

## ST Boo ve RR Leo'nun FREKANS ANALİZLERİNİN ÖN SONUÇLARI

Lale Çelik<sup>15</sup>, Fehmi EKMEKÇİ<sup>1</sup>, H.Volkan ŞENAVCI<sup>1</sup>

### Özet

RR Lyrae türü değişenler ST Boo ve RR Leo'nun ışık eğrileri Mart 2007 ile Eylül 2007 tarihleri arasında Ankara Üniversitesi Gözlemevi (AÜG) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde elde edildi. Bu zonklayan yıldızların V bandı gözlemlerine Period04 programı kullanılarak çoklu-frekans analizi yapıldı. Bu analizin sonucunda ST Boo ve RR Leo için yirmi-frekans çözümlerinin gözlemsel verilerle uyumlu olduğu görüldü. Ancak S/N oranları, gözlemsel hatalar ve aliasing etkisi dikkate alınarak yapılan incelemede her iki yıldız için elde edilen bu yirmi-frekans çözümündeki doğru ve güvenilir olan frekansların seçimi yapılabildi. Ayrıca, diğer bir çoklu-frekans analiz programı olan AutoSignal V1.7, bu yıldızların aynı gözlemsel verilerine uygulandı. Elde edilen sonuçlar, ST Boo için on-frekans çözümü ve RR Leo için yedi-frekans çözümü şeklinde oldu. Period04 programının sonuçları ile AutoSignal V1.7 programının sonuçlarının bir karşılaştırması, AutoSignal V1.7 frekans analiz programının RR Lyrae türü zonklayan yıldızların frekans analizinde daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir.

*Anahtar Kelimeler:* RR Lyr türü, Bünyesel Değişenler, Zonklama

---

<sup>5</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Fak. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü,  
06100 Tandoğan, Ankara

e-postalar : lalecelik81@gmail.com,  
ekmekci@astrol.science.ankara.edu.tr ,  
volkan@astrol.science.ankara.edu.tr

## Abstract

The light curves of RR Lyrae type variables ST Boo and RR Leo were obtained between March and September 2007 at Ankara University Observatory (AUG) and at TÜBİTAK National Observatory (TUG). Applying multiple-frequency analysis using Period04 program to V band observations of these pulsation stars showed that twenty- frequency solutions were found to be fitted well to the observational data of ST Boo and RR Leo. But the examinations using S/N ratios, observational errors and aliasing effects gave the possibility for selecting the true and reliable frequencies to represent the pulsational phenomena of these stars. In addition, the other multiple-frequency analysis using AutoSignal V1.7 program were applied for the same data of these pulsation stars. The achievement results are ten-frequency solution for ST Boo and seven- frequency solution for RR Leo. Comparing the results of Period04 program with those of AutoSignal V1.7 program shows that AutoSignal V1.7 program gave the most reliable evaluation for RR Lyrae type pulsation stars in multiple-frequency analysis.

**Key Words:** RR Lyr type, Intrinsic Variables, Pulsation

## 1. Giriş

ST Boo yıldızı (HIP 75942 ), tayf türü F2 (GCVS) , RRab alt sınıfından olup bir RR Lyrae türü değişen yıldızdır. Bu yıldızın koordinatları  $\alpha_{2000} = 15^{\text{sa}} 30^{\text{dk}} 39^{\text{sn}}.231$  ve  $\delta_{2000} = 35^{\circ} 47' 04''.3$ 'dir. Parlaklığı  $V = 10^{\text{m}}.68$  ve genliği  $\sim 1^{\text{m}}.21$  yöresindedir. ST Boo'nun ilk ışık eğrisi Zessewitsch tarafından [1] yayınlanmıştır. MC Namara and Langford [2] ST Boo'nun dönemini  $0^{\text{s}}.622$  olarak bulmuştur. Clementini *et al.* [3] tarafından bu yıldız için  $E(B-V) = 0^{\text{m}}.00$  olarak hesaplanmıştır. Clementini *et al.* [4] yatay kolda bulunan RR Lyrae yıldızları ile ilgili çalışmalarında ST Boo'nun etkin sıcaklığını  $T_e = 6081 \pm 115$  K ve yüzey çekim ivmesini  $\log g = 2.71 \pm 0.20$  olarak bulmuşlar. Clementini *et al.* [5] ST Boo'nun 5160 - 5200Å dalgabouyu aralığında tayfindan bir kesit vererek bu yıldızın RRab alt sınıfına ait olduğunu belirtmişler. Pena *et al.* [6] ise uvby  $\beta$

gözlemlerini kullanarak ST Boo için  $T_e = 6444$ ,  $M_v = 0.71$  ve  $\log L (L_\odot) = 1.62$  olarak kestirmişler.

RR Leo yıldızı (BD +24 2183; HIP 049628 ), tayf türü A7 - F5 (GCVS) olan RRab alt sınıfından tipik bir RR Lyrae türü değişen yıldızdır. Bu yıldızın koordinatları  $\alpha_{2000} = 10^{\text{sa}} 07^{\text{dk}} 43^{\text{sn}}.46$  ve  $\delta_{2000} = 23^\circ 59' 30''.3$ 'dir. Parlaklığı  $V = 10^{\text{m}}.7$  ve genliği  $\sim 1^{\text{m}}.65$  yöresindedir. MC Namara ve Langford [2] RR Leo yıldızının dönemini  $0^{\text{g}}.452$  olarak bulmuştur. Clementini *et al.* [3] RR Leo için renk artığını  $E(B-V) = 0.05 \pm 0.02$  olarak bulmuşlardır ki bu değer kızarma etkisinin ihmal edilebilir değerde olduğunu ifade etmektedir. Carney *et al.* [7]  $M_{\text{bol}}$ 'u  $0.^{\text{m}}8$ , yarıçapı  $R (R_\odot) = 4.35$ , kütlesi  $M (M_\odot) = 0.536$  ve sıcaklığı  $T_e(K) = 6869$  olarak bulmuşlardır. Kovacs [8] RR Lyrae ve Sefeid yıldızları ile ilgili çalışmasında RR Leo için  $T_e = 6458$  K,  $R (R_\odot) = 4.85$  ve  $M_v = 0^{\text{m}}.87$  bulmuştur.

Bu çalışmada Mart 2007 ile Eylül 2007 tarihleri arasında Ankara Üniversitesi Gözlemevi (AÜG) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde CCD gözlemi yapılan RR Lyrae türü bünyesel değişenler olan RR Leo ve ST Boo'nun V bandı verilerine uygulanan çoklu-frekans analiz sonuçları verilmektedir. Bu sonuçlar Lenz ve Breger [9]'in Period04 ve Lomb [10] - Scargle [11] yöntemini uygulayan AutoSignal V1.7 programları kullanılarak elde edildi. Her iki programın verdiği sonuçlar karşılaştırılarak ST Boo ve RR Leo için olası zonklama frekansları tartışıldı. AutoSignal V1.7 programını daha güvenilir sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Bununla beraber, gözlem verilerinin az olması AutoSignal V1.7 analiz sonuçlarının da tartışmalı olmasına neden oldu. Daha güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için bu yıldızların ek gözlem verilerine ihtiyaç vardır.

