

# Jirokronoloji: Konvektif Yüzeyi Olan Yıldızlarda Yaş–Dönme Dönemi İlişkileri

Akcan Dayıbaş<sup>1</sup>★, Günay Taş<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

## Özet

~50 yıllık tarihçesi olan arakatman dinamosu ile üretilen aktivite, geri tür ankol yıldızlarının kütle ve sıcaklık gibi salt fiziksel parametreleriyle ilişkilidir. Bu yıldızlarda dönme döneminin yaşla artıyor olduğunun gözlemlerle ortaya koyulması, dönme döneminin bir yaş öngörme aracı olarak kullanılma olasılığını gündeme getirmiştir. Bu tür dönme dönemi–yaş ilişkileri günümüzde yaygın olarak “jirokronoloji” olarak adlandırılır. Bu çalışmada, Kepler uydusu tarafından gözlenen ve dönme dönemi bilinen 5935 yıldızın çeşitli jirokronoloji ilişkileri aracılığıyla elde edilmiş yaşları ve dönme dönemleriyle, etkin sıcaklık, renk ve yüzey çekimi parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** stars: pre-main-sequence, Yıldızlar, Ötegezegenler

## 1 Giriş

Yıldızların yaşlarını belirlemek, evrimsel süreçlerini anlamak açısından son derece önemlidir. Buna karşın temel yıldız parametreleri arasında yaş, hassas bir şekilde belirlenmesi en zor olanlarından. Bunun en önemli nedeni, yaştan doğrudan gözlenebilen bir parametre olmaması ve doğrudan gözlenebilen diğer parametrelerle hassas bir şekilde ifade edilmesindeki zorluklardır. Bu nedenlerden dolayı yıllar içinde farklı koşullar altında farklı doğrulukta sonuçlar veren pek çok yaş belirleme yöntemi geliştirilmiştir (örn. küme yıldızlarının ankol dönme noktasının belirlenmesi, Li bolluğu analizi gibi). Güneş benzeri aktivite gösteren ankol yıldızlarında aktivite düzeyi ve dönme dönemi zamana bağlı olarak belirgin bir şekilde azalır; dolayısıyla bu parametreler yaşla ilişkili görünürler.

Güneş benzeri aktivite, ~ A7–M3.5 tayf türü aralığında ortaya çıkan arakatmana sahip geri tür yıldızlarda gözlenir (Reiners et al. 2009). Bu tür aktivitede, arakatman dinamosu adı verilen bir dinamo mekanizmasıyla yüzeye ulaşan manyetik alan çizgileri ve buna bağlı olarak dönemli ışık değişimlerine yol açan aktivite yapıları oluşur. Bu manyetik alan sonucu gerçekleşen koronal kütle atımları ve kromosferik flareler, yıldızın açısal momentum kaybederek dönme hızının zamanla yavaşlamasına yol açar. Bu sebeple belirli bir dönme hızına sahip Güneş benzeri aktivite gösteren bir ankol yıldızının teorik olarak yaşının tahmin edilebilmesini beklemek mantıksız bir yaklaşım olmaz.

Yüzey konveksiyonuna sahip yıldızların dönme hızı ile aktivite düzeyi arasındaki matematiksel ilişki ilk olarak Skumanich (1972) tarafından ifade edildi. Bu ilişkiye göre, bu yıldızlarda dönme hızı  $v$ , yaş  $t$  ile  $v \propto t^{-1/2}$  şeklinde orantılıdır. Daha sonraki gözlemlerin bu ilişkinin kütleyle bağlılığını ortaya çıkarmasıyla Barnes (2003), gözlenebilen bir kütle belirteci olan  $B - V$  renk ölçüğünü ve dönme hızı  $v$ 'nin aksine eğiklik açısı  $i$ 'ye bağlı olmadan gözlemlerden elde edilebilen dönme dönemi  $P$ 'yi kullandı ve yıldızların yaşını  $P - (B - V)$  düzleminde ifade ettiği bu ilişkiye “jirokronoloji” adını verdi. Barnes (2007) (B07) tarafından gözlemlere bağlı olarak ifade edilen jirokronoloji ilişkisi  $\log(t) = \frac{1}{n} \{ \log P - \log a - b \times \log(B - V - c) \}$  şeklindedir. Burada yaygın olarak  $P$  gün ve  $t$  milyon yıl cins-

