

# FG UMA'NIN ÜÇ AYRI YÖNTEMLE IŞIKÖLÇÜM ÇÖZÜMLEMESİ

Tuncay DOĞAN<sup>1</sup>, Özgür AKARSU<sup>1</sup>, Ahmet DERVİŞOĞLU<sup>1</sup>, Serdar EVREN<sup>1</sup>

## Özet

Kromosferik aktif bir yıldız olan FG UMa'nın üç farklı yöntemle analizi yapılmıştır. Sadece fenomenolojik (görüngübilimsel) olarak değerlendirme yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar da birçok belli varsayımları (manyetik alanın çift kutuplu olması, dönem değişiminin sadece leke kaynaklı olması gibi) içermektedir.

Her üç yöntemin birbirine göre olan üstünlükleri değerlendirilmiş ve incelenmek istenen olguya göre, örneğin global ya da yerel bir değişim gibi, yöntemin seçilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** FG UMa; Kromosferik aktivite, leke göçü, dönem değişimi.

## Abstract

Chromospherically active star FG UMa has been analyzed by three different methods. We made only phenomenological evaluation and gave the results. Consequently the results contain some assumptions (dipole magnetic field, period variation is originating from spots). We evaluated the superiority of the three methods to each others. We emphasized which method is good for the phenomenon we want to research.

**Keywords:** W UMa, Chromospheric activity, spot migration, period modulation

## Giriş

Yıldızlardaki manyetik aktivitenin anlaşılması ve özellikle de konvektif bölgedeki akış dinamiğinin anlaşılması açısından diferansiyel dönmenin belirlenmesi ve zamanla değişiminin saptanması çok önemlidir. Manyetik aktivite gösteren yıldızlarda ışıkölçümsel olarak yapılan gözlemlerin analizi (fotometrik dönem analizi) ile böylesi değişimler saptanmaya çalışılmaktadır. Gözlemlenen aktif yıldızların ışık eğrilerindeki sentis benzeri dalgalanmalar, böylesi yıldızların yüzeyinde bir ya da daha fazla leke ya da leke grupları tarafından üretildiği, Güneş benzerliğinden yola çıkarak, artık bilinen bir olgudur. Bu leke ya da leke gruplarının hareketi, ortalama parlaklıklar, leke kaynaklı dönem değişimleri gibi birçok aktivite belirteci, uzun dönemli yapılan gözlemler ile elde edilmiş ışık eğrileri yardımı ile belirlenmeye çalışılır. Böylece yıldızın uzun dönemli global aktivitesinin, manyetik aktivitenin oluşumu için önemli parametreler olan diferansiyel dönme ve konveksiyon hakkında ayrıntılı bilgi elde edilebilir.

Bu amaç doğrultusunda ve ayrıca bu çalışmanın kapsamı içinde, literatürde uzun dönemli gözlem verileri var olan, kromosferik aktif bir yıldız HD 89546 = FG Ursae Majoris'in, sırası ile, leke kaynaklı O-C değişimi, leke minimumu ( $\theta_{\min}$ ) ve periodogram

---

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova, İzmir, Tel: 0232 3884000, E-Postalar: tdogan@mail.ege.edu.tr, ozgur.akarsu@mail.ege.edu.tr, ahmetdervisoglu@mail.ege.edu.tr, serdar.evren@ege.edu.tr

analizlerine (dönem analizi) dayanan farklı üç yöntem ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve bu yöntemlerin birbirilerine göre olan üstünlükleri, zayıflıkları yorumlanmıştır.