## 2.Gözlemler ve Işık Eğrileri

Bu çalışmada RR Leo Mart-Mayıs 2007 ve ST Boo'nun Nisan-Eylül 2007 tarihleri arasında Ankara Üniversitesi Ahlatlıbel Gözlemevi (AÜG)'deki 40 cm'lik Kreiken teleskoba ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'ndeki 40 cm'lik teleskoba bağlı Apogee Alta U- 47 CCD kullanılarak Johnson B, V ve R bandlarında gözlemleri yapıldı. Burada sadece V bandı verileri kullanılarak yapılan çoklu-frekans analiz sonuçları üzerinde durulmaktadır.

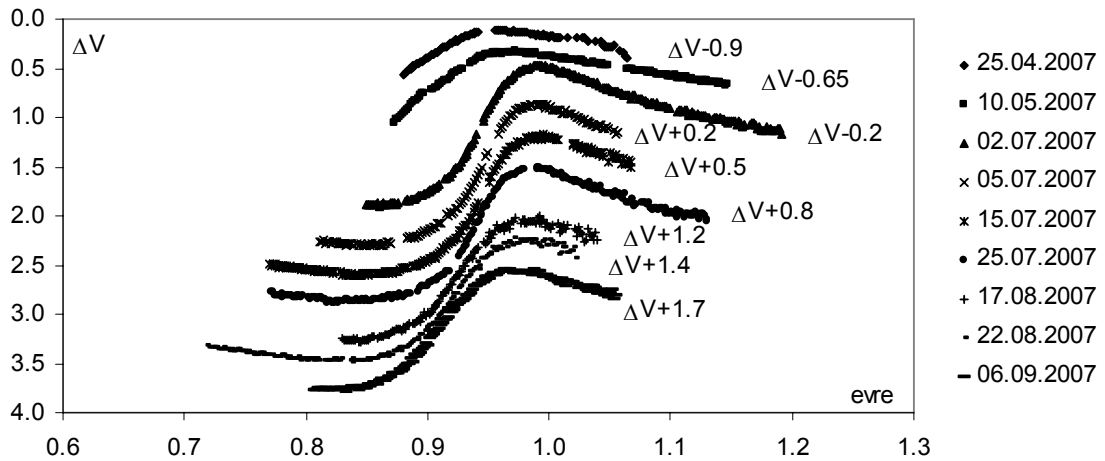
Gözlemlerde kullanılan muayese yıldızlarına ait ayrıntılı bilgi Çizelge 1'de verilmektedir.

**Çizelge1.** RR Leo ve ST Boo yıldızlarının gözlemlerinde kullanılan mukayese yıldızlar

Yıldız	BD/HIP	$\alpha$ 2000	$\delta$ 2000	V
RR Leo	BD+24 2183	10 <sup>sa</sup> 07 <sup>dk</sup> 43 <sup>sn</sup> .46	23° 59' 30".3	10.7
Mukayese	BD+24 2179	10 <sup>sa</sup> 07 <sup>dk</sup> 07 <sup>sn</sup> .58	23° 55' 07".2	9.46
ST Boo	HIP 75942	15 <sup>sa</sup> 30 <sup>dk</sup> 39 <sup>sn</sup> .23	35° 47' 04".3	10.68
Mukayese	BD+36 2612	15 <sup>sa</sup> 30 <sup>dk</sup> 32 <sup>sn</sup> .56	35° 53' 38".5	9.6

### 2.1 ST Boo

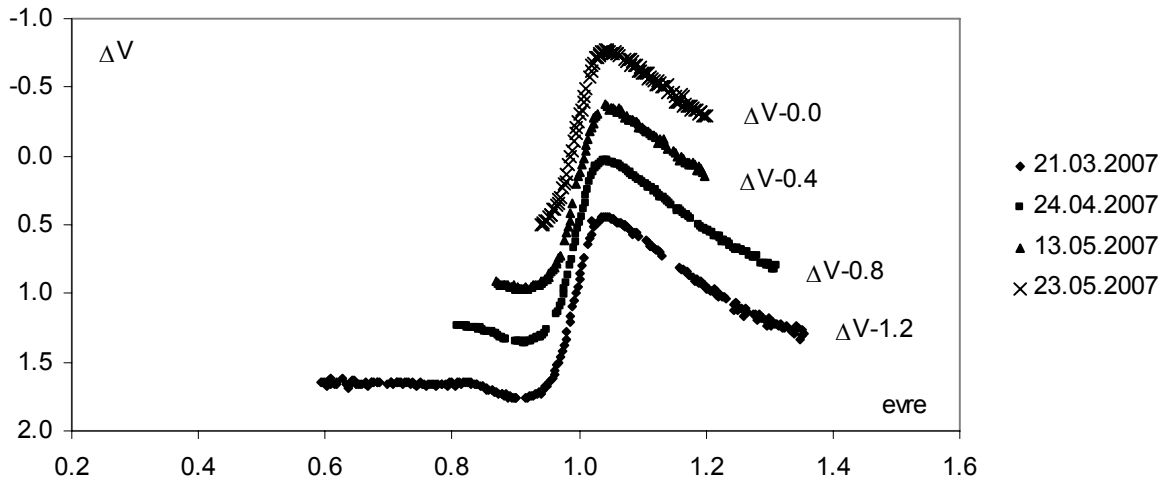
ST Boo yıldızının ışık elemanları için  $T_0 = 2453137.485$  ve  $P = 0^g.6223$  (Wu [12]) değerleri kullanıldı. 25 Nisan - 06 Eylül 2007 tarihleri arasında AÜG'nin Kreiken Teleskobu'nda toplam 9 gecelik gözlem verisi elde edildi. Şekil 1'de CCD gözlemlerinden elde edilen 9 geceye ait ışık eğrileri sunulmaktadır.



**Şekil 1.** ST Boo'nun 10 Mayıs, 02-05-15-25 Temmuz, 17-22 Ağustos ve 06 Eylül 2007 tarihlerindeki V bandı AÜG Kreiken Teleskobu gözlemleri

## 2.2 RR Leo

RR Leonis yıldızının ışık elemanları için  $T_0 = 2453145.4225$  ve  $P = 0^s.452393$  (Liu ve Janes [13]) değerleri kullanıldı. 24 Nisan- 23 Mayıs 2007 tarihleri arasında 3 gece AÜG'nin Kreiken Teleskobu ve 21 Mart 2007 tarihinde bir gece TUG'da toplam 4 gecelik gözlem verisi elde edildi. Şekil 2'de CCD gözlemlerinden elde edilen 4 geceye ait ışık eğrileri sunulmaktadır.



