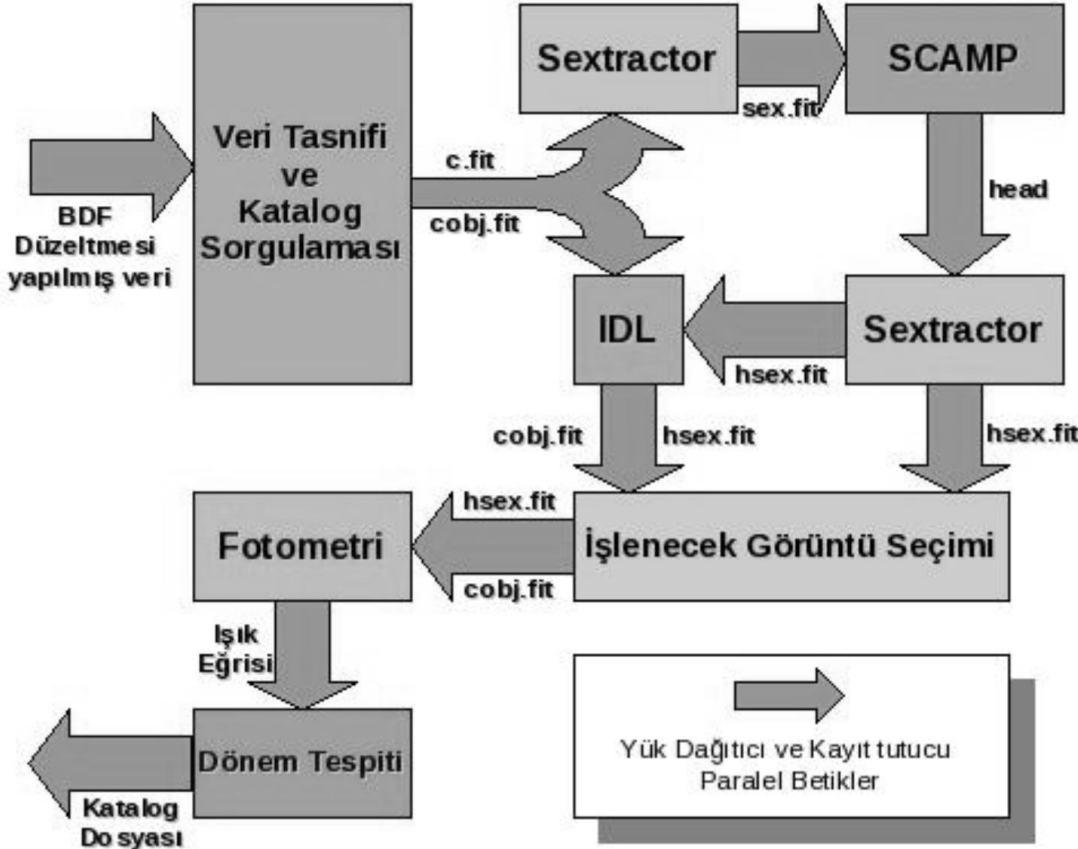
- ROTSE-III (Robotic Optical Transient Search Experiment)
 - 45 cm ayna çapı
 - Geniş görüş alanı ($1^{\circ}.85 \times 1^{\circ}.85$), diagonal $2^{\circ}.64$
 - 5, 20 ve 60 sn poz süresi için 17^m , $17^m.5$ ve $18^m.5$ (Akerlof 2003)
 - Filtresiz

Avustralya
Teksas
Namibia
Türkiye

- Gözlem zamanlarının %70'i ROTSE grubu, %30'u ise TUG tarafından kullanılmakta.



Materyal ve Yöntem



➤ Güçsav'ın (2010), en az 100 adet nokta kaynak bulunan framelere uyguladığı veri yolu şeması görülmekte

➤ Bu çalışmada ~1000 farklı bölgeden yararlanılmıştır.

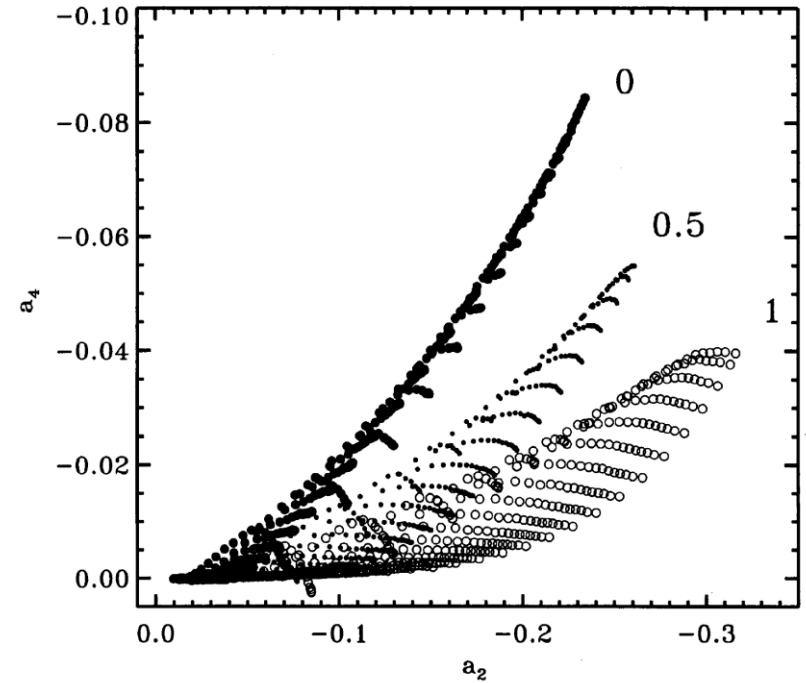
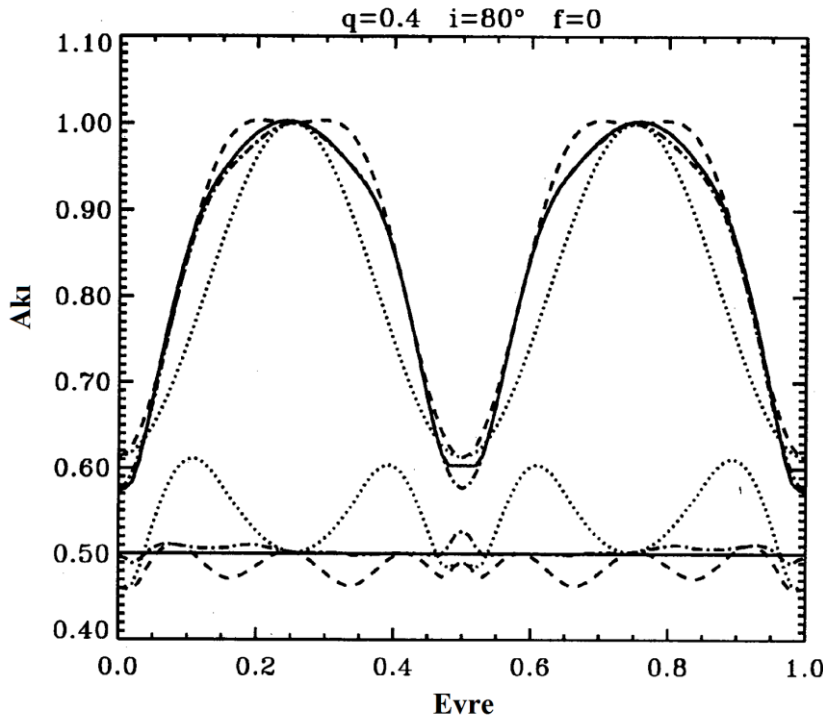
➤ Işık eğrileri elde edildikten sonra, ortalama parlaklığa göre ± 3 sigma dışındaki değerler eğrilerden çıkarılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Rucinski (1993);