FG UMa'nın gözlemlenebilmiş en parlak durumundaki mutlak parlaklığının değeri, *Hipparcos* (EAS-1997) paralaks ölçümlerinden elde edilen  $175 \pm 26$  pc uzaklığı dikkate alındığında, görsel bölgede  $M_V = 1.05 \pm 0.33$  mag. olarak saptanmıştır [1]. FG UMa'nın gökada düzleminden  $50^\circ$  kadar yukarıda olduğundan kızıllaşmaya uğramadığı varsayılmış ve T3 fotoelektrik olarak otomatik teleskop kullanılarak renk indeksi  $B - V = 0.98$  mag. olarak belirlenmiştir [1]. Ayrıca, aynı makalede ışıma ve yarıçap değerleri  $L = 42.1 \pm 12.8 L_\odot$  ve  $R = 9.1 \pm 1.4 R_\odot$  olarak verilmiştir; baş bileşenin kütesinin  $1.5 - 1 M_\odot$  olması gerektiği ve buna bağlı olarak da yoldaşın bir *K* ya da *M* çücesi olması gerektiği belirtilmektedir.

Fekel et al. (2002)'e göre; yıldızın dönme döneminde gözlem mevsimine göre açıkça bir değişim vardır. Ayrıca HJD 2450044.94 tarihindeki bir flare gözlemine ve evrimleşmiş RS CVn yıldızlarında görsel bölge flarelerinin çok ender olmasını dikkate alarak FG UMa'nın en etkin RS CVn yıldızlarından bir olduğunu söylemektedirler [1].

Bölüm 2'de, öncelikle, kısaca bu üç yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3'te, yöntemler FG UMa yıldızına uygulanmış ve analiz sonuçlar değerlendirilmiştir. Bölüm 4'te de genel bir değerlendirme ile birlikte bu üç yöntem karşılaştırılmıştır.

### 1. Analiz Yöntemleri

Burada, 3. bölümde uygulanan yöntemler, sırasıyla, özetlenecektir. Bunlardan ilki *O-C* değişimine dayanmaktadır. Leke kaynaklı dönemsel değişimin incelenmesi, çift yıldızlarda kütle katarımı, manyetik aktivite ya da çoklu cisimlerin varlığının tespiti için kullanılan *O-C* değerleri incelenerek yapılabilir. Burada *O*, gözlemlenen minimum zamanı; *C*, ise hesaplanan minimum zamandır. Yıldızın kendi eksenini etrafında dönmesi nedeni ile leke görüntü yok olacağından, ışık eğrisinde minimum ve maksimumları olan sinüs benzeri değişimler oluşacaktır. Bu gözlemlenen minimum ve maksimum zamanları, parlaklık ve JD grafiğinde parabolik ya da altıncı dereceden polinom temsiller ile elde edilebilir. Böylece *O* değerleri elde edilecektir. Ayrıca bir dönem (*P*) de atfedilebilindiği için *C* değerleri hesaplanabilir. Tabii bu dönem yörünge dönemi değil, yıldızın kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan dönemdir ve diferansiyel dönmenin olduğu durumda, ekvatorun üstünde olan belli bir enlemdeki dönem kullanılır: eş dönmeye sahip enlem ( $P_{\text{dön}} = P_{\text{yör}}$ )  $T_o$  dalga minimumunun gözlemlendiği ilk an olarak seçilirse;  $C = T_o + EP$  olmaktadır. Burada *E* çevrim sayısıdır. Böylece *O-C* grafiği elde edilebilir. Bu yöntem lekeli yıldızlara uygulanarak, lekelerden kaynaklanan dönemsel değişimlerin varlığı tespit edilmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla elde edilen dönemsel değişimler, yıldızın herhangi bir yörünge parametresindeki değişiminden kaynaklı değil, yıldızın dönmesi (özellikle diferansiyel dönmesi) ve yıldızın yüzeyinde bulunan lekelerin eşleğe doğru göç etmesi nedeniyle olacaktır. Bu durumlar göz önüne alınarak elde edilen *O-C* değişimleri değerlendirilir. Örneğin; zamana göre (evre ya da JD gibi) *O-C* değişimi grafiğinde doğrusal temsil ile dönem düzeltmesi (hatalı dönem), parabolik temsil ile leke göç dönemi ya da sinüzoidal temsil ile flip-flop dönemi gibi bünyesel değişimler hakkında bilgiler elde edilebilmektedir.