**Şekil 2.** RR Leo'nun 21.03 TUG ve 24.04.ve 13 - 23.05.2007 tarihlerindeki V bandı AÜG Kreiken Teleskobu gözlemleri

## 3. Frekans Analizi

Bu çalışmada RR Leo ve ST Boo yıldızlarının AÜG ve TUG'da yapılan V bandındaki gözlem verileri, Period04 analiz programı kullanılarak yapılan frekans analiz hesabında kullanıldı. Analizlerde denetleme parametresi olarak sinyal/gürültü (S/N) değerleri dikkate alındı. Period04 ile yapılan analizin denetlenmesi ve bir karşılaştırması için Lomb [10] ve Scargle'nin [11] yöntemini uygulayan AutoSignal V 1.7 adlı bir program daha kullanıldı. Bu analiz programı Period04'ten farklı olarak sinüs terimleri dışında kosinüs terimleri de kullanmaktadır. Bu yöntem ışık eğrileri simetrik olmayan yıldızlarda da güvenilir sonuç vermektedir ki bu yüzden RR Lyrae yıldızlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Analiz sonuçlarının ilk denetlemesi, B, V, ve R bantları için elde edilen frekans ve genliklerin (sahip olduğu hata değerleri ile birlikte) karşılaştırması ile yapıldı.

### 3.1 ST Boo

#### Period04 programı ile V bandı verileri için frekans analizi:

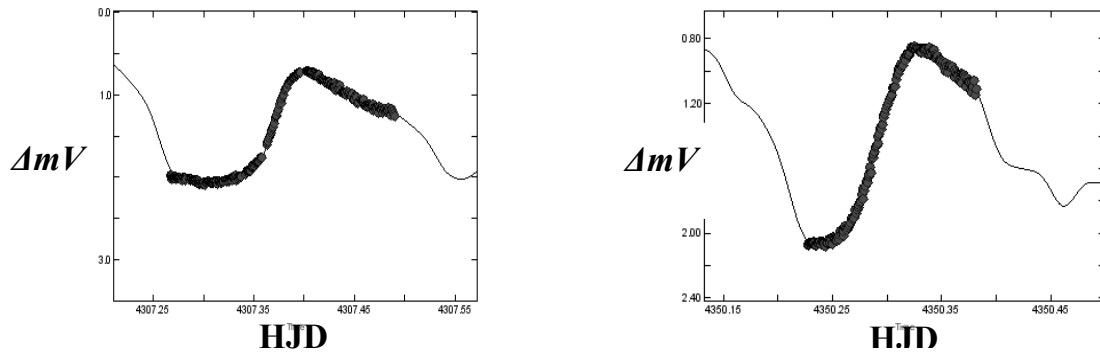
ST Boo'nun V bandında 1814 noktayı kapsayan toplam 9 gecelik gözlem verilerine yapılan frekans analizi hesabında Nyquist frekansı için, programın önerdiği 611 değeri seçildi. Frekans analizinde, gözlemsel ışık eğrilerine en iyi uyan teorik ışık eğrileri 20-frekanslı bir çözüm ile elde edildi. Bulunan frekansların doğruluğu, ilgili frekanstaki gürültü değerleri dikkate alınarak "significance noise level" denen düzey sınırlaması ile frekans ve genlikteki hata miktarlarının ölçüsü dikkate alınarak denetlendi. Şekil 3'de ST Boo'nun Period04 programı ile elde edilmiş 9 gecelik ışık eğrilerinden örnekler sunulmaktadır. Şekil 4'te Period04 programında 20-frekanslı analiz sonucunda elde edilen f1 frekansına ait periyodogram ve tayfsal pencere gösterilmektedir. Çizelge 2'de ST Boo'nun 20-frekans analiz sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 2.** Period04 programı ile ST Boo'nun V bandı için belirlenen 20-frekans analiz sonuçları

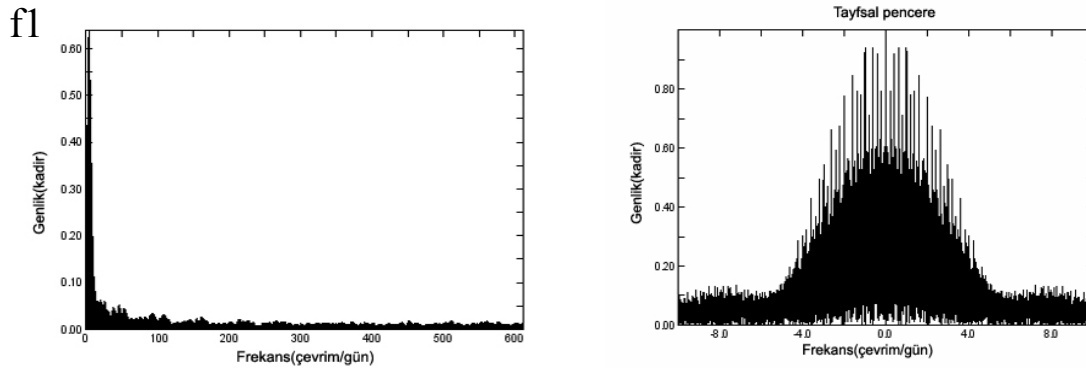
#	Frekans (gün <sup>-1</sup> )	Genlik(kadir)	S/N
f1	4.215365 ± 0.000338	0.602520 ± 0.049696	11.179
f2	6.941648 ± 1.167450	0.167823 ± 0.047814	3.258
f3	3.508280 ± 0.005314	0.132167 ± 0.036912	5.686
f4	10.251188 ± 0.002741	0.075351 ± 0.032436	4.734
f5	0.419292 ± 0.003810	0.089463 ± 0.036677	5.120
f6	8.015165 ± 0.072695	0.109422 ± 0.146863	5.503
f7	7.913386 ± 0.005322	0.191600 ± 0.180601	5.000
f8	15.466690 ± 0.001339	0.050502 ± 0.012677	4.520
f9	8.516565 ± 0.002152	0.156679 ± 0.126728	14.755
f10	12.450923 ± 0.174904	0.041463 ± 0.025743	4.830
f11	0.477690 ± 0.072893	0.029109 ± 0.084587	14.240
f12	21.505290 ± 0.157694	0.014321 ± 0.007131	4.110

f13	$13.432341 \pm 0.077413$	$0.021453 \pm 0.020136$	6.200
f14	$20.887693 \pm 0.009303$	$0.023012 \pm 0.005322$	5.580
f15	$5.738776 \pm 0.046654$	$0.045128 \pm 0.083052$	16.900
f16	$16.837580 \pm 0.074262$	$0.013230 \pm 0.009442$	4.216
f17	$18.476095 \pm 0.092419$	$0.016568 \pm 0.010837$	7.185
f18	$10.186129 \pm 4.727387$	$0.025638 \pm 0.042376$	15.430
f19	$29.722565 \pm 0.738638$	$0.008385 \pm 0.002667$	3.454
f20	$33.061535 \pm 0.003833$	$0.007294 \pm 0.002563$	3.940

ST Boo'nun V bandı için yapılan frekans analizinde sıfır noktası 1.43870 ve artıklar 0.02031'dir.



