

ROTSE-III'de Veri Arşivinde Kısa Dönemli Değişen Yıldızlar

Deniz Çoker^{1*}, Sacit Özdemir¹, Cahit Yeşilyaprak², Bülent Güçsav¹, Emre Aydın¹

¹Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, Ankara

²Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Astrofizik, Erzurum

Özet

Bu çalışmada ROTSE-III'de veri arşivinde bulunan kısa dönemli değişen yıldızların belirlenmesi ve analizleri otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Nokta kaynakların analizinde önce dönem belirleme için Lomb-Scargle algoritması uygulanmış ve kısa dönemli değişen yıldızlar belirlenmiştir (~1000). Daha sonra Fourier serisi fiti ile elde edilen katsayılar kullanılarak değişen sistemlerin sınıflandırılması yapılmıştır. Son olarak W UMa türü olarak belirlenen sistemlerin değme oranı (f), yörünge eğimi açısı (i) ve kütle oranı (q) yaklaşık olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: methods: data analysis, İkili Yıldızlar

1 Giriş

Özellikle son yıllarda hızla artan gökyüzü tarama projeleri nedeniyle artan verilerin bir o kadar hızlı indirgenebilmesi için otomatikleştirilmiş yöntem ve algoritmalara olan ihtiyaç oldukça önemli bir hale gelmiştir. Günümüzde yer bazlı ve uzaydan gerçekleştirilen gökyüzü tarama projeleri için geliştirilmiş otomatikleştirilmiş yöntem ve algoritma çalışmalarına literatürde de rastlanmaktadır (ör. Eyer ve Blake (2005), Devor (2005), Deboscher ve ark. (2007), Dubath ve ark. (2011) gibi).

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) yerleşkesinde bulunan ROTSE-III'de robotik teleskobu ile gözlemleri yapılmış ve atıl halde duran verilerden literatürde olmayan değişen yıldızların keşfi, bu değişenlerin dönemlerinin hesaplanması, sınıflandırılması ve bazı geometrik parametrelerinin belirlenmesi gibi bir çalışmanın henüz yapılmamış olması bu işlemleri otomatik hale getirecek ve bu bilgilere bizi hızlıca ulaştıracak bir yöntemin önemini ve gerekliliğini göstermektedir. Bu amaçla Çoker ve ark. (2013); Çoker (2015) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılarak ROTSE-III'de teleskobu tarafından gözlenen ~1000 bölgeye düşen 4.5 milyon civarındaki nokta kaynak incelenmiştir.

İncelenen kaynaklar içinden kısa dönemli değişenlere ($0.1 \text{ gün} < P < 1.5 \text{ gün}$), özellikle de W UMa türü (EW) örten değişen sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Belirlenen dönem kistasına göre sınıflanması olası olan değişen sistemler bazı geometrik (EW, EB, EA türü ya da bu yöntem için daha doğru bir sınıflama olacak olan E, EC, ESD, ED) ve bünyesel (δ Scu, RR Lyr) değişen sistemlerden oluşmaktadır.

Python ile geliştirilen yazılımın (PnF.py – Türk Astronomi Yazılımları [TAY]) adımları kısaca aşağıdaki gibidir:

- Tüm kaynaklara ait veri setlerinden olası dönem hesaplamaları literatürde sıkça kullanılan Lomb-Scargle (Lomb (1976), Scargle (1982)) periyodogram analizinin gerçekleştirilmesi.
- Kriterlere uygun sistemlere (kısa dönemli olması, döneminin doğruluğu gibi) uygulanan Fourier serisi fitlerinden Fourier katsayılarının elde edilmesi.
- Elde edilen Fourier katsayıları kullanılarak değişen sistemlerin sınıflandırılması.
- EW değişen türü olarak belirlenen sistemlerin yaklaşık geometrik parametrelerinin elde edilmesi.

2 Materyal ve Yöntem

45 cm ayna çapına ve geniş görüş alanına ($1^\circ.85 \times 1^\circ.85$) sahip Robotic Optical Transient Search Experiment (ROTSE-III) teleskobu gözlemlerini filtresiz ve tam otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Los Alamos Ulusal Laboratuvar'ında yapılan testlerde 5, 20 ve 60 s poz süreleri için ulaşılan limit parlaklık değerleri sırasıyla 17^m , $17^m.5$ ve $18^m.5$ olmuştur (Akerlof ve ark. (2003)).

Güçsav (2010) tarafından geliştirilen veri yolundan çıkan verilerden yararlanılarak yapılan bu çalışmada kriter olarak en az 100 adet nokta kaynak bulunan frameleden yararlanılmış ve ışık eğrileri elde edildikten sonra, ortalama parlaklığa göre $\pm 3\sigma$ dışındaki değerler eğrilerden çıkarılmıştır.