➤ 4500 teorik ışık eğrisine yaptığı fit; $l(\theta) = \sum_0^{10} a_i \cos(2\pi i \theta)$

f -> (değme oranı)
 i -> (yörünge eğim açısı)
 q -> (kütle oranı)



Materyal ve Yöntem

Rucinski (1997a);

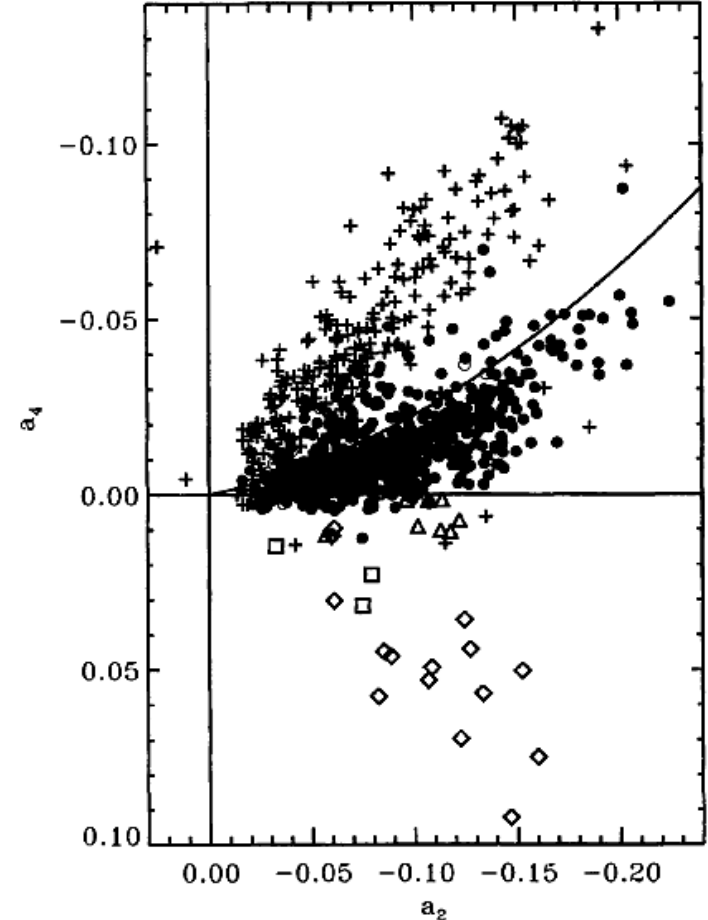
OGLE projesi kapsamında 933 örten değişen için yapılan çalışmada;

➤ İç kritik eşpotansiyel limitini gösteren $f = 0$ bağıntısını temsili

$$a_4 = a_2 (0.125 - a_2)$$

➤ Zonklayan sistemler ise genelde grafiğin alt kısmında kalmaktadır.

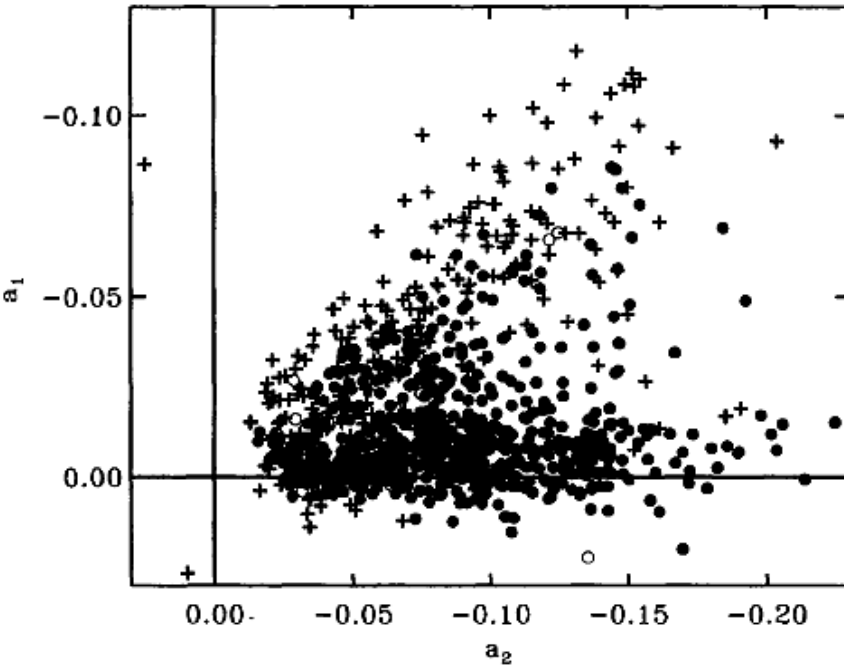
$$a_4 > 0 \text{ (pozitif)}$$



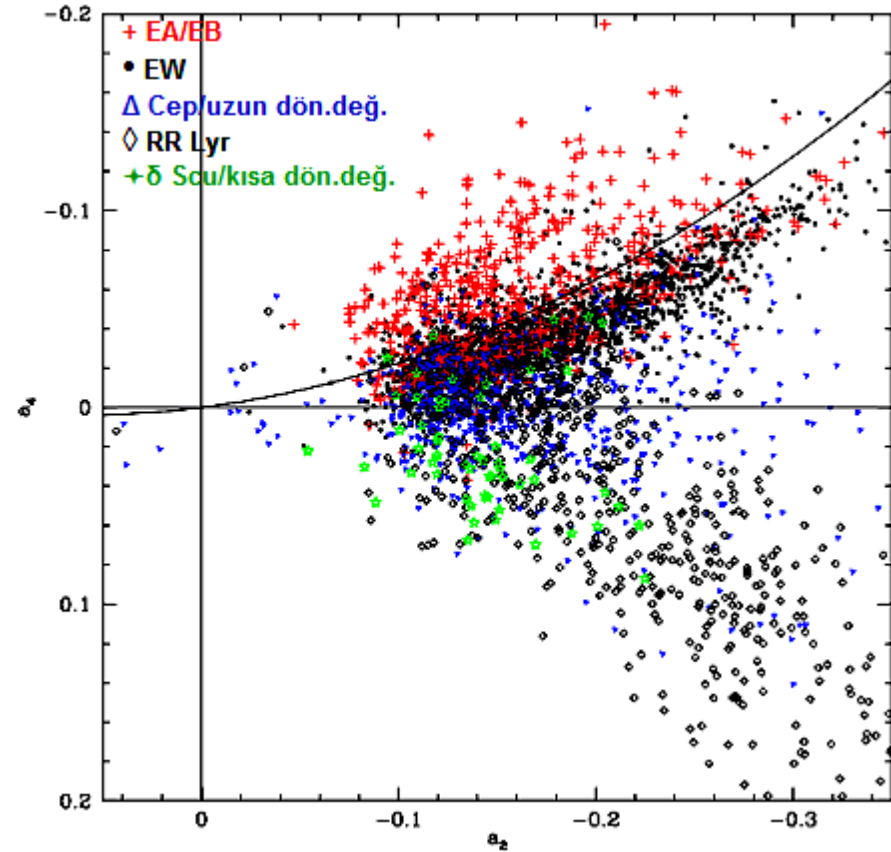
Materyal ve Yöntem

Rucinski (1997b);

$$-0.02 < a_1 < 0$$



Hoffman vd. (2009);