Uygulan yöntemlerden ikincisi, sezonluk gözlemlerde leke minimumlarının belirlenmesine dayanır ( $\theta_{\text{min}}$ ). Buna göre, tüm sezon boyunca yapılan gözlemlerin parlaklık-zaman grafiği (JD) oluşturulur ve bu grafikte oluşan derin  $\theta_{\text{minI}}$  ve sığı  $\theta_{\text{minII}}$  minimum zamanları belirlenir. Minimum ışık evreleri ( $\theta_{\text{min}}$ ) doğrudan baskın leke gruplarının ortalama boylamlarını gösterir. Yüzeydeki diferansiyel dönmeden dolayı (öyle ki diferansiyel dönmenin neredeyse tüm yıldızlarda var olduğu düşünülmektedir) farklı enlemlerdeki lekeler

farklı göç hızlarına sahip olacaktır. Böylece, leke gruplarının enlemlerinin belirlenmesi ayrıntılı ışık eğrisi modellemeleri ile bile tam olarak başarılmasa da boylamları hakkında doğrudan ve güvenilir bilgi elde edilebilir. Işık eğrilerinde görülen dalga benzeri bozulmaların sezondan sezona değişmesi, ışıkölçümsel dönemin yörünge döneminden farklı olduğunu gösterir.  $\theta_{\min}$  değerlerinin yıllara göre (ya da günlere göre) grafiği elde edilip, doğrusal temsili ile birinci varsa ikinci leke grupları için göç dönemi elde edilebilir. Burada da yıldızın dönme dönemi,

$$\frac{1}{P_{göç}} = \frac{1}{P_{dön}} - \frac{1}{P_{yör}}$$

denkleminde bulunur. Buradaki nicelikler, soldan sağ sırası ile, göç dönemi, dönme dönemi ve yörünge dönemidir (yörünge dönemi sadece bir adlandırmadır, aslında ortalama dönem olarak adlandırılabilir ve tek bir lekeli yıldızda belli bir enlemdeki dönme dönemine karşılık gelir). Daha sonra ise flip-flop gibi Güneş'te de olduğu bilinen olguların varlığı, doğrusal temsilin çıkarılması ile kalan verilerde sinüs benzeri değişimler aranarak yapılır.

Üçüncü yöntem Fourier analizine dayanmaktadır ve Period04 programı ile yapılmaktadır. Bu programda temel olarak üç modül bulunur: zaman dizgi modülü, temsil (fit) modülü ve Fourier modülü. Zaman dizgi modülü verilerin girişi, sıralanışı ve bölümlenme için kullanılır. Temsil modülü, verilerin tamamı ya da bir kısmı için en küçük kareler yöntemi ile temsili sağlamak içindir. Fourier modülü ise farkını alarak verilerde bir ve birden çok frekansları arayabilmektedir. Bu program, genelde kullanılan Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) algoritması yerine Aynı Fourier dönüşüm algoritmasını (Discrete Fourier transform algorithm) kullanır. Her sezon için elde edilen dönemler incelenir ve ortalama parlaklık ya da genlik arasında bir ilişki olup olmadığı aranır.

Günümüzde en sık kullanılan yöntem Fourier analizine dayanan ışıkölçümsel dönem analizidir. Genelde zonklayan yıldızlar için kullanılsa da, temel olarak dönem değişimi arandığı için, aktif yıldızlar için de elverişli bir yöntemdir.

## 2. FG UMa Aktif Yıldızı ve Analizleri

### 2.1. Leke kaynaklı O-C değişimine dayanan yöntem

FG UMa (HD 89546) aktif yıldızının tüm gözlem sezonlarını içeren verilerin grafiği şekil 1'de gösterilmiştir (gözlem verileri [1]'den alınmıştır). Bu grafik zamana göre  $V$  parlaklığı grafiğidir ve ayrı ayrı sezonlar farklı renklerde gösterilmiştir. Bu yıldızın tayf türü ve ısıtma sınıfının belirlenmesi ile ilgili bazı problemler olsa da,  $K0$  tayf türünden ve III. ısıtımsa sınıfından, metalce fakir bir dev yıldız olduğu tahmin edilmektedir [1].