Kriterlere uygun ışık eğrilerine uygulanan Fourier serisi fitlerinden elde edilen katsayılardan yararlanılarak Rucinski (1993, 1997a,b) ve Pojmanski (2002) tarafından verilen teorik ışık eğrilerine ait katsayılar ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Rucinski (1993) oluşturduğu model ışık eğrilerine yapılan fitlerde

$$\ell(\theta) = \sum_0^{10} a_i \cos(2\pi i \theta)$$

şeklindeki 11 terimli kosinüs serisinden yararlanmıştır. Özellikle EW türü sistemler için yapılan bu çalışmada a_2 ve a_4 katsayılarının grafike edilmesiyle gözlemsel ışık eğrileri için f parametresinin yaklaşık olarak belirlenebileceğini göstermiştir. Değme oranı (f) parametresinin eldesinden sonra, i ve q parametrelerinin belirlenmesinde sadece a_2 katsayısından yararlanabileceğini belirtmiştir.

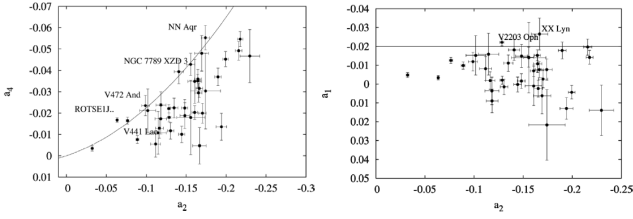
Rucinski'nin OGLE projesi kapsamında 933 örten değişen için yaptığı çalışmada ise iç kritik eş potansiyel limitini gösteren $f = 0$ bağıntısını temsili olarak

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

bağıntısını vermiştir (Rucinski (1997a)). Aynı çalışmada zonklayan sistemlerin ise genelde a_2 -- a_4 grafiğinin alt kısmında kaldığını yani $a_4 > 0$ (pozitif) değerlerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Aynı projenin devamı makalesinde ise Rucinski (1997b), minimumlar arası derinlik farkına duyarlı olan a_1 katsayısından yararlanmıştır. Elde edilen a_2 -- a_1 grafiğinde değen sistemlerin $-0.02 < a_1 < 0$ ile belirtilebilecek bir bant aralığında dağıldığı gözlemlenmiştir.

* denizcoker@gmail.com



Şekil 1. ROTSE-III'de gözlenmiş 38 adet W UMA türü örten değişen sistemin a_2 -- a_4 ve a_2 -- a_1 düzlemi üzerindeki dağılımları (Çoker ve ark. (2013))

Yine benzer bir çalışma Hoffman ve ark. (2009) tarafından NSVS verileri kullanılarak 4659 adet değişen sistemin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada özellikle R Rab türü değişenlerin pozitif a_4 katsayılarına sahip oldukları belirtilmiştir.

Çoker ve ark. (2013) tarafından ise ROTSE-III'de arşivde bulunan ve literatürde EW türü olarak bilinen 38 sistem incelenmiştir. Rucinski'nin yaptığı çalışmalardan yararlanılmış ve aynı şekilde bu sistemlerin a_2 -- a_4 grafiği ve a_2 -- a_1 grafiğindeki dağılımlarına bakılmıştır (Şekil1). Grafiklerden a_2 -- a_1 göre sadece 2 sistemin -0.02 kriter çizgisinin üstünde kaldığı ancak hata barları ve çizgiye olan yakınlıkları dolayısıyla EW türü sistemler olabilecekları gösterilmiştir.

Pojmanski (2002) yaptığı çalışmada 4500 teorik ışık eğrisine

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

şeklinde formüle edilen fitler gerçekleştirmiş, elde edilen katsayılardan EW, EB ve EA sınıflandırması yerine Roche geometrisine göre yapılan ayırık (ED), yarı-ayırık (ESD) ve değen (ED) sınıflamasının daha doğru olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada sinüs teriminden gelen b katsayılarından b_2 -- b_4 veya a_4 -- b_4 grafiklerinden yararlanılarak zonklayan sistemlerin daha iyi ayıklanabileceği gösterilmiştir.