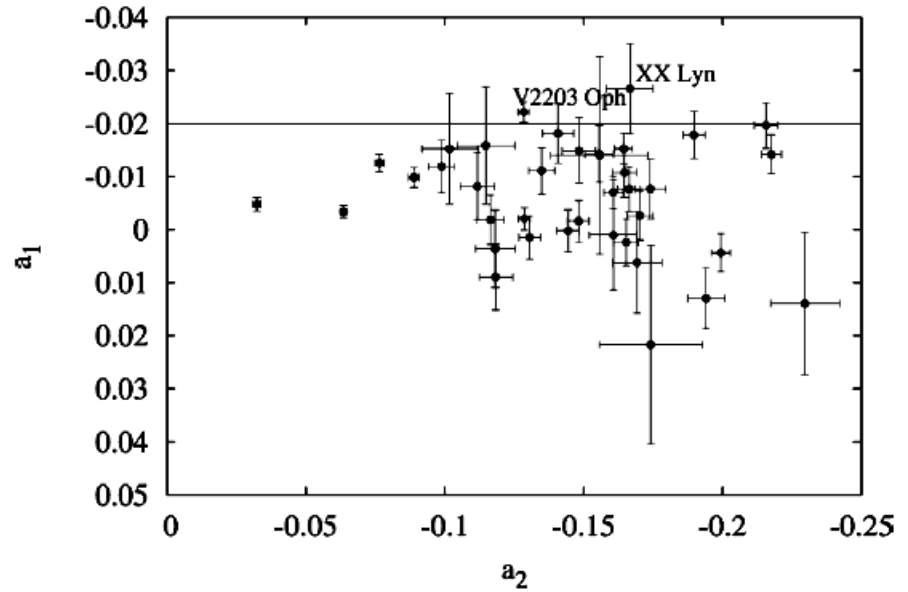
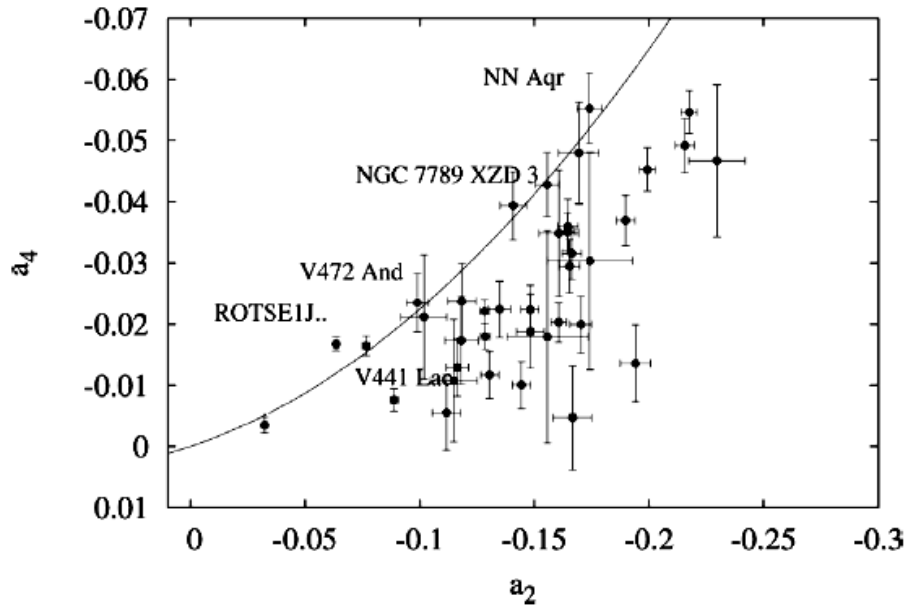
Materyal ve Yöntem

• Fourier Filtreleme Metodunun Kullanıldığı Çalışmalar

Çoker vd. (2013);

ROTSE-III'd arşivinden bulunan ve literatürde W UMa türü olarak bilinen 38 sistem incelenmiştir.

Sadece 2 sistem -0.02 kriter çizgisinin üstünde kalmakla beraber hata barları ve çizgiye olan yakınlıklarına göre EW sistem olabileceği gösterilmiştir.



Materyal ve Yöntem

• Fourier Filtreleme Metodunun Kullanıldığı Çalışmalar

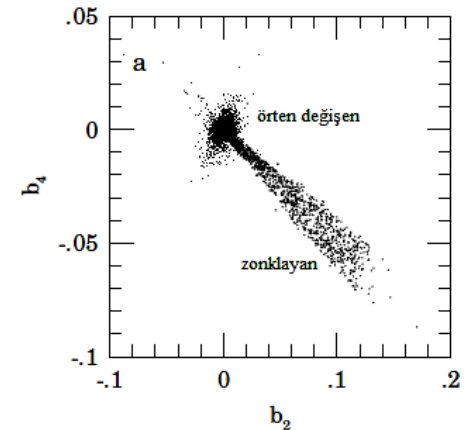
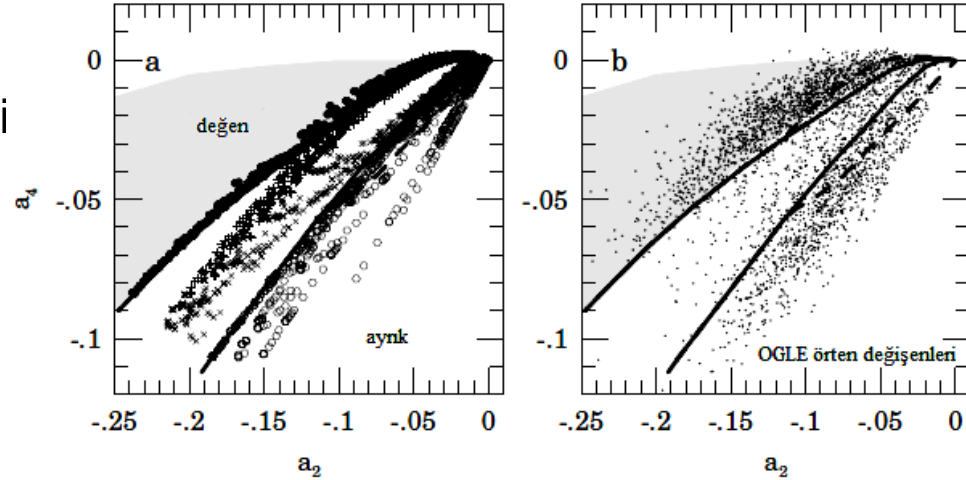
Pojmanski (2002);

Fourier filtreleme metodunu geliştirmişti

- 4500 teorik ışık eğrisine yaptığı fit

$$\sum a_i \cos(2\pi i \varphi) + b_i \sin(2\pi i \varphi)$$

- EW, EB, EA yerine ayırık (ED), yarı-ayırık (ESD) ve değen (ED) sistemler ayrımı
- Bu çalışmada zonklayan sistemleri ayıklamada $b_2 - b_4$ veya $a_4 - b_4$ grafiklerinden yararlanılması önerilmiştir.



Materyal ve Yöntem

Çalışmada Kullanılan Yazılım

➤ Analizlerden $m_{\text{err}} \geq 0^{m.5}$ çıkarılmıştır.