inden ifade edilir.  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $n$  ise dönme dönemi ve yaşı bilinen yıldızlar kullanılarak elde edilen sabitlerdir. Günümüzde 2MASS, SDSS, KEPLER ve Gaia gibi büyük miktarda veri sağlayan gökyüzü taramaları, istatistik astronomi yapmaya, dolayısıyla içinde yaş–dönem ilişkisinin de olduğu pek çok kullanışlı astronomi ilişkisini test etmeye veya üretmeye olanak vermektedir. Bu çalışmada da Kepler uydusuna ait veriler kullanılarak aktif yıldızlardan elde edilen dönme dönemleri ve yaşlar arasında bir ilişki araştırılacak ve böyle bir ilişkinin ortaya koyulmasındaki sorunlar tartışılacaktır.

## 2 Analiz

Bu çalışmada dönme dönemleri yakın zamanda belirlenmiş yıldızlar kullanılarak jirokronoloji ilişkisi test edilecektir. Bunun için Kepler gökyüzü taramasıyla ışık değişimi gösterdiği belirlenen yıldızların verilerine dönem analizi uygulayarak dönme dönemlerini belirlemiş olan üç araştırmacı grubu tarafından şu dört çalışmada yayımlanan dönme dönemleri kullanılmıştır: McQuillan et al. (2013, 2014): 36040 yıldız, Nielsen et al. (2013): 12151 yıldız, Reinhold et al. (2013): 24124 yıldız.

Kepler gökyüzü taraması çok sayıda yıldızla ilişkin yüksek hassasiyete sahip veriler toplamakta ve bu veriler otomasyona tabi tutularak analiz edilmektedir. Dolayısıyla eğitimli bir gözün dikkatinden kaçmayacak önemli detaylar böylesi bir işlemler gözden kaçabilir. Bu düşünceyle bir kontrol oluşturmak üzere aşağıdaki ilk adımlar gerçekleştirildi.

- Çalışmalardaki veriler birbiriyle karşılaştırıldı ve üç grupta da yer alan ortak yıldızlar bulundu. Her üç grupta yer alan ortak yıldızların sayısı 8640'tır.
- Çalışmamızda yararlandığımız üç kaynakta ismi bulunmasına rağmen dönemleri farklı ifade edilmiş yıldızlar bu çalışmadan çıkarıldı.
- Üç kaynakta da en fazla 0.5 günlük dönem farkıyla listelenmiş 5935 yıldız bu çalışmada kullanılmak üzere seçildi ve dönemlerin ortalaması alındı.

B07'nin jirokronoloji ilişkisinde yer alan  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $n$  sabitlerinin elde edilmesi için çeşitli girişimler olmuştur (B07, Mamajek & Hillenbrand (2008) (MH08), Angus et al. (2015) (A15)). Bu çalışmalarda elde edilen sabitler Çizelge 1'de verilmiştir.

Gerekli olan  $B - V$  renkleri Mamajek (2018)'de verilen  $B -$

★ akcan.dayibas@gmail.com

**Çizelge 1.** Jirokronoloji ilişkisinin ifadesinde üç kaynağın kullandığı sabitler

Sabit	B07	MH08	A15
a	0.7725	0.407	0.40
b	0.6010	0.325	0.31
c	0.4000	0.495	0.45
n	0.5189	0.566	0.55