Bu yönteme göre, öncelikle her bir sezon için var olan ışık eğrilerinde minimum ve maksimumlar belirlenir (bkz. Şekil 2). Bunu için parabolik temsiller kullanılır ve daha sonra da her bir minimumun ve maksimumun zamanları belirlenir. Böylece  $O$  değerleri saptanmış olur.  $C$  değerlerini de  $C = T_o + EP$  bağıntısı yardımı ile bulunur. Burada,  $P$  için Fekel et al. (2002) tarafından tayfsal olarak belirlenen dönem kullanılmıştır ve değeri 21.35957 gündür.  $T_o$  ise 49866.3727 olarak seçilmiştir. Çevrim sayısına göre  $O-C$  grafiği şekil 3'de verilmiştir.  $O-C$  grafiğinde iki yerde kesikli artışlar görünmektedir. Bu kesikli durumlar, ilkinde 0.5 ve ikincisine 1.0 çevrime ekletilerek giderilmiştir. Bu kesikliliğin olduğu anlar sırası ile  $JD=50735.5044$  ve  $JD=51662.0443$  karşılık gelmektedir ve yıldızda flip-flop olarak bilinen aktif bölgelerin yer değiştirmesinin gerçekleştiği anlar olarak yorumlanmıştır. Flip-flop dönemi de ortalama 3.46 yıl olarak saptanmıştır. Güneş için bu değer, kuzey ve güney yarı küreleri için farklı olmak üzere, sırası ile 3.8 ve 3.65 yıl olarak verilmektedir [2].

Elde edilen yeni  $O-C$  grafiğinden yararlanarak doğrusal temsil ile dönem düzeltilmesi yapılmıştır. Doğru denklemi,

$$(O - C)I = -0.18261E - 1.51127$$

olarak belirlenmiştir. Buna göre yapılması gereken dönem düzeltmesi miktarı  $\Delta P = -0.18261$  gündür. Bu düzeltme, fotometrik dönem ile co-rotation enlemine ait dönemin farklılığından kaynaklanmıştır. Öyle ise düzeltilmiş dönem  $P' = 21.17696$  olmaktadır. Bu doğrusal temsilden kalan değişim incelenirse (bkz. Şekil 4), bir parabol ile temsil edilebileceğinin anlaşılmaktadır. Azalan bir parabol, dönemin her çevrimde azaldığı anlamına gelir. Her bir çevrim başına azalma miktarı:

$$(O - C)II = -0.001794 E^2 + 0.107962 E + 0.183678$$

parabolik denklemden  $\frac{dP}{dE} = 2a = 2 \times (-0.001794) \Rightarrow \frac{dP}{dE} = 0.003588$  gün bulunur.

Bulunan bu dönem değişimi, diferansiyel dönmeden kaynaklanmaktadır; üst enlemlerde oluşan leke grupları, daha hızlı dönen alt enlemlere göç ettikçe, dönemin azaldığı gerçeğine dayanmaktadır.

Parabolik temsilden olan farkları değerlendirildiğinde ise (bkz Şekil 4), hem maksimumlar hem de minimumlarda yaklaşık zıt evreli sinüs benzeri bir değişimin varlığından söz edilebilir. Genliği küçük ve belli belirsiz olsa da eğer sinüs benzeri bir değişimin olduğunu varsayılırsa, bu yıldızda flip-flop olgusuna karşılık gelecektir. Ayrıca, böylesi bir sinüzoidal değişim, flip-flop sırasında, aralarında  $180^\circ$  olan aktif boylamların yer değiştirdiği düşünülürse, leke gruplarının bulunduğu bir önceki boylam ve enleme göre daha üst bir enlemden ortaya çıkması olarak yorumlanabilir. Bu da ancak flip-flop'un manyetik eksen ile  $90^\circ$ 'lik bir açı yaparak gerçekleşmesi ve manyetik eksen ile dönme eksenini arasında belli bir açının olduğu durumda olanaklıdır. Böylesi bir açıklamanın gözlemsel olarak testi, lekelerin enlemleri hakkında bilgiye doğrudan sahip olunamadığında, çok zor olacaktır.