➤ Dönem analizlerinde → *lomb.py*

■ Girdi parametreleri: *x, y, ofac, hifac*

$$\Delta v = 1/(4Nt_s)$$

$$f_c = \frac{N}{2T} \quad hifac = \frac{f_{hi}}{f_c} = \frac{10 \times 2 \times T}{N} = \frac{20 \times T}{N}$$

■ Tüm sistemler için dönem hesabı (j_{max} , en güçlü pikin indeksi): $P = 2 \times \frac{1}{fx_{j_{\text{max}}}}$

■ FAP üssü değeri -50'den küçük veri setleri için hesaplanan dönem $0^{g.1}$ ila $1^{g.5}$ arasındaki sistemlerin analizlerine devam edilmiştir.

➤ Normalize edilen ve Fourier analizine hazır hale gelen veriye 9 terimli Fourier serisi fit edilmiştir.

$$l(\theta) = \sum_{i=0}^4 a_i \cos(2\pi i \theta) + b_i \sin(2\pi i \theta)$$

Materyal ve Yöntem

• Çalışmada Kullanılan Yazılım

Fourier katsayılarından a_1 , a_2 ve a_4 kullanımıyla sistemlerin sınıflaması;

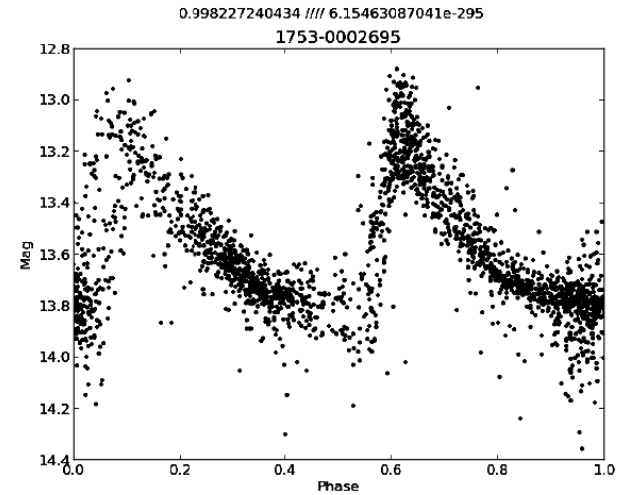
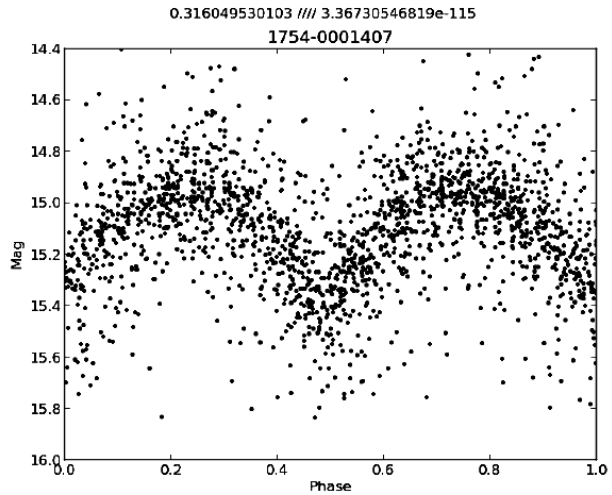
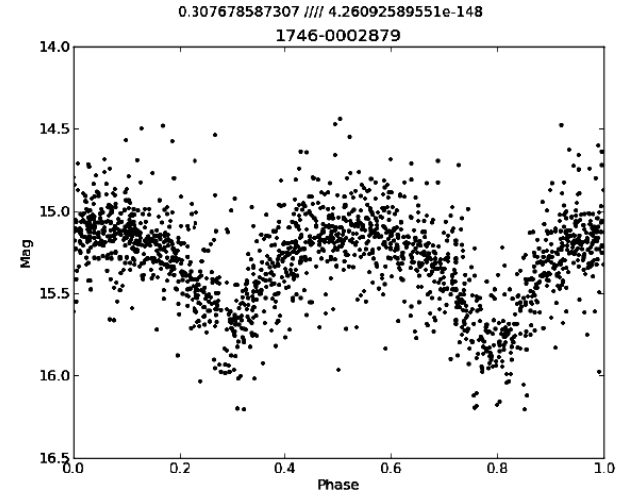
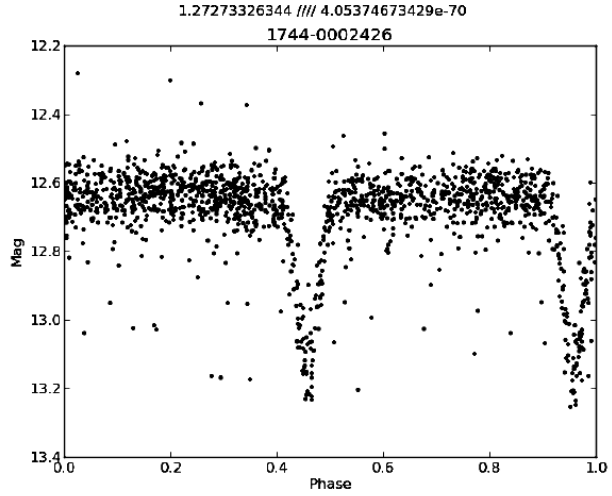
- a_2 ve a_4 katsayıları ile ayırık (ED), yarı-ayırık (ESD) ve değen (EC) değişenler
- $a_4 > 0.05$ sistemler; zonklayan (PULS)
- $-0.02 \leq a_1 \leq 0.025$ sistemler; EW
- $a_1 < -0.035$ sistemler; EB

Rucinski (1993) ve Hambalek ve Pribulla (2013) tarafından sunulan tablolar ile;

- a_2 ve a_4 katsayıları ile değme oranı (f) belirlenmekte
- f değerine karşılık gelen a_2 katsayılarından en yakın yörünge eğim açısı (i) ve kütle oranı (q) belirlenmektedir.

Bulgular

Kriterlere uygun, dönemlilik gösteren örnek 4 adet sisteme ait evrelendirilmiş ışık eğrisi.



