

KEPLER VERİLERİNİN ANALİZLERE UYGUN YAPIYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Hakan V. ŞENAVCI¹, Lale ÇELİK¹, Fehmi EKMEKÇİ¹, M. Ertan TÖRÜN¹, James M. NEMEC², Katrien KOLENBERG³, Joseph M. BENKO⁴, Robert SZABO⁴, Donald W. KURTZ⁵, Karen KINEMUCHI⁶

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, E-Blok 2. Kat Tandoğan Ankara
(eposta: hvsenavci@ankara.edu.tr, lalecelik81@gmail.com, fekmekci@science.ankara.edu.tr, ertan.torun@gmail.com)

² Department of Physics & Astronomy, Camosun College, Victoria, British Columbia V8P 5J2 Canada
(eposta: jmn@isr.bc.ca)

³ Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138, USA
(eposta: kkolenbe@cfa.harvard.edu)

⁴ Konkoly Observatory, Research Center for Astronomy and Earth Sciences, PO Box 67, H-1525 Budapest, Hungary

(eposta: benko@konkoly.hu, rszabo@konkoly.hu)

⁵ Jeremiah Horrocks Institute, University of Central Lancashire, Preston PR1 2HE, UK
(eposta: dwkurtz@uclan.ac.uk)

⁶ Apache Point Observatory/New Mexico State University, PO Box 59 Sunspot, NM 88349, USA
(eposta: kinemuchi@apo.nmsu.edu)

Özet: Bu çalışmada Kepler uydusu tarafından elde edilen verilerin, ötegezegen araştırmaları dışında diğer astrofiziksel amaçlara yönelik analizlerin daha gerçekçi olarak yapılabilmesi için düzenlenmesine ilişkin bazı aşamalar tanımlandı. Bu bağlamda, aletsel ve sistematik hataların giderildiği bazı aşamalarla ilgili bilgiler verilerek farklı sezonlarda elde edilmiş verilerin seviye farklarının giderilmesi ve birleştirilmesine ilişkin “stitching” aşaması, RR Lyr türü bünyesel değişen yıldızlara ilişkin örneklerle birlikte tartışıldı.

1. Giriş

Kepler uydusunun birincil görevi, transit yöntemi yardımıyla soğuk yıldızlar etrafında dolanan Dünya benzeri gezegenleri keşfetmektir. Kepler Uydusu tarafından, Kuğu – Çalgı Takımyıldızları civarında yaklaşık 156000 yıldızın neredeyse kesintisiz olarak elde edilen ve oldukça yüksek duyarlılığa sahip verileri kullanılarak keşfedilen ötegezegen sayısı, 06 Eylül 2012 tarihi itibarıyla 74'e ulaşmıştır. Bu yüksek kalitedeki veri, ötegezegen araştırmalarının yanısıra özellikle asterosismolojik çalışmalarla birlikte, farklı türden fiziksel süreçlere sahip birçok yıldızın ayrıntılı araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Buna ek olarak, yine bu yüksek kalitedeki veri yardımıyla, yeni değişen yıldız türleri bile keşfedilebilmektedir (bkz. Thompson vd. 2012).

Gökyüzünde yaklaşık 115 derece karelik bir alanı gören ve 21 CCD'den oluşan Kepler uydusu, Güneş enerjisinden en iyi biçimde yararlanabilmek amacıyla 3 ayda bir 90 derece dönmektedir ve bu 3 aylık dönemler sezon (quarter) olarak adlandırılır. İncelenmek istenen cisim, uydunun bu hareketi nedeniyle farklı sezonlarda teleskobun görüş alanında farklı bölgelere ve dolayısıyla farklı CCD'lere düşmektedir. Bu da, CCD'lerin farklı duyarlılıklara sahip olması ve ek olarak takip problemi, ısıl etkiler gibi bazı diğer altesel etkiler nedeniyle (detay için bkz. Koch vd. 2010 ve Haas vd. 2010), ilgili cisim için farklı sezonlarda Kepler Uydusu tarafından elde edilen ışık eğrilerinde genlik ve seviye farkları ile trendlerin (eğilim) oluşmasına neden