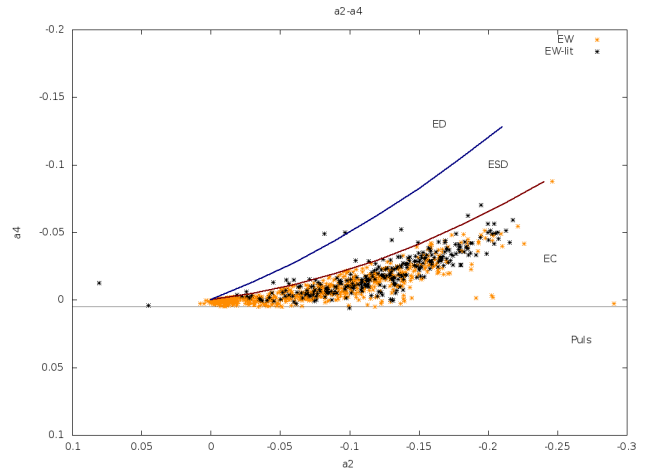
Yapılan bu çalışmada kullanılan yazılımın adımları kısaca aşağıda verildiği şekildedir.

- Analizlerden $m_{err} \geq 0^{m.5}$ olan sistemler çıkarılmıştır.
- Dönem analizlerinde lomb.py algoritmasından yararlanılmıştır.
- Girdi parametreleri x , y , ofac ve hifac şeklindedir. Burada x zaman, y parlaklık, ofac oversampling factor ve hifac ise en yüksek frekansın Nyquist frekansına oranıdır.
- Tüm sistemler için dönem hesabı (j_{max} , en güçlü pikin indeksi): $P = 2 f^{-1} x_{j_{max}}$
- 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.

$$\ell(\theta) = \sum_0^4 a_i \cos(2\pi i \theta) + b_i \sin(2\pi i \theta)$$

Elde edilen 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)



Şekil 2. Literatürde tür bilgisi bulunan EW türü sistemlerin a_2 ve a_4 katsayılarının dağılımı.

- $-0.02 \leq a_1 \leq 0.025$ sistemler; EW
- $a_1 < -0.035$ sistemler; EB

şeklinde gerçekleştirilmekte ve sonrasında EW olarak belirlenen sistemler Rucinski (1993) ve Hambalek ve Pribulla (2013) tarafından sunulan tablolardan;

- a_2 ve a_4 katsayılarının kullanımıyla f
- f değerine karşılık gelen a_2 katsayılarının kullanımıyla ise i ve q

parametrelerinin değerleri belirlenmektedir.

3 Bulgular

L-S algoritması ile elde edilen sonuçlara göre değişen sistemlerin %97'sinin hesaplanan dönemlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Aynı şekilde Fourier katsayılarının kullanımıyla yapılan sınıflandırmanın da literatür ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

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

Elde edilen katsayıların kullanımıyla çizdirilen a_2 -- a_4 ve a_2 -- a_1 katsayılarının literatürde tür bilgisi olanlarla kıyaslandığında özellikle EW türü sistemlerde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği Şekil2'den de görülebilmektedir.

Analizleri yapılan EW türü sistemlerden literatürde f , i ve q bilgileri bulunan örnek 5 sistemin sonuçlarının karşılaştırılması yapıldığında genel olarak yakın değerlere sahip oldukları görülmüştür. Özellikle i parametresi literatür ile oldukça uyumludur. Ancak uygulanan yöntemde W UMA türü sistemlerin W ve A alt tür ayrımı imkanı bulunmadığından özellikle q parametrelerinin daha hatalı belirlenebileceği düşünülmektedir. Bu düşüncemizi ve sonuçlarımızın güvenilirliğini test etmek için literatürde hem tayfsal hem de fotometrik gözlemleri bulunan 8 adet EW türü sistemden yararlanarak aynı yazılımdan çıkan sonuçlar literatür bilgileriyle karşılaştırılmıştır. Yine özellikle f ve i parametreleri oldukça iyi saptanabilirken q parametrelerinin çok uyumlu olmadığı görülmüştür. Bu da bizi yine W ve A alt tür sistemlerin belirlenememesi kaynaklı bir sorun olduğu sonucunu götürmektedir.

Yaptığımız bu çalışma sonucunda literatürde dönem ve sınıf bilgisi bulunan 543 değişene ek olarak toplam 688 yeni keşif ve sınıflandırma yapılmıştır. Bunlardan 411 tanesi EW, 31 tanesi EB, 116 tanesi ESD, 57 tanesi ED ve 73 tanesi pulsasyon yapan sistem olarak belirlenmiştir. Özellikle [Pojmanski \(2002\)](#) tarafından önerilen b_2 katsayılarının kullanımı sayesinde pulsasyon yapan sistem olarak tekrardan sınıflandırılan sistemlerin %78'inin literatür ile uyumlu olduğu saptanmış ve bu yöntemin oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

4 Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışma sayesinde yığın verilerin analizinde otomatikleştirilmiş programların önemi bir kere daha görülmüştür. Geliştirilen yazılımın en önemli hedefi, işlenen yığın verinin doğru ve hızlı bir şekilde, değişim türüne göre sınıflandırma yapması; bulunan EW türü sistemlere ait geometrik parametreleri tahmin etmesidir. Elde ettiğimiz sonuçlar doğrultusunda EW türü değişenlerin geometrik parametrelerinden i parametresi çözümlere oldukça yakın ancak f ve özellikle de q parametrelerinin ise çok güvenilir olmadığı görülmüştür.