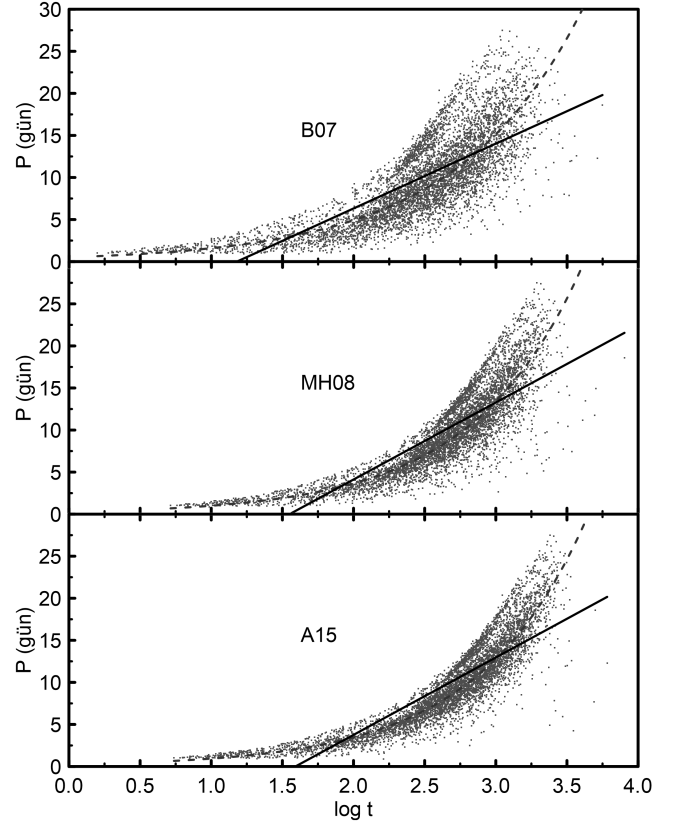
**Çizelge 2.** Parametre grupları için Pearson korelasyon katsayıları ( $r$ ). Çizelgenin üst parçasında dönem ile diğer değişkenler arasındaki korelasyon, alt parçasında ise yaşlar ile diğer değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları görülmüştür.

$r(\log T_e; \log P)$	-0.41		
$r(\log g; \log P)$	-0.16		
$r(B - V; P)$	0.41		
$r(\log T_e; \log t)$	0.15	0.04	-0.04
$r(\log g; \log t)$	0.12	0.12	0.14
$r(B - V; \log t)$	-0.15	-0.04	0.04
$r(P; \log t)$	0.76	0.83	0.86

$V$  renkleri ile etkin sıcaklıkların ( $\log T_e$ ) birbirine göre dağılımı doğrusal en küçük kareler yöntemiyle temsil edildiğinde ulaşılan  $(B - V) = -4.2469 \times \log T_e + 16.631$  eşitliğiyle Kepler uydusunun verdiği sıcaklıklar  $B - V$  renklerine dönüştürüldü. Çizelge 1'de listelenen üç sabit grubu kullanılarak üç ayrı ilişkiyi yaşlar belirlendi. Seçilen yıldızlar için Kepler analizinden verilen  $\log g$  değerleri değerlerinin 3.58 ile 5.13 arasındadır. Anakol yıldızları için  $\log g \sim 4.5$  olduğu kabul edildi, bu bağlamda yıldızlarımız farklı evrim aşamalarında bulunan anakol yıldızlarıdır. Kepler uydusunun veri aldığı açısız alan Cygnus ile Lyra takımı yıldızları arasında (Brown et al. 2011), Güneş metal bolluğuna sahip ( $[Fe/H] = 0$ ) gökada disk bölgesinde yer alır. Dolayısıyla metal bolluğunun etkisi analizimiz üzerinde ihmal edilebilir.

Dönme dönemi veritabanımızı oluşturduktan sonra yaş ile dönem arasında ilişkiler araştırdık. Bulacağımız olası ilişkileri ya da bir başka deyişle işlem yapmak için oluşturduğumuz veritabanının yeterliliğini, anakol yıldızları için bugüne kadar oluşturulmuş Güneş benzeri aktivite — yıldız parametreleri ilişkilerini de aynı örnek veri grubuyla oluşturarak kontrol ettik. Bu bağlamda Şekil 1 ve 2'de gösterilen ve istatistiki olarak Çizelge 2'de anladığımız şu sonuçlara ulaştık;

- $[P - \log T_e]$  ve  $[P - (B - V)]$  arasında, Çizelge 2'den görüleceği gibi ilki için negatif yönlü ( $\log T_e$  azalırken  $P$  artmaktadır) ve ikincisi için pozitif yönlü ( $B - V$  artarken  $P$  artmaktadır) istatistik olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunlar, aktiviteye ait geçen 50 yıllık gözlemsel çalışmaların sonuçlarında karşılaşılan benzer ilişkilerdir.  $\log g$  ile  $P$  arasında ise 0.0'a yakın, istatistiksel anlamı tartışmalı bir pozitif korelasyon bulunmaktadır.
- $\log t$  ile diğer parametrelerin ilişkisine bakıldığında üç çalışmada da en kuvvetli ilişkinin dönem ile olduğu görülmektedir. 1.0'e çok yakın pozitif Pearson katsayıları bulunmuştur, yani  $P$ ,  $\log t$  ile artmaktadır.  $[\log g - \log t]$ ,  $[(B - V) - \log t]$  ve  $[\log T_e - \log t]$  için hesaplanan Pearson korelasyon katsayıları ise 0.0'a yakındır ve anlamlı istatistiki bir ilişkinin varlığını doğrulamaz.