olmaktadır. Uluslararası ortaklık kapsamında KASC (Kepler Asteroseismic Science Consortium) çalışma grubu ile sürdürülen bu çalışmada, Kepler Uydu verilerinin analizinden önce gerçekleştirilmesi gereken düzeltme adımlarından biri, farklı sezonlarda elde edilmiş ışık eğrilerinde oluşan genlik ve seviye farklarının giderilmesiyle (stitching) ilgili bilgiler çalışma grubumuz tarafından geliştirilen yöntemle birlikte verilerek bazı RR Lyr türü bünyesel değişen yıldızların Kepler ışık eğrileri üzerinde örneklendirildi. Buna ek olarak, stitching aşamasından önce gerçekleştirilmesi gereken ve aletsel etkilerden kaynaklanan hataların giderilmesinin gerçekleştirildiği PyRAF programı ile çalışan Kepler paketinin altındaki bazı uygulamalar ile ilgili bilgiler verildi.

2. Aletsel Etkilerden Kaynaklanan Hataların Giderilmesi

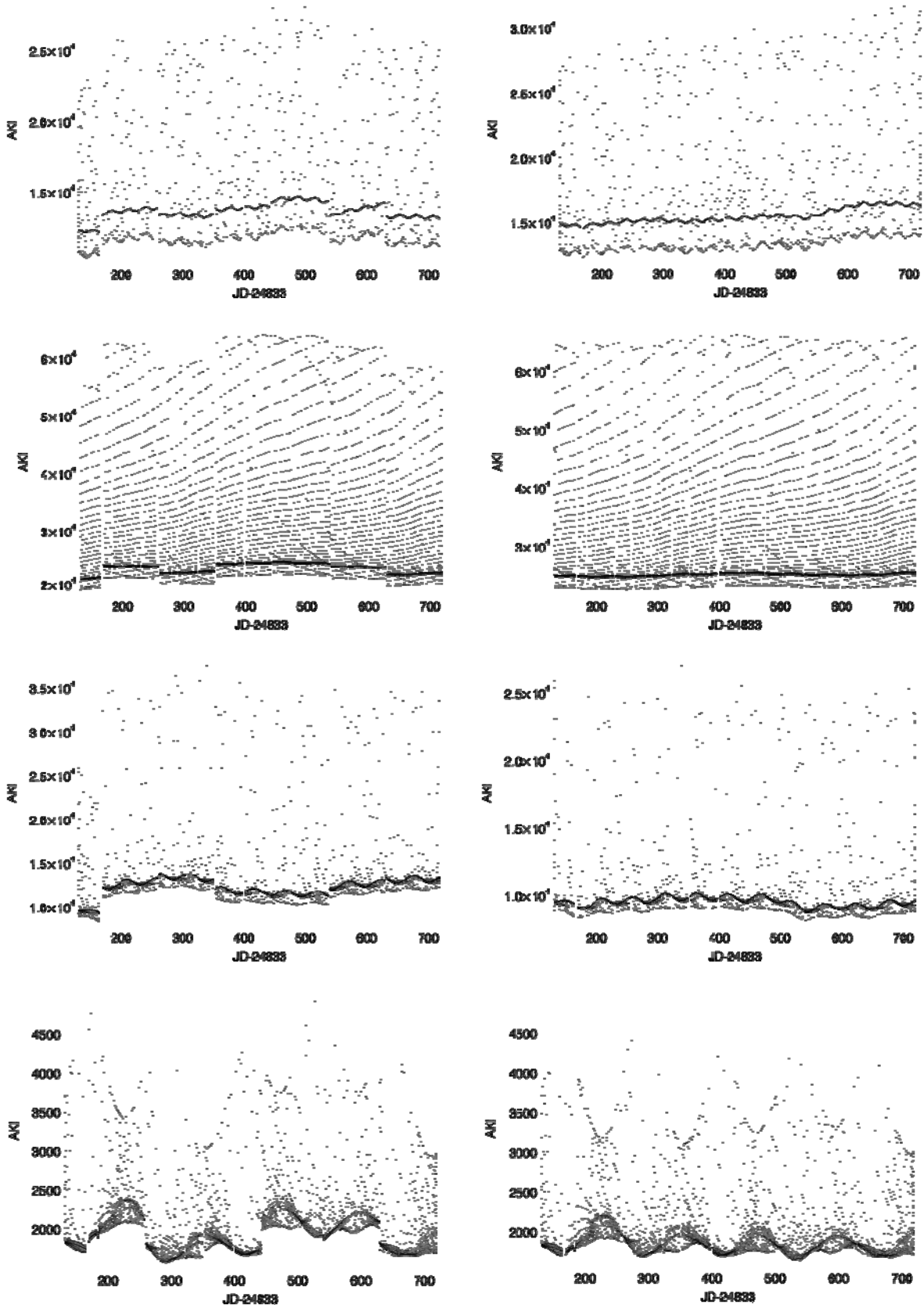
Kepler Uydusunca elde edilen verilerin kalibre edilerek basit açıklık fotometrisi uygulanmış hali “SAP Flux” (Simple Aperture Photometry Flux) olarak tanımlanmaktadır. Bu veri seti, içerisinde kısaca Giriş Bölümü'nde de bahsedilen aletsel ve sistematik hataları içermektedir. Örneğin, uydunun dönmesi nedeniyle hedef cisim farklı bir CCD'ye düşecek ve dolayısıyla nokta dağılım fonksiyonu (PSF) değişecektir. Bu da, yeni bir CCD karakteristiğini ve nokta dağılım fonksiyonunu dikkate alan yeni bir açıklık değerini yani, hedef cismin içinde bulunduğu yeni piksellerin seçimini gerektirmektedir. Buna ek olarak, hedef cismin bulunduğu açıklık içine girmiş arka alan cisimlerinden kaynaklanan yüksek sayım değerleri de hedef cisme ilişkin verileri olumsuz yönde etkilemektedir. Uyduya ilişkin sistematik hatalar, her dedektöre düşen ve özel olarak seçilmiş bazı “sabit ışınımlı” yıldızların ışık değişimlerinden elde edilmiştir. Her sezon ve her CCD için bu sistematik değişimler 16 model vektör ile temsil edilmiş ve bu vektörler “Cotrended Basis Vectors – CBV” olarak adlandırılmıştır. Bu vektörler kullanılarak ışık eğrilerindeki trendler giderilebilir.