Bulgular

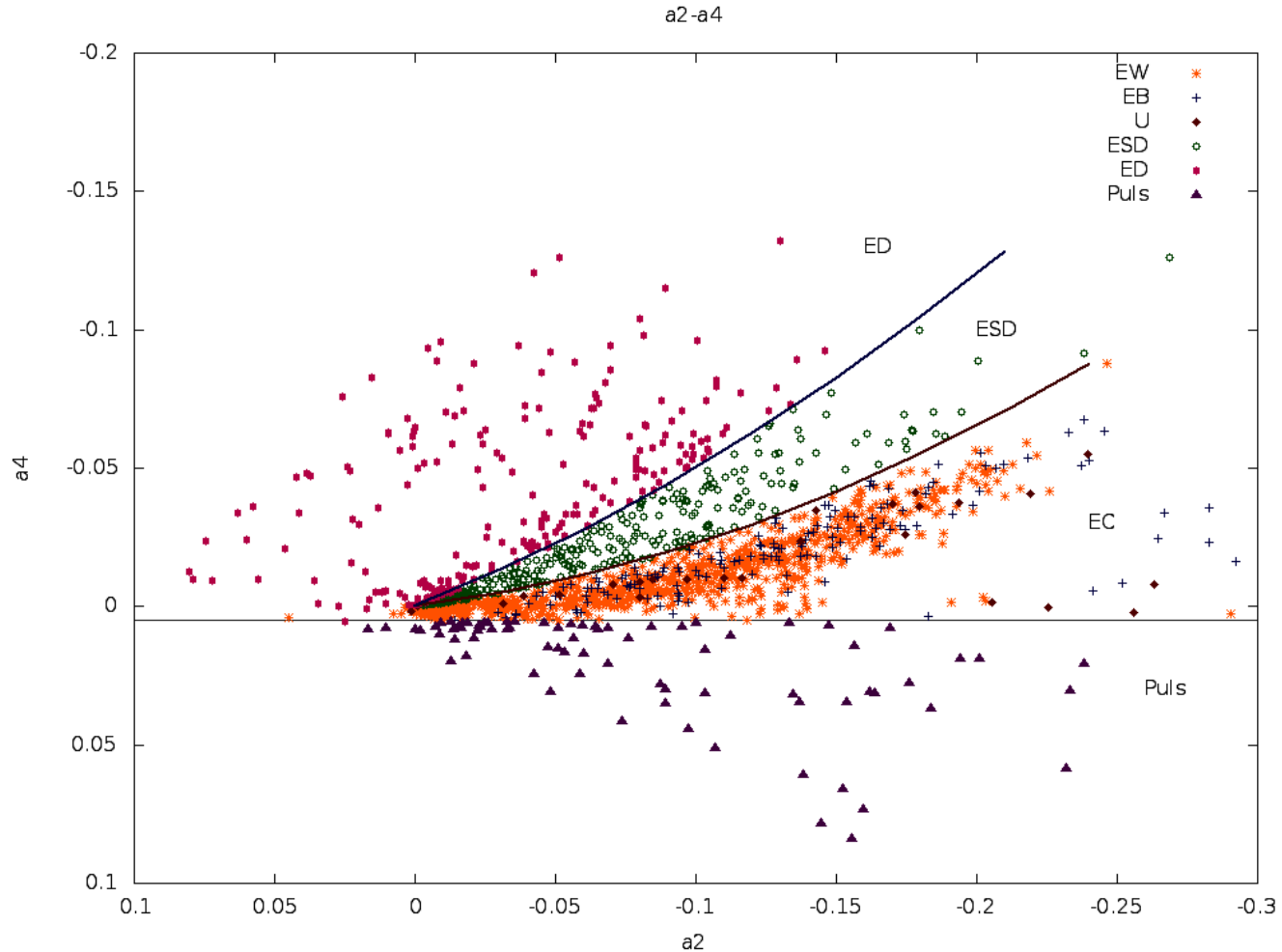
Yıldızın Adı	Veri Sayısı	Dönemi (g)	FAP üssü	Türü	Dönemi (g) [Literatür]	Türü [Literatür]	Ref.*
1744-0002426	1548	1.272733263	-70	ED	3.503400000	EA	1
1745-0001501	2120	0.351844544	-94	EW	0.351800000	EW	1
1746-0002879	1672	0.307678587	-148	EB	0.307700000	EB	1
1747-0002739	2213	0.266823500	-225	ED	0.133411290	HADS/DSCT	1,2
1748-0001473	2153	0.472428826	-55	EW	0.236260000	RRc	1
1748-0002565	1881	0.354094001	-92	EW	0.354103400	EW	1
1749-0003259	1058	0.374704587	-56	-	-	-	-
1749-0003284	2015	0.441792304	-81	EW	-	-	-
1749-0003416	1382	1.087078196	-112	ED	0.371650000	RRab	1
1750-0003690	2260	0.733815858	-283	EW	0.366970000	RRc	1
1752-0002544	1375	0.285736935	-100	EW	0.285735500	EW	1
1752-0002574	1539	0.342458693	-68	EW	0.342454000	EW	1
1753-0002695	2250	0.998227240	-295	ED	0.497173000	RRab	1
1754-0001407	1932	0.316049530	-115	EW	0.316492000	EW	1
1754-0002600	2288	0.321226585	-94	EW	0.321495700	EW	1
1755-0003203	2291	0.995875158	-53	EW	<i>Yıldız</i>	<i>Yıldız</i>	3
1544-0037255	3797	0.688155978	-73	ESD	-	-	-
1544-0039186	4212	1.082835671	-54	ESD	-	-	-
1546-0036208	3575	0.348076862	-79	EW	-	-	-
1549-0029855	5079	1.212387777	-82	EB	-	-	-
1550-0034025	4810	0.276680484	-216	ESD	-	-	-
1551-0030140	2622	0.423025071	-115	EW	-	-	-
1552-0034403	3267	0.655367653	-99	EW	-	-	-
1554-0026521	3781	0.299580514	-176	EW	-	-	-
1556-0024849	5218	0.490781609	-62	EW	-	-	-
1556-0025427	6307	0.302393339	-123	EW	-	-	-
1558-0025512	4035	0.332435653	-159	?	-	-	-
1560-0026735	4797	1.444085040	-227	ED	-	-	-
1561-0024703	4064	1.137690067	-143	ESD	-	-	-

Yıldızın Adı	Veri Sayısı	Dönemi (g)	FAP üssü	Türü	Dönemi (g) [Literatür]	Türü [Literatür]	Ref.*
1561-0027039	4258	0.433722244	-81	EW	-	-	-
1611-0091333	799	0.434893282	-134	EW	0.434911000	EW	1
1611-0091801	784	0.376844928	-126	EW	0.376831000	EW	1
1614-0090440	778	0.707854313	-85	EW	-	-	-
1251-0248035	1093	0.358165689	-108	EW	0.358151670	EW	1
1252-0247216	1074	0.357643171	-66	EW	-	-	-
1252-0248943	976	0.838158980	-104	ESD	0.419100000	RRc	1
1254-0249365	1034	0.999657798	-68	ED	<i>Yıldız</i>	<i>Yıldız</i>	4
1258-0250074	695	1.022306253	-68	ED	0.511179000	RRab	1
1336-0316388	479	0.303649860	-84	EW	0.303653000	EW	1
1336-0317712	489	0.374348709	-84	EW	0.374353000	EW	1
1336-0318718	492	0.392755224	-76	ESD	0.392697000	EW	1
1337-0317368	420	0.320876467	-54	EB	-	-	-
1340-0322115	479	1.041579933	-56	ED	0.521122700	RRab	1
1346-0322862	468	1.149911385	-53	ED	-	RR:	1
1420-0466653	1616	0.393888321	-55	EW	-	-	-
1421-0478977	959	0.920447913	-52	EB	-	-	-
1422-0485614	1436	1.268316838	-88	ED	1.268348000	EB	1
1422-0487705	1443	0.359574744	-93	EW	-	-	-
1423-0487272	1786	0.345739827	-160	ED	-	-	-
1423-0489785	1819	1.036324311	-116	ED	-	-	-
1424-0477972	1618	0.416724635	-64	EW	-	-	-
1424-0482141	1142	0.412943264	-86	EW	-	-	-
1424-0488330	1162	0.508136305	-96	EW	-	-	-
1425-0484226	1834	0.308915416	-202	EW	0.308911300	EW	1
1427-0507531	1260	0.415295171	-106	EW	-	-	-
1428-0500836	1668	0.651491980	-123	ESD	0.651504500	EA	1
1429-0497839	1799	1.363409444	-60	Puls	-	-	-
1433-0429205	1767	0.409992450	-210	EW	-	-	-
1433-0432280	1369	0.292996299	-78	EW	-	-	-
1434-0397518	1632	0.527408781	-70	EW	-	-	-
1435-0392835	1247	0.522634544	-115	EB	-	-	-

* Referanslar. (1) Watson (2006); (2) Samus vd. (2009); (3) <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>; (4) Vasconcellos (2011).