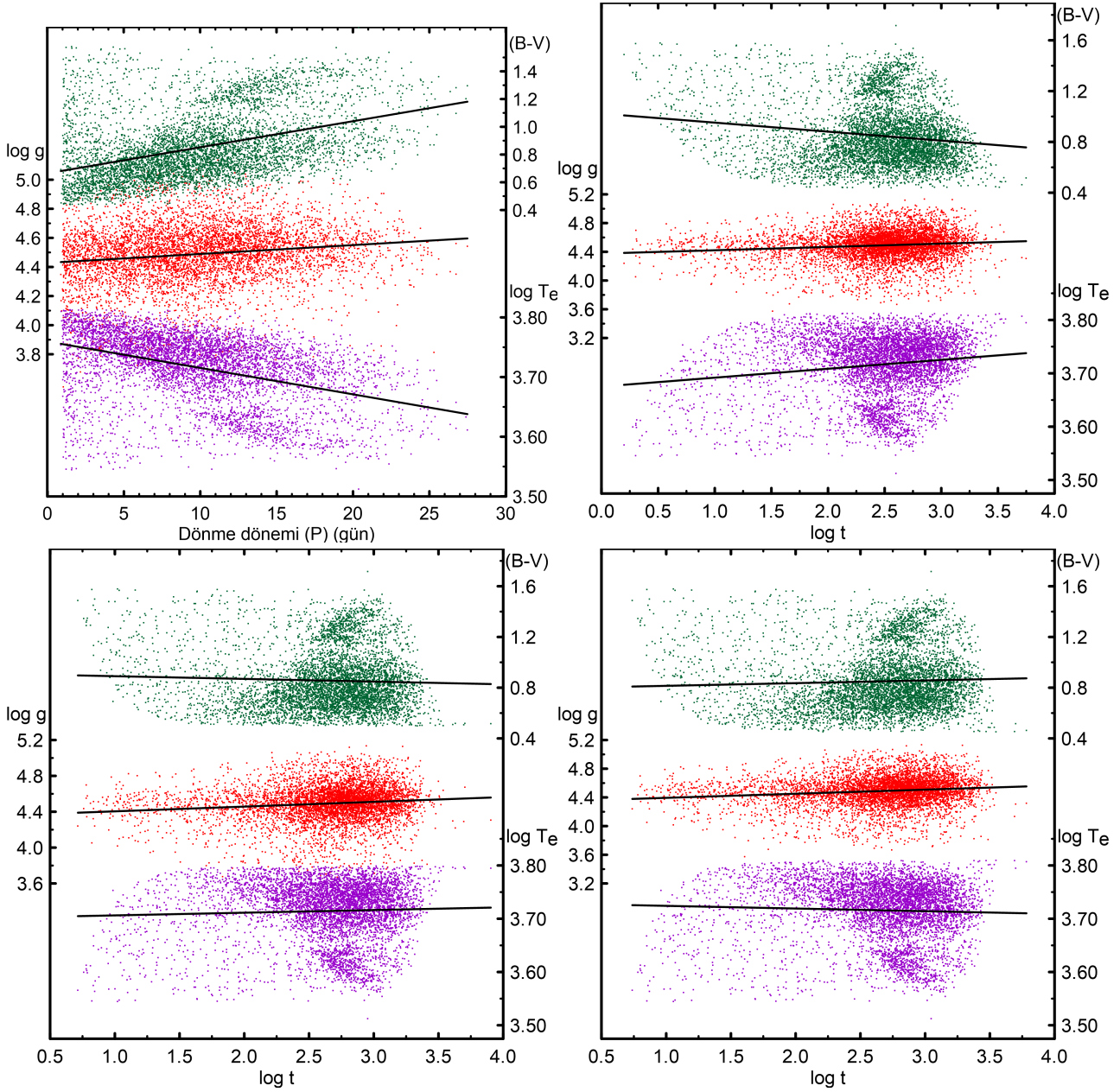
**Şekil 1.** Sabit grupları için  $P$ - $\log t$  grafikleri. Düz çizgiler doğrusal temsili, kesikli çizgiler ikinci dereceden temsilleri göstermektedir.