Bilinen bu hatalar doğrultusunda, Kepler “Science Operations Center – SOC”, bir dizi kalibrasyon adımı ve yöntem geliştirerek ilgili hataların büyük ölçüde giderilebildiği “Pre-Search Data Conditioning – PDC” olarak adlandırılan PDCSAPFlux değerlerini tüm veriler için yayınlamıştır (Fanelli vd. 2011). Her ne kadar PDCSAPFlux değerleri büyük ölçüde ilgili hataları giderebilmiş olsa da, ötegezegen araştırması dışında diğer astrofiziksel problemler için ilgili adımların PyRAF Kepler paketi altındaki uygulamalar kullanılarak amaca uygun bir biçimde manuel olarak gerçekleştirilmesi önerilmektedir (detay için bkz. Kepler Science Center/PyKE Primer). Bu bağlamda kullanıcı, hedef cisme ilişkin verilerin elde edildiği pikselleri görmek için Kepler paketi altındaki “keppixseries” uygulamasını kullanabilir, “kepmask” ve “kepextract” uygulamaları yardımıyla astrofiziksel amaca uygun olarak sırasıyla hedef pikselleri belirleyerek yeni ışık eğrilerini elde edebilir. Ayrıca, hedef cismin ilgili açıklık içindeki akı kesrini içeren “FLFRCSAP” ve hedef cismin içinde bulunduğu açıklıkta varsa diğer cisimlerin akılarına oranını barındıran “CROWDSAP” parametreleri yardımıyla, sırasıyla genlik düzeltmesi ve arka alan gürültüsünden arındırma aşamaları “keparith” uygulaması kullanılarak gerçekleştirilebilir. Buna ek olarak hedef cismin ışık eğrilerindeki uydu kaynaklı sistematik eğimler, yukarıda bahsedilen CBV'lerin her sezon için elde edilen uygun modelleri kullanılarak “kepcotrend” uygulaması yardımıyla giderilebilir.