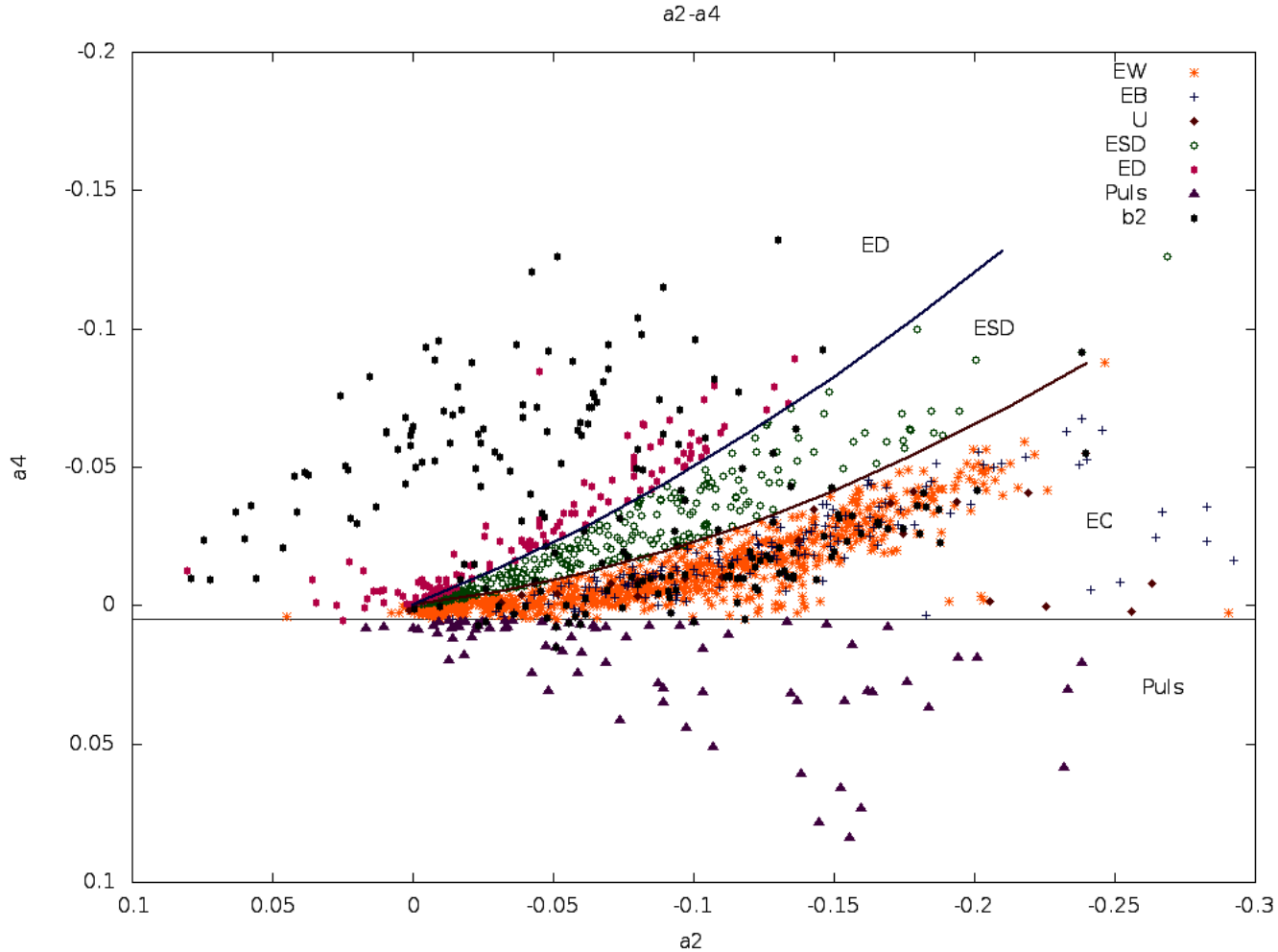
Bulgular

Fourier serisi fitlerinden elde edilen a_2 ve a_4 katsayılarının dağılımı.



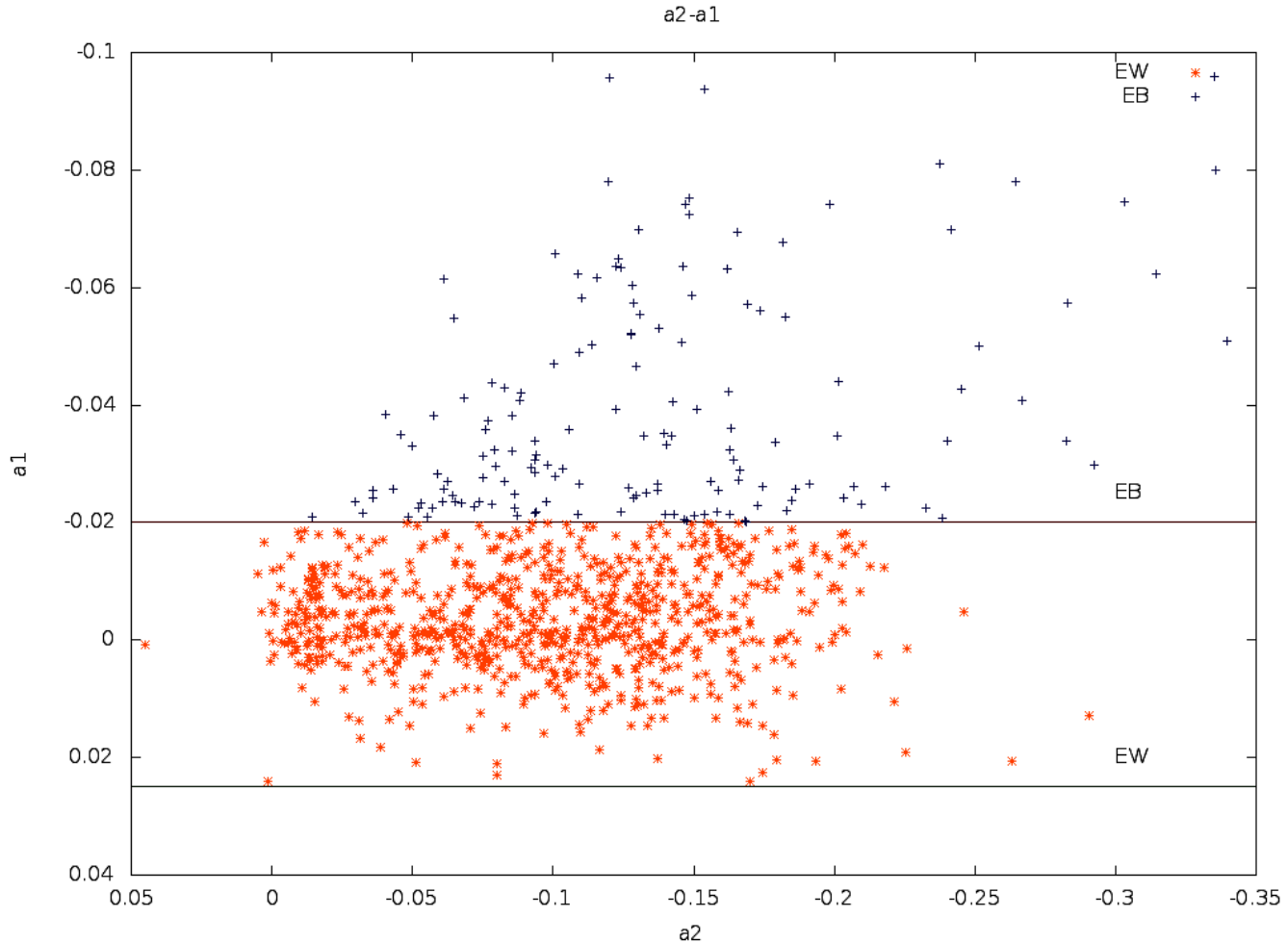
Bulgular

Fourier serisi fitlerinden elde edilen a_2 ve a_4 katsayılarının dağılımı.