Şekil 3. ST Boo'nun 25 Temmuz, 06 Eylül 2007 tarihli V bandında Fourier fitleri



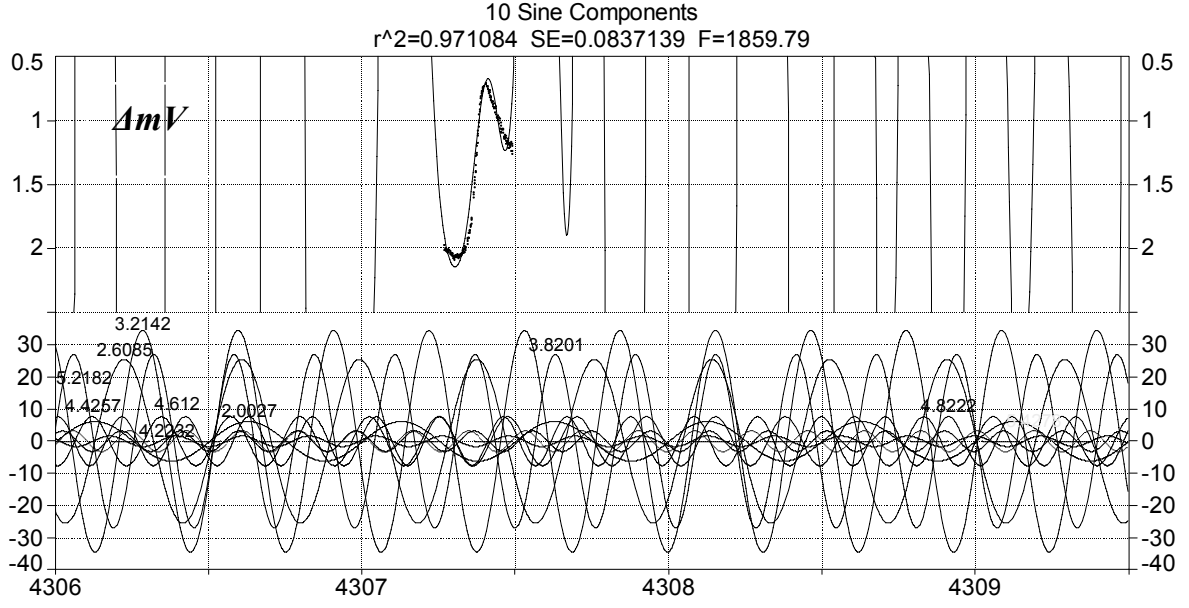
Şekil 4. ST Boo'nun V bandında f1 frekansına ait periyodogram ve tayfsal pencere

**Lomb – Scargle AutoSignal V1.7 programı ile V bandı verileri için frekans analizi:** ST Boo'nun Period04 programında kullanılan aynı veriler, Lomb-Scagle AutoSignal V1.7 programında da kullanılarak frekans analizi yapıldı. Şekil 5'de bu analiz sonucunda elde edilen fit sonuçları için ST Boo'nun 9 gecelik gözlem verilerinden bir örnek verilmiştir. Şekil 6 ve 7 'de grafikteki y ekseninde (Normalize Güç ve Genlik) yer alan 50, 90, 95 vb.rakamlar analizin sonucunda elde edilen frekansların doğruluğuna ilişkin yüzdelerdir. Çizelge 3'te ST Boo'nun AutoSignal V1.7 programı ile elde edilen 10-frekanslı çözüm sonuçları verilmektedir. Bu programın, Period04 teki 20-frekans sonucu ile uyuşmayan 10-frekanslı çözümü vermesi dikkat çekicidir.

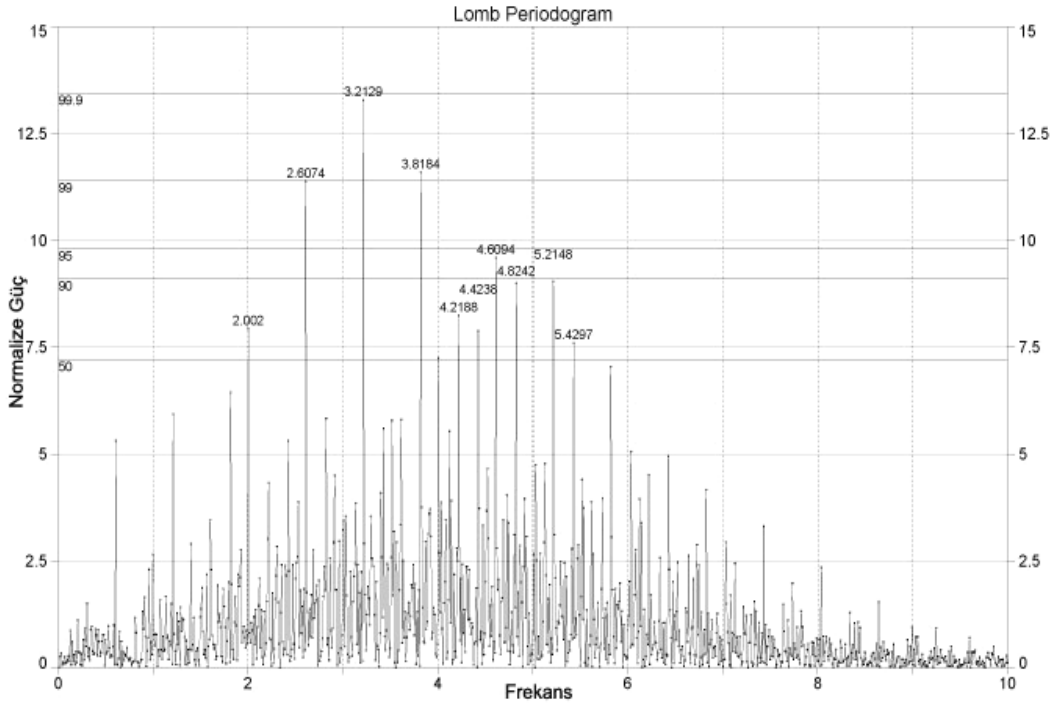
*Çizelge 3. AutoSignal frekans analiz programı ile ST Boo'nun V bandına ilişkin sonuçlar*

Frekans	Hata	Genlik	Hata	Evre
2.0019531250	0.00032261	1.86149806	0.35248760	4.12750164
2.6074218750	0.00021114	12.5773987	1.49948614	0.73001050
3.2128906250	0.00030695	18.1680499	2.61753665	3.86167133
3.8183593750	0.00044859	13.5126778	2.17840656	0.80320189
4.2187500000	0.00113502	1.20773660	0.39158888	4.50468050
4.4238281250	0.00058800	4.20616347	0.69839384	4.09052520
4.6093750000	0.00010269	1.59224001	0.09616434	2.95315148
4.8242187500	0.00091700	2.07630043	0.60240485	1.63217431
5.2148437500	0.00019623	0.86325344	0.08446668	0.43733053
5.4296875000	0.00062817	1.13530821	0.25736293	5.14234034