3. Genlik ve Seviye Farklarının Giderilmesi (Stitching)

Kepler SOC tarafından yayınlanan PDC verileri, gerek oldukça düşük genlikli gezegen transitlerinde, gerekse yıldız aktivitesi veya dönmesi gibi yüksek duyarlılık gerektiren astrofiziksel analizlerde beklenen performansı gösterememektedir (Stumpe vd. 2011). Ayrıca, manuel olarak gerçekleştirilen adımlar esnasında bazı eksikliklerle karşılaşmaktadır (kullanıcı tarafından belirlenen yeni hedef pikseller için “FLFRCSAP” ve “CROWDSAP” parametrelerinin bulunmaması gibi). Dolayısıyla Kepler verilerinin ilgili astrofiziksel problem doğrultusunda analizi için farklı araştırmacılar tarafından farklı yöntemler geliştirilmektedir (örn. Prsa vd. 2012). Bu bağlamda araştırma grubumuz tarafından özellikle RR Lyr türü bünyesel değişen yıldızların frekans analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için Kepler verilerinin düzenlenmesine yönelik bir yöntem geliştirildi.

Verilerin yeniden ölçeklendirilmesine ilişkin yöntem; ardışık iki sezonda, Kepler uydusunun Güneş enerjisinden en iyi biçimde yararlanabilmek amacıyla 3 ayda bir 90 derece dönmelerinden kaynaklanan veri boşlukları arada kalacak şekilde, zaman ölçeğinde birbirine en yakın birkaç çevrimin evrelendirilerek karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu karşılaştırma, ilgili çevrimlerin aynı evrelere ilişkin seviye farklarının eşit olması gerektiği prensibini temel almaktadır. Tekniğin uygulanması oldukça basit işlemlere dayanmaktadır. İlk olarak bilinmesi gereken en önemli parametre yıldızın dönemi (burada RR Lyr yıldızları için temel modda zonklama dönemi). Yıldızın dönemi elde edildikten sonra birinci sezona ilişkin veri setinin son noktasından itibaren yıldızın döneminin, örneğin 5 katı kadar öncesi alınır ki bu, birinci sezondaki ışık eğrilerinin son beş çevrime karşılık gelmektedir. Benzer şekilde ikinci sezonun, bu sefer veri setinin ilk noktasından başlamak üzere, yıldızın döneminin 5 katı kadar sonrası alınır. Bu da ikinci sezonun ilk beş çevrimine karşılık gelir. Bu aşamadan sonra alınan bu verilerin evrelendirme işlemine geçilir. Bunun için yıldızın döneminin yanında bilinmesi gereken bir diğer önemli parametre referans alınabilecek bir zamandır. Bu, örneğin RR Lyr türü yıldızları için maksimum zamanı olabilir. Birinci ve ikinci sezonlara ilişkin sırasıyla son beş ve ilk beş çevrimin evrelendirme işleminin ardından aynı evrelerin karşılaştırılması aşaması gerçekleştirilir. Bu aşamada evrenin hassasiyeti önem kazanır. Bu çalışma kapsamında evre hassasiyeti noktadan sonra iki hane olarak alınmıştır. Dolayısıyla mevcut evreler noktadan sonra iki haneye yuvarlanarak karşılaştırma işlemi gerçekleştirilir. Karşılaştırma sonrasında her iki sezon için evrelendirilen ışık eğrilerinin aynı evrelere karşılık gelen akı değerleri belirlenerek oranlanır (birinci sezona ilişkin akı değerleri ikinci sezona ilişkin akı değerlerine bölünür) ve ilgili evreler için katsayılar elde edilmiş olur. Bu aşamadan sonra elde edilen tüm katsayıların aritmetik ortalaması alınarak ikinci sezon için tek bir katsayı elde edilmiş olur. İkinci sezona ilişkin tüm akı değerleri bu katsayı ile çarpılarak ilk iki sezon için ölçeklendirme tamamlanmış olur. Her ölçeklendirme işleminden sonra ölçeklendirmenin yapıldığı sezonlar tek bir sezon olarak kabul edilir ve bu işlem mevcut sezon sayısı kadar tekrarlanır. İlgili yöntem ile dört RR Lyr türü bünyesel değişen KIC5559631, KIC10789273, KIC12155928 KIC7671081 yıldızları için, kullanıcıya açık 7 (Q1 – Q7) sezonluk Kepler verilerinden PDCSAPFlux değerleri kullanılarak yapılan ölçeklendirme işleminin sonuçları ölçeklendirilmemiş ışık eğrileri ile karşılaştırmalı olarak Şekil-1'de verildi.