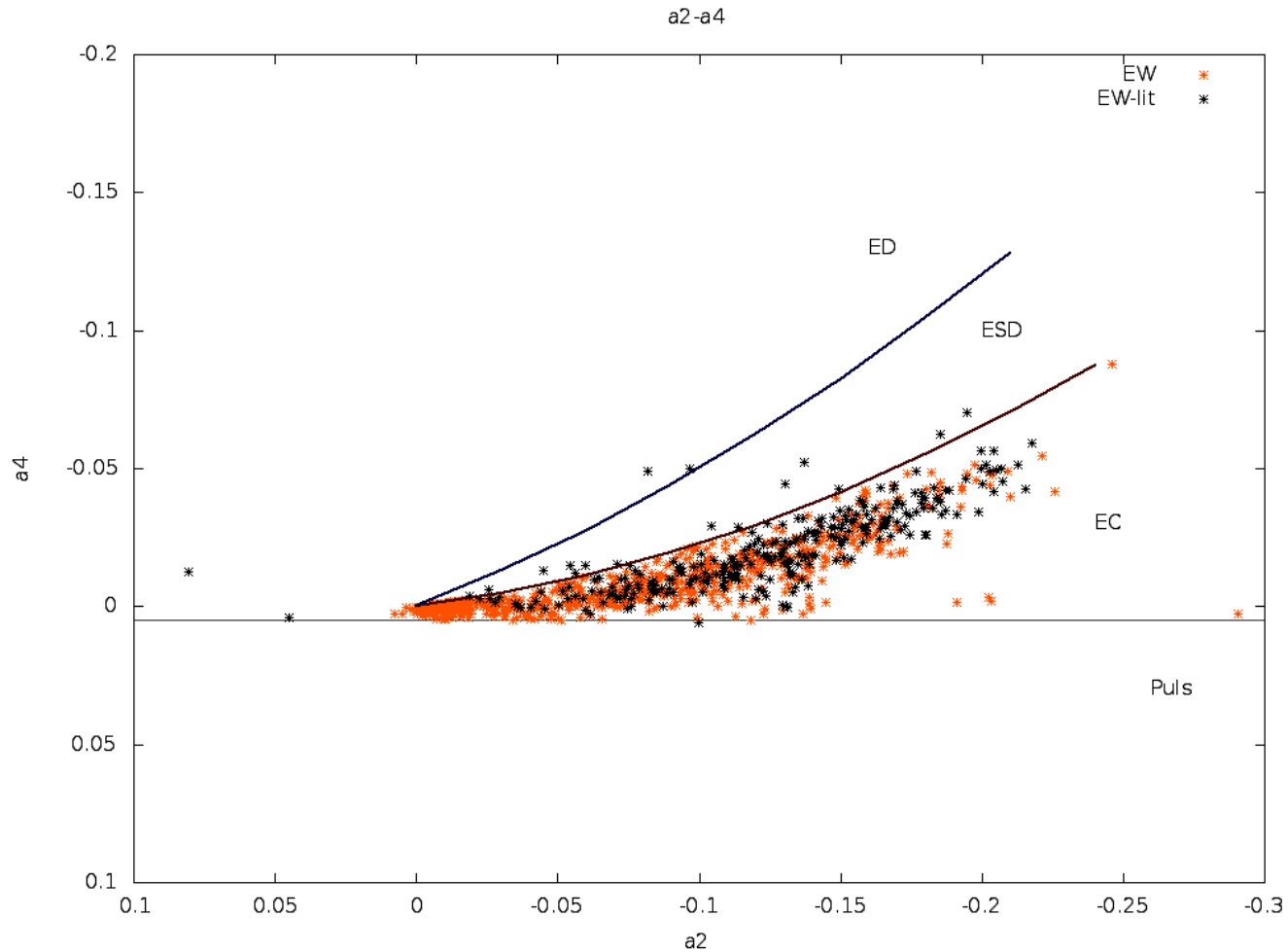
Bulgular

Fourier serisi fitlerinden elde edilen a_2 ve a_1 katsayılarının dağılımı.