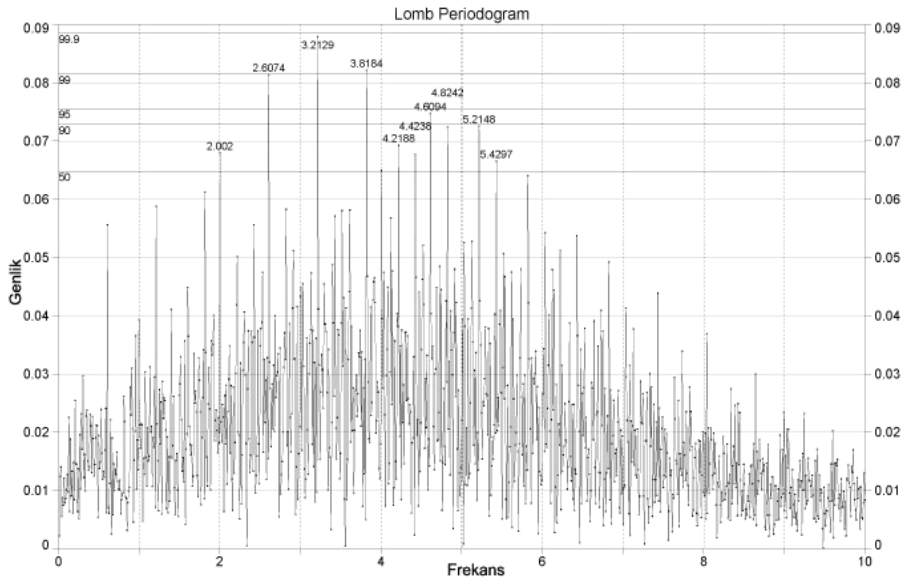




*Şekil 5. ST Boo'nun 25.07.2007 tarihli V bandı ışık eğrisine AutoSignal programı ile yapılan frekans analizi sonuçları*



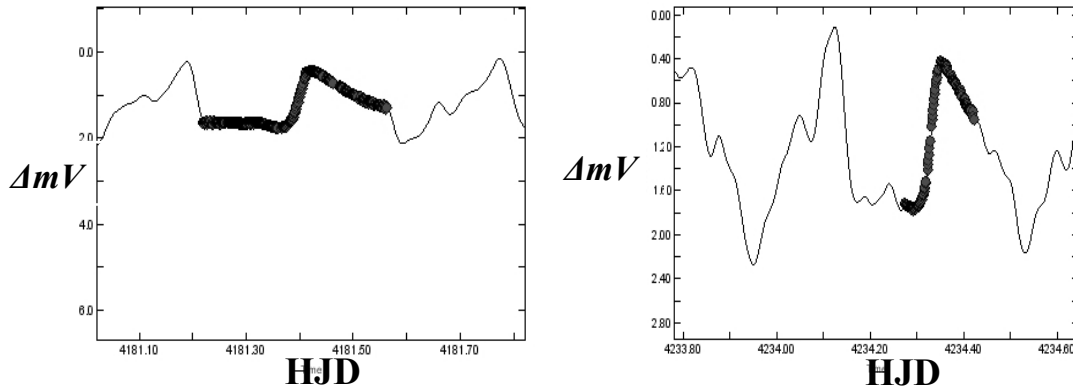
*Şekil 6. ST Boo'nun V bandına ilişkin Normalizasyon Güç- Frekans grafiği*



*Şekil 7. ST Boo'nun V bandına ilişkin Genlik- Frekans grafiği*

### 3.2 RR Leo

**Period04 programı ile V bandı verileri için frekans analizi:** RR Leo'nun V bandında 634 noktayı kapsayan toplam 4 gecelik gözlem verilerine yapılan frekans analizi hesabında Nyquist frekansı için, programın önerdiği 447 değeri seçildi. Frekans analizinde, gözlemsel ışık eğrilerine en iyi uyan teorik ışık eğrileri 20-frekanslı bir çözüm ile elde edildi. Şekil 8'de RR Leo'nun 21 Mart ve 13 Mayıs 2007 tarihindeki ışık eğrileri, fit sonuçları ile birlikte örnek olarak sunulmaktadır. Çizelge 4'de RR Leo'nun 20-frekans analiz sonuçları verilmektedir.

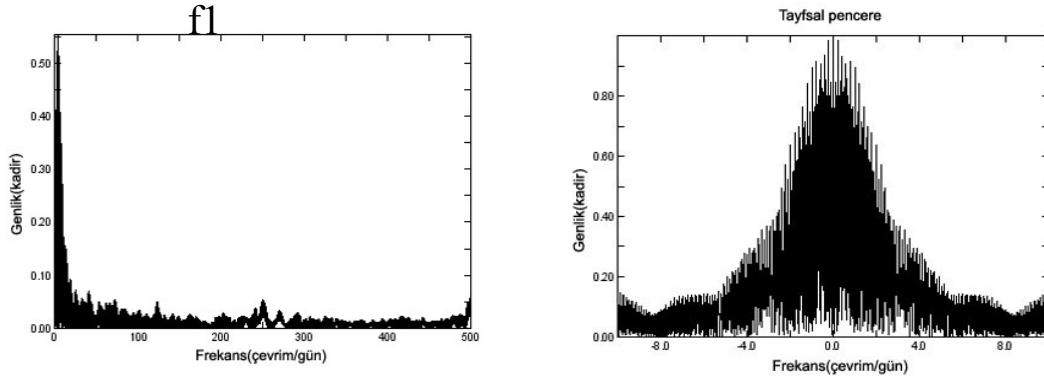


*Şekil 8. RR Leo'nun 21 Mart ve 13 Mayıs 2007 tarihli V bandında Fourier fitleri*

**Çizelge 4.** *Period04 programı ile RR Leo'nun V bandı için belirlenen 20-frekans analiz sonuçları*

#	Frekans (gün <sup>-1</sup> )	Genlik(kadir)	S/N
f1	3.419041 ± 0.000513	0.643219 ± 0.027444	2.710
f2	8.633268 ± 0.001203	0.270553 ± 0.030393	9.452
f3	13.469922 ± 0.008224	0.128533 ± 0.068535	8.851
f4	19.476440 ± 2.186325	0.058595 ± 0.068181	5.485
f5	4.017859 ± 0.007016	0.067704 ± 0.022030	4.941
f6	6.913687 ± 0.004789	0.083286 ± 0.017479	6.673
f7	23.932974 ± 0.224334	0.031186 ± 0.025798	4.903
f8	1.762632 ± 0.636852	0.038568 ± 0.016459	4.185
f9	10.122543 ± 0.006541	0.074221 ± 0.054035	8.621
f10	21.869495 ± 0.012667	0.032594 ± 0.044472	5.148
f11	11.691392 ± 0.699318	0.047772 ± 0.064741	11.137
f12	16.851660 ± 0.005728	0.045830 ± 0.036456	5.750
f13	27.372225 ± 0.344698	0.012811 ± 0.027546	4.418
f14	30.111222 ± 0.119474	0.011935 ± 0.009559	5.268
f15	14.868579 ± 0.013418	0.026440 ± 0.043918	13.663
f16	20.290664 ± 0.080795	0.020071 ± 0.085190	11.815
f17	32.666915 ± 0.003077	0.012077 ± 0.006928	4.552
f18	44.411437 ± 0.016011	0.004157 ± 0.002202	4.530
f19	26.653012 ± 0.191633	0.010867 ± 0.033515	11.481
f20	35.140877 ± 0.133498	0.006255 ± 0.004750	5.352

RR Leo'nun V bandı için yapılan bu analizde sıfır noktası 1.26817 ve artıklar 0.01230 olarak bulunmuştur.