Şekil-1. KIC5559631, KIC10789273, KIC12155928 ve KIC7671081 yıldızlarının ölçeklendirilmemiş (sol panel) ve ölçeklendirilmiş (sağ panel) ışık eğrileri

4. Tartışma ve Sonuç

Bölüm 3'de verilen Şekil-1'de, özellikle KIC5559631 ve KIC12155928 yıldızlarının ışık eğrilerinde hatırı sayılır ölçüde trend gösteren yapılar görülmektedir. Işık eğrilerine ilişkin seviye farklarının giderilmesinde kullanılan yöntem, her bir sezon için bir katsayı belirleyerek ışık eğrilerini bu katsayı ile çarpılmasına dayanmaktadır. Dolayısıyla ışık eğrilerinde görülen bu trend, kullanılan PDCSAPFlux değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bu da gerçekten Kepler SOC tarafından yayınlanan PDC değerlerinin çok da başarılı olmadığını bir göstergesidir. Yine Kepler SOC tarafından, farklı bir yaklaşımı temel alan ve astrofiziksel çalışmalarda kullanımı daha verimli olan yeni bir PDC versiyonu yakın zamanda yayınlanacaktır.

Çalışma grubumuz tarafından geliştirilen yöntem, yine Şekil-1'den de görülebileceği gibi RR Lyr türü bünyesel değişen yıldızlar için oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Yöntemin uygulandığı ve C programlama dilinde yazılan arayüzlü kod, halen geliştirme aşamasında olup FITS formatındaki Kepler verilerini okuyarak header parametrelerinin ve farklı veri setlerinin (örn. SAPFlux, PDCSAPFlux gibi) grafik arayüzü ile çizdirilerek incelenmesine olanak sağlamaktadır. Kod, mevcut versiyonu ile sadece tek bir T_0 ve P parametresi kullanarak evrelendirme işlemini gerçekleştirmektedir. Ancak önemli ölçüde dönem değişiminin görüldüğü yıldızlarda, örneğin her bir sezon için farklı T_0 ve P değeri kullanılarak, kodun daha sağlıklı bir evrelendirme işlemi yapacak şekilde geliştirilmesi planlanmaktadır. Buna ek olarak, kodun RR Lyr türü bünyesel değişen yıldızlar dışında farklı türden değişen yıldızlar için de (örn. örten değişen yıldızlar, delta-scuti türü bünyesel değişen yıldızlar gibi) kullanılabilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

5. Kaynaklar

Fanelli, Michael N., Jon M., Bryson, Stephen T. vd., “Kepler Data Processing Handbook”, 2011, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA. 94035.

Haas, Michael R., Batalha, Natalie M., Bryson, Steve T. vd., “Kepler Science Operations”, 2010, ApJL, 713, 115.

Koch, David G., Borucki, William J., Basri, Gibor vd., “Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science”, 2010, ApJL, 713, 79.

Prsa, Andrej, Kepler Eclipsing Binary Working Group, “Eclipsing Binaries with the Kepler Mission”, 2012, AAS, 22040601.

Smith, Jeffrey C., Stumpe, Martin C., Van Cleve, Jeffrey E. vd., “Kepler Presearch Data Conditioning II - A Bayesian Approach to Systematic Error Correction”, 2012, arXiv1203.1383.

Stumpe, Martin C., Smith, Jeffrey C., Van Cleve, Jeffrey E. vd., “Kepler Presearch Data Conditioning I - Architecture and Algorithms for Error Correction in Kepler Light Curves”, 2012, arXiv1203.1382.

Thompson, Susan E., Everett, M., Mullally, F. vd., “A Class of Eccentric Binaries with Dynamic Tidal Distortions Discovered with Kepler”, 2012, ApJ, 753, 86.