## 2.2. Leke minimumuna dayanan yöntem

Bu yöntemde, her sezon için evreye göre parlaklık grafiği çizilir. Bu ışık eğrilerinde sinüs benzeri değişimler belirlenmeye çalışılır. Eğer aynı sezon içinde bir birinden ayrılabilen sinüs benzeri değişimler varsa, bunlar ayrı ayrı olarak değerlendirilir ve bu her sezon için uygulanır. Bu ışık eğrilerindeki derin ve sığ minimum evreleri belirlenir. Bunun için altıncı dereceden polinomlar kullanılmıştır (bkz. Şekil 5). Elde edilen bu minimumlar sırası ile  $\theta_I$  ve  $\theta_{II}$  değerleridir ve  $\theta$ -ortalama JD grafiği oluşturulur (bkz. Şekil 6). Bu grafik  $\theta$  değerlerine bir ya da iki çevrim sayısı (tam evreler) ekletilerek düzenlenmiştir. Daha sonra doğrusal temsiller içi içe geçen  $\theta_I$  ve  $\theta_{II}$  değerlerinin her biri, o doğrusal temsilin içinde yer almış gibi yapılmıştır. Böylesi bir değişim, aralarında  $180^\circ$  olan aktif iki boylamın olduğuna işaret etmektedir. Bu aktif boylamlardaki lekelerin göç dönemleri, sırasıyla, 6.60 yıl ve 7.38 yıl olarak belirlenmiştir.

Doğrusal temsillerde olan farklar, şekil 7'da yer almaktadır. Her ne kadar düzenli bir değişim olduğu görülse de herhangi bir dönem ya da dönem değişimi saptanamamıştır.

## 2.3. Periodogram analizine dayanan yöntem

Yukarıda da belirtildiği üzere, bu yöntemde Period04 adlı program kullanılır. Bu verilerde Fourier analizi ile dönemsellik araştırılır. Öncelikle tüm sezonlarda global değişimler araştırılmıştır ve iki tane dönme belirlenmiştir. Bu dönemler, 6.70 ve 6.54 yıl olarak saptanmıştır. Daha sonra her bir sezon için, bu global değişimlerin farklı alınarak, dönemsellik araştırılmıştır. 8. sezon hariç diğer tüm sezonlarda iki farklı dönme değeri belirlenmiştir. Bulunan dönme dönemleri gözlemlenen her bir sezon için ortalama JD değerlerine karşı çizdirilmiştir (bkz. Şekil 8 ve Şekil 9). Azalan bir dönme dönemi, leke gruplarının eşleşme doğru hareketi nedeniyledir. Ancak sonuçlar değerlendirildiğinde göç dönemi saptanamamıştır. Verilerin dağılımına bakıldığında, ek gözlem verilerinin gerektiği söylenebilir.

### 3. Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Değerlendirme

Lekelerin göç dönemleri ikinci yöntemde 6.60 yıl ve 7.38 yıl olarak belirlenmiştir. Üçüncü yöntemde ise global değişimlerden yararlanarak 6.70 ve 6.54 yıl olarak saptanmıştır. İlk yöntem ile böylesi bir göç dönemi belirlemek yöntem açısından olanaklıdır ancak bu yıldız için belirlenememiştir. Leke gruplarının daha üst enlemlerde doğup daha alt enlemlere göçü ve diferansiyel dönme nedeniyle ışık eğrilerinde oluşan sinüs-dalga benzeri değişimler değerlendirildiğinde, bu leke gruplarının ortalama boylamlarının takibi en kolay ikinci yöntem olduğunda, daha anlamlı ve güvenilir sonuçların elde edilebileceği söylenebilir. Burada incelenen FG UMa yıldızı için değerlendirildiğinde, birinci yöntemin diğer yöntemlere göre ayrıcalığı ise flip-flop dönemi ve gerçekleştiği zamanların belirlenebilmiş olmasıdır.