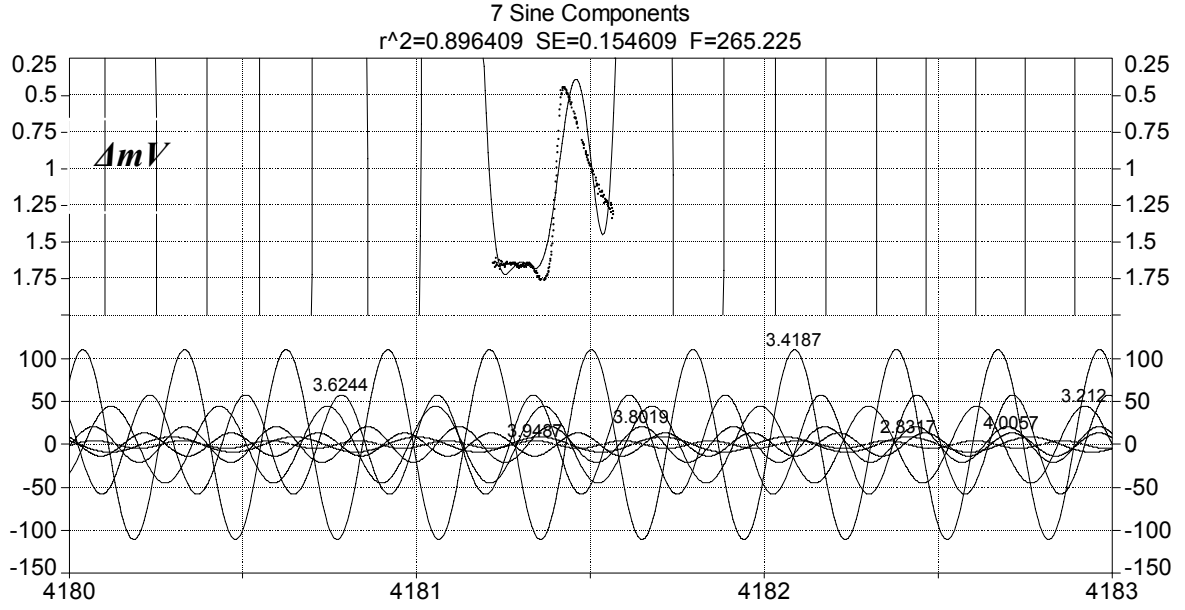


**Şekil 9.** RR Leo'nun V bandında f1 frekansına ait peryodogram ve tayfsal pencere

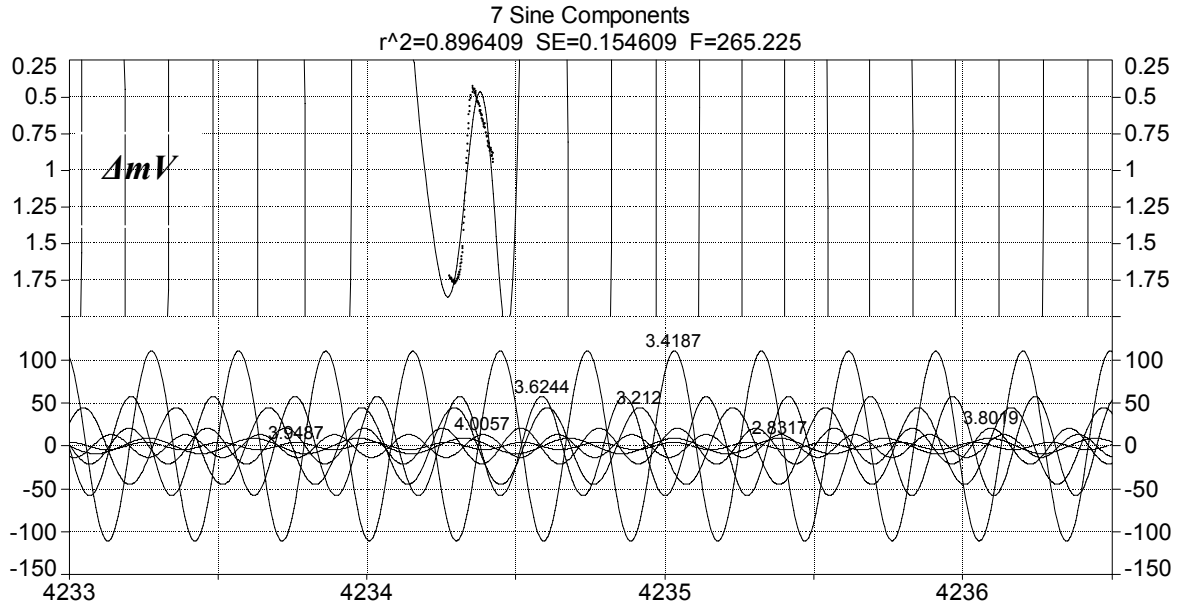
**Lomb – Scargle AutoSignal V1.7 programı ile V bandı verileri için frekans analizi:** RR Leo'nun Period04 programında kullanılan aynı veriler, Lomb-Scargle AutoSignal V1.7 programında da kullanılarak frekans analizi yapıldı. Şekil 10 ve 11'de sırasıyla 21 Mart 2007 ve 13 Mayıs 2007 ışık eğrileri, 7-frekans fit sonuçları ile birlikte örnek olarak verilmiştir. Şekil 12 ve 13'de ise Normalize Güç-frekans ve Genlik-frekans grafikleri sunulmaktadır. Çizelge 5'te RR Leo'nun AutoSignal V1.7 programı ile elde edilen 7-frekanslı çözüm sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 5.** AutoSignal frekans analiz programı ile RR Leo'nun V bandına ilişkin sonuçlar

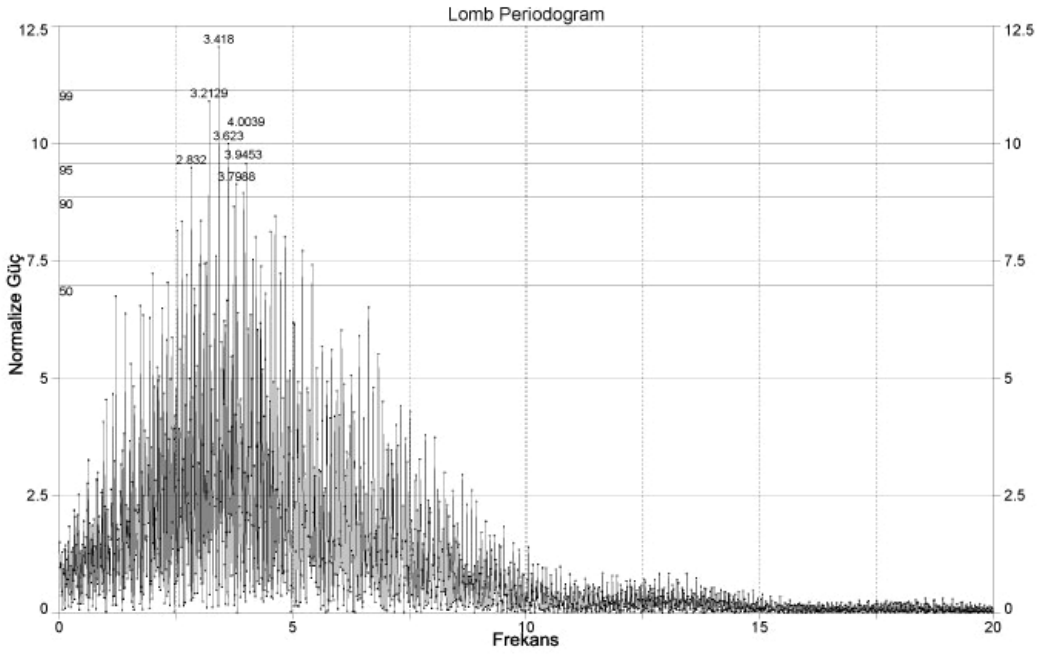
Frekans	Hata	Genlik	Hata	Evre
2.8320312500	0.00107371	52.4610367	7.54098279	4.76618431
3.2128906250	0.00207928	101.895510	15.4334407	1.04882472
3.4179687500	0.00152709	516.741302	54.2214327	1.44185771
3.6230468750	0.00157119	352.047617	31.3623423	1.81137775
3.7988281250	0.00107289	272.120958	21.8644277	0.85988978
3.9453125000	0.00086851	41.1860498	3.09507829	5.40295759
4.0039062500	0.00105491	212.935134	17.0203921	1.34025331