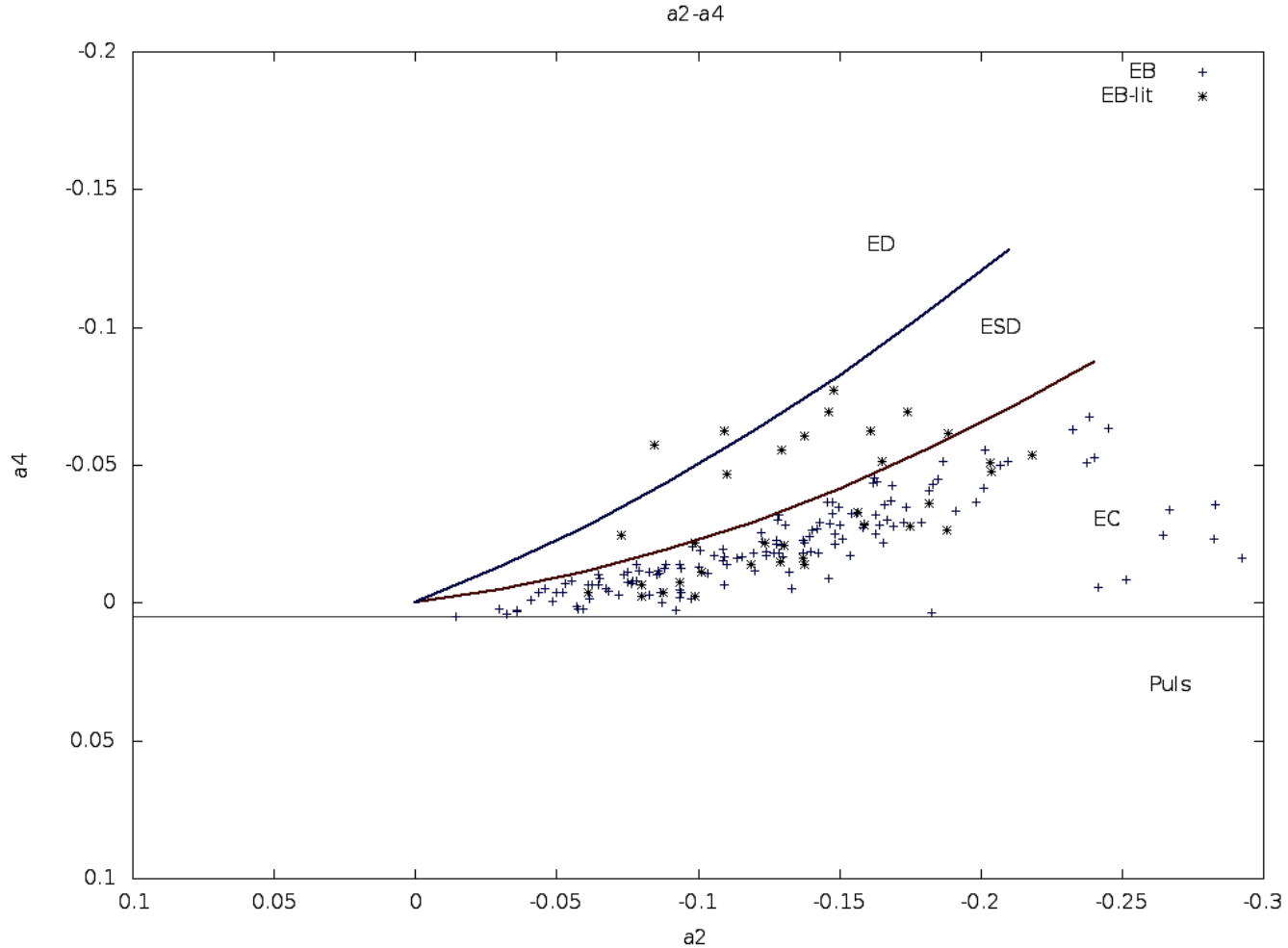
Bulgular

Literatürde tür bilgisi bulunan EW türü sistemlerin a_2 ve a_4 katsayılarının dağılımı.



Bulgular

Literatürde tür bilgisi bulunan EB türü sistemlerin a_2 ve a_4 katsayılarının dağılımı.



Bulgular

Analizleri yapılan EW türü sistemden literatürde f , i ve q bilgileri bulunan örnek 5 sistemin sonuçlarının karşılaştırılması. Bold yazılan q değerleri tayfsal gözlemlerden elde edilmiş sonuçlardır.

<i>Yıldız Adı</i>	<i>f</i> (<i>Bu çalışma</i>)	<i>i</i> (°) (<i>Bu çalışma</i>)	<i>q</i> (<i>Bu çalışma</i>)	<i>f</i> [<i>Literatür</i>]	<i>i</i> (°) [<i>Literatür</i>]	<i>q</i> [<i>Literatür</i>]	<i>W UMa Türü</i> [<i>Literatür</i>]	<i>Referans</i>
1752-0002544	0.00	78	0.775	0.93/1.02 0.15 0.62	80.0/77.8 79.63 83.5	0.47/0.59 0.53/0.56 0.45	A/W W W	Worden vd. (1978) Branly vd. (1996) Liu vd. (2011)
1752-0002574	0.25	62	0.850	0.8 0.029	- 72.6	0.63 0.69	- A	van't Veer (1984) Zhu vd. (2014)
1251-0248035	0.50	47	0.650	0.15 0.20 0.20	57 56.91 57.20	0.409 0.434783 0.434783	W W W	Lu ve Rucinski (1999) Zola vd. (2004) Erdem ve Özkardeş (2006)
1336-0316388	0.25	68	0.675	0.153	46.78087	0.771	A	Slawson vd. (2011)
1336-0317712	0.25	82	0.475	0.321	65.22631	0.825764	W	Slawson vd. (2011)

Bulgular

Sonuçların güvenilirliğini test etmek için literatürde hem tayfsal hem de fotometrik gözlemleri bulunan 8 adet EW türü sistemden yararlanılmıştır.

Yıldız Adı ¹	f	i (°)	q	f	i (°)	q_{ph}	W UMa Türü	Referans ²
	(Bu çalışma)	(Bu çalışma)	(Bu çalışma)	[Literatür]	[Literatür]	q_{sp}	[Literatür]	
AB And ^a	0.25	83	0.675	0.15	86.8	0.491 0.560	W	Pribulla vd. (2003) Pych vd. (2004)
AO Cam ^b	0.25	75	0.625	0.10	75.1	0.585 0.413	W	Pribulla vd. (2003) Rucinski vd. (2000)
V776 Cas ^b	0.75	37	0.575	0.77	52.5	0.138 0.130	A	Zola vd. (2005) Rucinski vd. (2001)
SX Crv ^b	0.00	51	0.775	0.27	61.2	0.079 0.066	A	Zola vd. (2004) Rucinski ve Duerbeck (2006)
FU Dra ^a	0.25	73	0.500	0.23	78.6	0.251 0.251	W	Pribulla vd. (2003) Rucinski vd. (2000)
AP Leo ^{ab}	0.00 0.25	75 79	0.575 0.775	0.23	79.9	0.301 0.297	A	Pribulla vd. (2003) Lu ve Rucinski (1999)
VZ Lib ^b	0.00	76	0.425	0.13	80.3	0.255 0.237	A	Zola vd. (2004) Rucinski ve Duerbeck (2006)
GR Vir ^b	1.00	61	0.375	0.93	81.9	0.106 0.122	A	Gazeas vd. (2005) Rucinski ve Lu (1999)

(1) Verilerin alındığı adresler a ve b indisleriyle belirtilmiş olup sırasıyla <http://caleb.eastern.edu/> ve <http://www.as.up.krakow.pl/sz/data.html>, adreslerinden temin edilmiştir (2) Referans listesi sırasıyla f , i , q_{ph} parametreleri ve q_{sp} parametresi için ayrı ayrı verilmiştir.

Bulgular

- ❖ L-S algoritması ile elde edilen sonuçlara göre değişen sistemlerin %97'sinin hesaplanan dönemleri literatür ile uyumlu
- ❖ Fourier katsayılarının kullanımıyla yapılan sınıflandırma literatür ile oldukça uyumlu

EW	EB	ESD	ED	PULS	TOPLAM
%92	%65	%70	%79	%82	%86

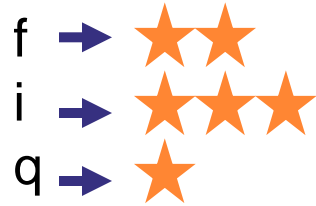
- ❖ Literatürde dönem ve sınıf bilgisi bulunan 543 değişene ek olarak toplam 688 yeni keşif ve sınıflandırma yapılmıştır.

EW	EB	ESD	ED	PULS	TOPLAM
411	31	116	57	73	688

- ❖ Fourier katsayılarından b2'nin kullanımı sayesinde zonklayan (**PULS**) sistem olarak tekrardan sınıflandırılan sistemlerin %78'i literatürle uyumlu

Tartışma ve Sonuç

❖ EW türü değişenlerin geometrik parametrelerinden i parametresi çözümlere oldukça yakın ancak f ve q (özellikle de q) parametreleri çok güvenilir değil



❖ a_i katsayılarındaki hatalar;

- ★ Işık eğrilerindeki saçılma
- ★ Bazı sistemlerin sahip olduğu küçük ışık değişim genliği ($\Delta m < 0.3$)
- ★ A/W türü ayırımının yapılamaması
- ★ Olası 3. ışık etkisi

❖ Elde edilen f , i ve q değerleri örten çift yıldız modellemelerinde kullanılan programlar (PHOEBE gibi) için başlangıç parametreleri olarak kullanılabileceği düşünülmekte

Bu alışmada, ROTSE–III'd teleskobuyla gözlenmiş, TBAG108T475 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında kullanıma tahsis edilen verilerin, tekrar tasnif edilmiş hali kullanılmıştır.

TEŐEKKÜRLER