### 3 Sonuç

Bu çalışmada, Güneş benzeri aktiviteye sahip bir yıldızın yaşını gözlemsel olarak söyleyebilecek evrensel bir ilişki hedeflenmiştir. Bu doğrultuda başlangıç parametresi olarak kullanılan  $P$  ile ilgili hatalara yol açabilecek başlıca sorunlar şunlardır: (1) Yüksek miktarda verinin otomasyonla analiz edilmesi dönemin belirlenmesinde hatalara yol açabilir. (2) Aktivitenin doğası gereği ışık değişimlerinde görülen düzensizlikler dönemin belirlenmesine veya büyük saçılmayla belirlenmesine neden olabilir. (3) Kepler yıldızlarının içinde yer alabilecek olan W UMa türü degen çiftler ve elipsoid yıldızlar aktif yıldızlara benzeyen sinüs benzeri ışık değişimleri gösterirler, ve bu cisimleri ayırt etmek için uzun yılları kapsayan gözlem verisi gerekir.

Diğer yandan ikinci başlangıç parametresi olan  $B - V$ , Kepler uydusu analiz grubu tarafından modele bağlı oluşturulan  $\log T_e$  değerlerinin kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Bu değerler için Kepler grubunun verdiği güvenilirlik değeri  $\pm 200$  K düzeyindedir (Brown et al. 2011) ve buradan kaynaklanabilecek hatalar da dikkate alınmalıdır.

Tüm hata paylarına rağmen yaş — dönem (ve aktivite) arasında olası bir evrensel ilişki ifade edebilme olasılığı yukarıda ortaya koyduğumuz istatistiksel ilişkilerden de anlaşılacağı üzere kendini göstermeye başlamıştır. Güneş benzeri aktivite yapılarının oluşumuna etki eden birbiri içine girmiş katmanlı yapı göz önünde bulundurulacak, aynı katmanlaşmanın yaş için de dikkate alınmasıyla çok boyutlu bir ilişki oluşturmak daha anlamlı sonuçlar üretecek gibi görünmektedir. Dolayısıyla veri tabanlarını oluşturacağımız yıldızların dikkatle incelenmesi ve kul-



**Şekil 2.** (a) Çeşitli parametrelerin  $P$  ile değişimi.  $B - V$ : Sağ üst düşey eksen, yeşil noktalar.  $\log g$ : Sol düşey eksen, kırmızı noktalar.  $\log T_e$ : Sağ alt düşey eksen, mor noktalar. (b), (c) ve (d) Sırasıyla B07, MH08 ve A15 için yaşın ( $\log t$ ) çeşitli parametreler ile ilişkisi.  $B - V$ : Sağ üst düşey eksen, yeşil noktalar.  $\log g$ : Sol düşey eksen, kırmızı noktalar.  $\log T_e$ : Sağ alt düşey eksen, mor noktalar. Siyah çizgiler genel eğilimi göstermesi için eklenmiş doğrusal temsillerdir.

lanılacak yöntemde aktivitenin doğasının hesaba katılması gelecekteki çalışmalarda üretilecek istatistiksel sonuçların yüksek güvenilirlikte olmasına iyi bir zemin sağlayacaktır.

#### Kaynaklar

- Angus R., Aigrain S., Foreman-Mackey D., McQuillan A., 2015, MNRAS, 450, 1787  
 Barnes S. A., 2003, ApJ, 586, 464  
 Barnes S. A., 2007, ApJ, 669, 1167  
 Brown T. M., Latham D. W., Everett M. E., Esquerdo G. A., 2011, AJ, 142, 18  
 Mamajek E. E., 2018, A Modern Mean Dwarf Stellar Color and Effective Temperature Sequence Version 2018.08.02,

- Mamajek E. E., Hillenbrand L. A., 2008, ApJ, 687, 1264  
 McQuillan A., Mazeh T., Aigrain S., 2013, ApJ, 432, 1203  
 McQuillan A., Mazeh T., Aigrain S., 2014, ApJ, 211, 14  
 Nielsen M. B., Gizon L., Schunker H., Karoff C., 2013, A&A, 557, 4  
 Reiners A., et al., 2009, AIPC, 1094, 728  
 Reinhold T., Reiners A., Basri G., 2013, A&A, 560, 19  
 Skumanich A., 1972, ApJ, 171, 565

#### Erişim:

O23-1500: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).