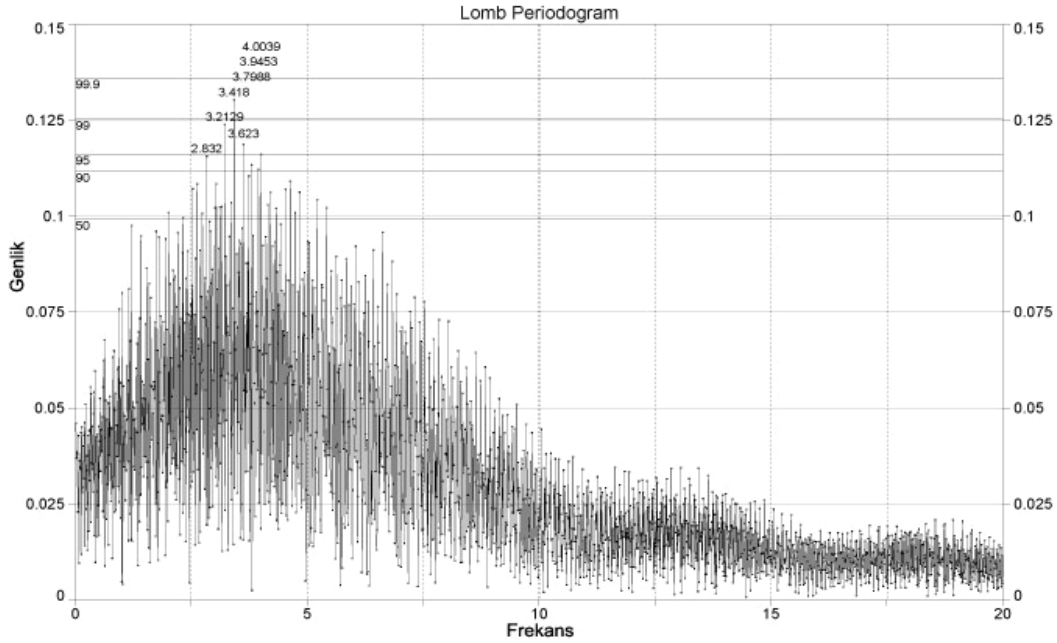
**Şekil 10.** RR Leo'nun 21.03.2007 tarihli V bandı ışık eğrisine AutoSignal V1.7 programı ile yapılan frekans analizi sonuçları



**Şekil 11.** RR Leo'nun 13.05.2007 tarihli V bandı ışık eğrisine AutoSignal V1.7 programı ile yapılan frekans analizi sonuçları.



*Şekil 12. RR Leo'nun V bandına ilişkin Normalize Güç-Frekans grafiği*



*Şekil 13. RR Leo'nun V bandına ilişkin Genlik-Frekans grafiği*

#### 4. Tartışma ve Sonuç

**Period04** programı ile **ST Boo** yıldızı için elde edilen V bandına ilişkin 20-frekans analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir. Yapılan değerlendirme sonucunda 4.215365, 6.941648

değerlerindeki frekansların ST Boo için dikkate alınabileceği görüldü. Ayrıca f10 - f20 arasındaki frekansların V den farklı renklerdeki (B, ve R de, burada verilmemiştir) uyumsuzluğu ve özellikle genliklerine ait hataların büyük olması nedeniyle bu frekans değerlerinin güvenilir olmadıkları ve bu nedenle dikkate alınmaması gerektiği sonucuna varıldı. Bu frekansların uyumsuzluğundan ve hata miktarlarının yüksekliğinden onların yalancı frekans olabileceği düşünüldü. f6 ve f8 frekansları V ve R bantlarında uyumlu olmasına rağmen genliklerine ait hata miktarlarının büyük olmasından dolayı bu frekanslar da dikkate alınmadı. Sonuçta, V bandı baz alınarak, frekansların bandlara göre uyumu ve genlik değerlerindeki hata miktarları gözönünde tutularak 4.215365, 6.941648 frekanslarının yıldızın zonklama frekansı olabileceği görüldü. Çizelge 7’de bu 2 frekans değerine karşılık gelen dönemler ve dönemlerin hataları verilmektedir.

*Çizelge 7. ST Boo’nun V ve R bantlarında uyum gösteren frekanslar*

Frekans(gün <sup>-1</sup> )	P (gün)	$\sigma$ (gün)	S/N
4.215365	0.237227	$1.9 \cdot 10^{-5}$	11.179
6.941648	0.144058	$2 \cdot 10^{-2}$	3.258

**Lomb-Scargle** yöntemi ile **ST Boo** yıldızının frekans analizinde V bandı için elde edilen sonuçlar Çizelge 3’te verilmektedir. Çizelge 3’te elde edilen sonuçlar bu çalışmada verilmeyen B ve R bandı gözlem verileri kullanılarak elde edilenlerle uyumlu olmuştur. Frekansların güvenilirlik düzeyleri %90 ve üzeri olduğundan bu 10 frekansın ST Boo için zonklama frekansı olabileceği görülse de Şekil 5’te görülen teorik fit ile gözlemsel ışık eğrisinin tümü istenen uyumu sağlayamadığından dolayı bu 10-frekans çözümünün yıldızın zonklama doğasını tam olarak temsil edemeyeceği anlaşılmaktadır. Bu uyumsuzluğun en önemli sebebi aliasing etkisi olarak bilinen kesintili ışık eğrileri ve eksik kalan evre aralıklarıdır.

**Period04** programı ile **RR Leo** yıldızı için elde edilen V bandına ilişkin 20-frekans analiz sonuçları Çizelge 4’te verilmektedir.