Elde edilen a_i katsayılarındaki hataların olası nedenleri; ışık eğrilerindeki saçılmalar, bazı sistemlerin sahip olduğu küçük ışınım genliği ($\Delta m < 0.3$), A/W türü sistemlerin ayrımının yapılamaması ve olası 3. ışık etkisi olarak düşünülmektedir.

Bu çalışma sonucundan elde edilen f , i ve q parametre değerlerinin örten çift yıldız modellemelerinde kullanılan programlar (PHOEBE gibi) için başlangıç parametreleri olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akerlof, C. W., Kehoe, R. L., McKay, T. A., Rykoff, E. S., Smith, D. A., Casperson, D. E., McGowan, K. E., Vestrand, W. T., Wozniak, P. R., Wren, J. A., Ashley, M. C. B., Phillips, M. A., Marshall, S. L., Epps, H. W. and Schier, J. A.: The ROTSE-III Robotic Telescope System. The Publications of the Astronomical Society of the Pacific. **115** (2003) 132--140
- Çoker, D., Özdemir, S., Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N. and Güçşav, B. B.: A Study on W Ursae Majoris-Type Systems Recognised by the ROTSE-III'd Experiment. Publications of the Astronomical Society of Australia. **30** (2013) id.e013
- Çoker, D.: Fourier Filtreleme Yöntemi ile Rotse-III'd Veritabanındaki W UMa Türü Değişen Yıldızların Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2015) Ankara.
- Debusscher, J., Sarro, L. M., Aerts, C., Cuypers, J., Vandebussche, B., Garrido, R. and Solano, E.: Automated supervised classification of variable stars. I. Methodology. Astronomy and Astrophysics. **475** (2007) 1159--1183
- Devor, J.: Solutions for 10,000 Eclipsing Binaries in the Bulge Fields of OGLE II Using DEBiL. The Astrophysical Journal. **628** (2005) 411--425
- Dubath, P., Rimoldini, L., Süveges, M., Blomme, J., López, M., Sarro, L. M., De Ridder, J., Cuypers, J., Guy, L., Lecoœur, I., Nienartowicz, K., Jan, A., Beck, M., Mowlavi, N., De Cat, P., Lebzelter, T. and Eyer, L.: Random forest automated supervised classification of Hipparcos periodic variable stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. **414** (2011) 2602--2617
- Hambalek, L. and Pribulla, T.: The reliability of mass-ratio determination from light curves of contact binary stars. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. **43** (2013) 27--46
- Hoffman, D. I., Harrison, T. E. and McNamara, B. J.: Automated Variable Star Classification Using the Northern Sky Variability Survey. The Astronomical Journal. **138** (2009) 466--477
- Eyer, L., Blake, C.: Automated classification of variable stars for All-Sky Automated Survey 1-2 data. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. **358** (2005) 30--38

- Güçşav, B. B.: Robotik Teleskop Arşivlerinden Farklı Gökcisimlerinin Saptanması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2010) Ankara.
- Lomb, N. R.: Least-squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data. Astrophys. Space Sci. **39** (1976) 447--462
- Pojmanski, G.: The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0 h - 6 h Quarter of the Southern Hemisphere. Acta Astronomica. **52** (2002) 397--427
- Rucinski, S. M.: A simple description of light curves of W UMa systems. Publications of the Astronomical Society of the Pacific. **105** (1993) 1433--1440
- Rucinski, S. M.: Eclipsing Binaries in the OGLE Variable Star Catalog. I. W Uma-Type Systems as Distance and Population Tracers in Baade's Window. The Astronomical Journal. **113** (1997a) 407--424
- Rucinski, S. M.: Eclipsing Binaries in the OGLE Variable Star Catalog. II. Light Curves of the W UMa-Type Systems in Baade's Window. The Astronomical Journal. **113** (1997b) 1112--1121
- Scargle, J. D.: Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. Astrophys. J. **1** (1982) 835--853

Erişim:

O34-1645: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A](#).