Elde edilen frekanslardan birincisi olan  $f_1$  frekansının S/N oranı 3.5 'tan küçük olması nedeniyle gerçek ve güvenilir olamayacağı anlaşılmıştır. Diğer frekanslar farklı renklerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında B, V ve R bandları için (B ve R'de elde edilen sonuçlar burada verilmemektedir)  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , frekanslarında uyumlu iken V ve R bandları  $f_5$ ,  $f_6$  frekanslarında da uyum göstermektedir.  $f_4$  frekansına karşılık gelen genlikteki hata miktarının büyük olmasından dolayı  $f_4$  frekansı dikkate alınmamıştır.  $f_{11}$ - $f_{20}$  frekanslarının tüm bantlarda uyum göstermemesi ve genliklerine ait hataların büyük olması da bu frekansların gerçek frekanslar olmadığına bir göstergesi olmuştur. Sonuçta, V bandı baz alınarak, frekansların bandlara göre uyumu ve genlikteki hata miktarları gözönünde tutularak 8.633268, 13.469922 frekansları yıldızın zonklama frekansı olabileceği görüldü. RR Leo'ya ilişkin gecelik gözlem kadar hataları  $0^m.002$ 'dir. Çizelge 6'da bu frekans değerlerine karşılık gelen dönemleri ve dönemlerin hataları verilmektedir.

*Çizelge 6. RR Leo'nun B, V ve R bantlarında uyum gösteren frekanslar*

Frekans( $\text{gün}^{-1}$ )	P (gün)	$\sigma$ (gün)	S/N
8.633268	0.115830	$1.6 \cdot 10^{-5}$	9.452
13.469922	0.074239	$4.5 \cdot 10^{-5}$	8.851

**Lomb-Scargle** yöntemi ile **RR Leo** yıldızının 7-frekans analiz sonuçları her üç renkte birbirine oldukça yakın olmuştur. **AutoSignal** programı kullanılarak yapılan analiz sonucunda elde edilen V bandına ait 7 frekans değeri Çizelge 5'te verilmektedir. ST Boo'de olduğu gibi RR Leo'da da teorik ve gözlemsel ışık eğrilerindeki beklenen uyum görülemediğinden (Şekil 10 ve 11) bu 7-frekans çözüm sonucunun yıldızın zonklama doğasını tam olarak temsil edemeyecektir.

Bu yıldızlara ilişkin gecelik gözlemlerin frekansı analiz sonuçları gözlem verilerinin yeter sayıda olmaması nedeniyle pek güvenilir olmamıştır. Güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için daha çok sayıda ve kesintisiz olarak elde edilen gözlem verisine ihtiyaç



vardır. Bu olumsuz durum ancak kampanya gözlemleri ile giderilebilir.

Özetle, bu frekans analizi çalışmasında RR Leo ve ST Boo yıldızları için Period04 programında elde edilen frekans değerlerinin farklı bantlarda belirgin bir uyum göstermediği, ilgili frekanslara karşılık gelen genlikteki hataların bazen genliklerden daha büyük değerlere sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Period 04 programından elde edilen bu sonuçların uyumsuzluğundan ve değerlerin sahip olduğu hata miktarlarının büyüklüğünden dolayı RR Lyrae yıldızlarında Period04 programının pek güvenilir sonuçlar üretmediği görülmüştür. Buna karşın Lomb [10], Scargle [11] yöntemini uygulayan AutoSignal V 1.7 programının gerek tüm bantlardaki frekans uyumu ve gerekse frekansların güvenilirlik düzeylerine ilişkin değerlendirmenin etkin bir şekilde yapılarak sonuca ulaşılması, bu programın RR Lyrae türü yıldızların frekans analizinde Period04'e bir üstünlük sağladığını göstermiştir. Bu nedenle AutoSignal V 1.7 programının sonuçları dikkate alınarak RR Leo için Çizelge 6'daki, ST Boo için Çizelge 7'deki frekanslarının bu yıldızlara ilişkin zonklama frekansları olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu iki yıldız için Lomb [10] – Scargle [11] yöntemi ile elde edilen teorik ışık eğrilerinin, gözlemsel ışık eğrilerine göre takip eden zamanlarda uyumsuzluk göstermeleri bu sonuçların güvenilirliğini tartışmalı hale getirmiştir. Bu uyumsuzluğun en önemli sebebi aliasing etkisi olarak bilinen kesintili ışık eğrileri ve eksik kalan evre aralıklarıdır. Bu durum nedeniyle programda kullanılan veriler, program tarafından beklendiği ölçüde modellenememiş ve gerçekçi bir çözüm elde edilememiştir. Bu bağlamda çalışmada irdelenen her üç yıldız için daha güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için, bu verilerin başka gözlemevlerinde yapılacak kampanya gözlemleri ile birleştirilerek, gecelik kadar hataları gözlem verilerindeki zaman boşlukları, aliasing etkisi vb. gibi olumsuz etkilerden kaçınmak üzere değerlendirme yapılması bu sonuçların doğrulanması ve desteklenmesi bakımından önem kazanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Zessewitsch, W., (1931), “Über die Veränderlichen vom RR Lyrae-Typus ST Bootis und ST Leonis”, AN, 241,115
- [2] MC Namara, D. H., Langford, W.,R., (1969), “The Intrinsic Color indices of the RR Lyrae stars and the reddening near the galactic poles”, PASP, 81, 141
- [3] Clementini, G., R., Merighi, Tosive, M., (1991), “CaII K Line: New metallicity indicator for RR Lyrae stars”, AJ, 101, 6
- [4] Clementini, G., Caretta, E. , Gratton, R., Merighi, Mould, J. R. and McCarthy, J. K., (1995), “The Composition of HB Stars: RR Lyrae variables”, arXiv:astro-ph/9507056V1
- [5] Clementini, G., Di Tomaso, S., Di Fabrizio, L., Bragaglia, A., Merighi, R., Tosi, M., Carretta, E., Gratton, R. G., Ivans, I. I., Kinard, A., Marconi, M., Smith, H. A., Wilhelm, R.; Woodruff, T. and Sneden, C., (2000), “CU Comae: A New Field Double-Mode RR Lyrae Variable, the Most Metal-poor Discovered to Date”, AJ, 120, 2054-2064.
- [6] Pena, J. H., Arellano, Sareyan, J. P., Pena, R., Alvarez, (2007), “Physical parameter determination of seven RR Lyrae stars in Bootes”, Comm.in Asteroseismology Vol. 150.
- [7] Carney, W., B., Storm, Jesper and Jones, R. V., (1992), “The Baade Wesselink Method And Distance to RR Lyrae Stars.VIII. Comparisons With Other Techiques And Implications For Globular”, PASP, 104, 44-56
- [8] Kovacs, G., (2003), “Consistent distaces from Baade-Wesselink analyses of Cepheids and RR Lyraes”, MNRAS, 342, L58-L62
- [9] Lenz, P. and Breger, M., (2005), Comm. in Asteroseismology , Vol. 146
- [10] Lomb, N. R., (1976), “Least-squares frequency analysis of unequally spaced data”, Ap&SS, 39, 447
- [11] Scargle, J. D., (1982), “Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data”, ApJ, 263, 835
- [12] Wu, C., Qiu, J. L., Derg, J. S., Hu, J. Y. , Zhao, Y. H, (2006), “[Fe/H] derived from the light curves of RR Lyrae stars in the Galactic Halo”, A&A, 453, 895-902
- [13] Liu, T. and Janes, K., (1989), “The Luminosity Scale of RR Lyrae stars with the Baade-Wesselink Method I. Photometry and Radial Velocities”, ApJS, 69, 593-650.