Tabii bu sonuçların sadece fenolojik bir irdeleme sonucu elde edildiği unutulmamalıdır. Çünkü daha ayrıntılı bir inceleme ve daha anlamlı sonuçların elde edilebilmesi, ancak aktif yıldızlardaki olguları fiziksel bir açıklaması, dinamo kuramı gibi, yapıldığında olanaklı olacaktır. Aksi durumda ise, aşırı varsayımlar yapılarak ancak bilgi türetilenmektedir.

Her yöntem için bir değerlendirme yapmak gerekirse, gözlem verilerinin çok daha iyi belirlenmiş olması gerekmektedir. Özellikle de minimumların ve maksimumların çok iyi belirlenmiş olması, verilerin analizinde kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca uzun dönemli gözlemlerin var olması da global değişimlerin belirlenebilmesi açısından çok önemlidir. Örneğin flip-flop, diferansiyel dönme gibi olguların iyi bir şekilde saptanması için uzun dönemli gözlemlerin var olması gerekir.

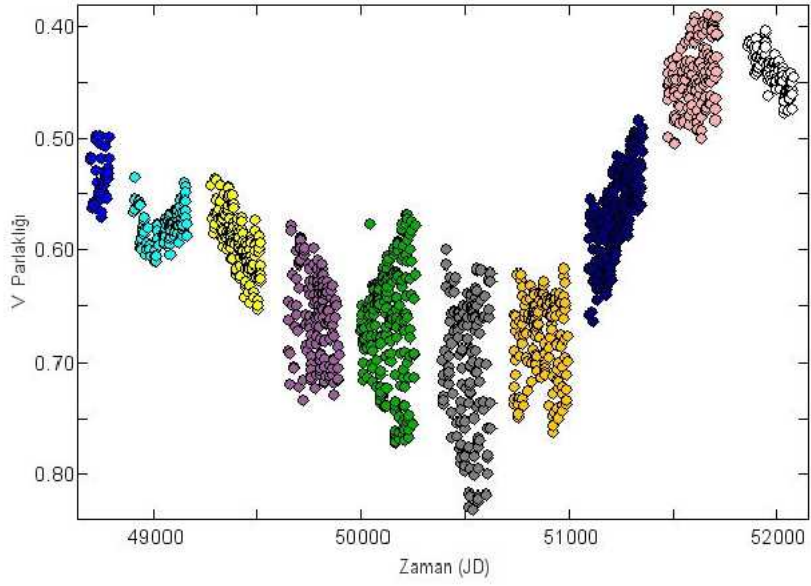
### Kaynaklar

- [1] Fekel, F., C. et al., 2002, Chromospherically Active Stars. XXI. The Giant, Single-Lined Binaries HD 89546 and HD 113816, *The Astronomical Journal*, Volume 124, Issue 2, p. 1064–1076,  
 [2] Elstner, D.; Korhonen, H., 2005, Flip-flop phenomenon: observations and theory, *Astronomische Nachrichten*, Volume.326, Issue 3, p.278-282.

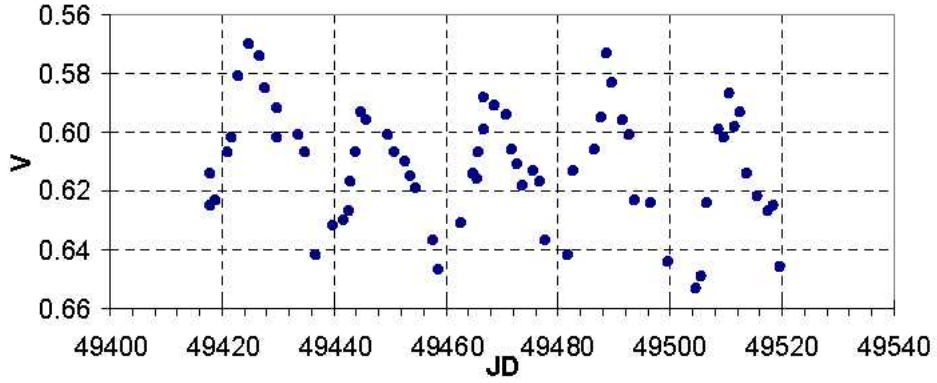
### Tablolar ve Şekiller:

**Tablo 1** FG UMa aktif yıldızının temel özellikleri (Fekel et al., 2002).

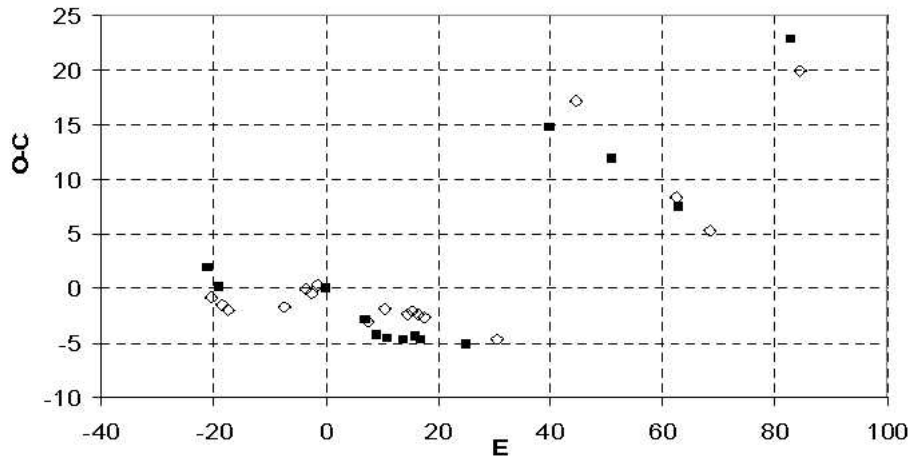
Değişken	Değer	Referans
$V$ (mag)	7.26	Fekel et al. 2002
$B-V$ (mag)	0.98	Fekel et al. 2002
$\pi$ (arcsec)	$0.00573 \pm 0.00083$	ESA 1997
Tayf türü	G9 III	Fekel et al. 2002
$v \sin i$ ( $\text{kms}^{-1}$ )	$18.0 \pm 1.0$	Fekel 1997
$M_V$ (mag)	$1.05 \pm 0.33$	Fekel et al. 2002
$L$ ( $L_{\odot}$ )	$42.1 \pm 12.8$	Fekel et al. 2002
$R$ ( $R_{\odot}$ )	$9.1 \pm 1.4$	Fekel et al. 2002



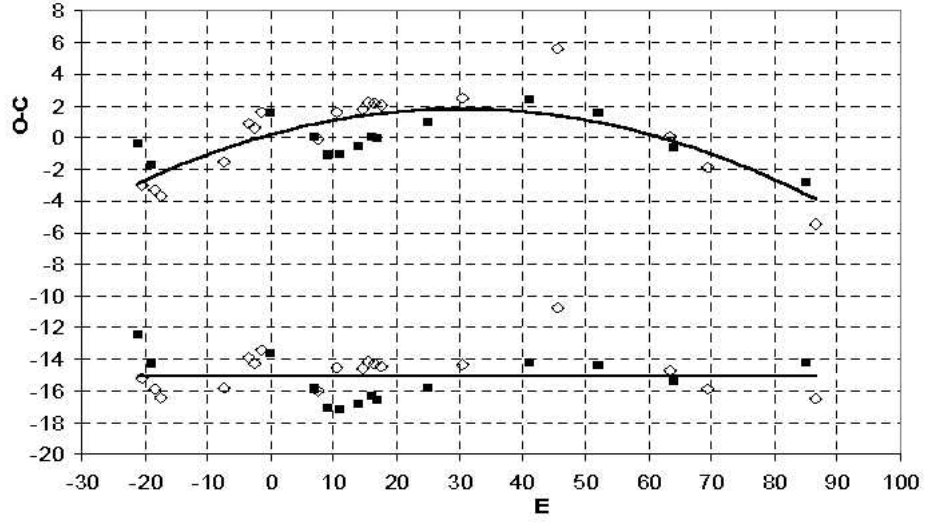
Şekil 1 FG UMa yıldızının 1992 ile 2001 yılları arasında yapılan on sezonluk gözlemlerinin tamamı (Fekel et al., 2002).



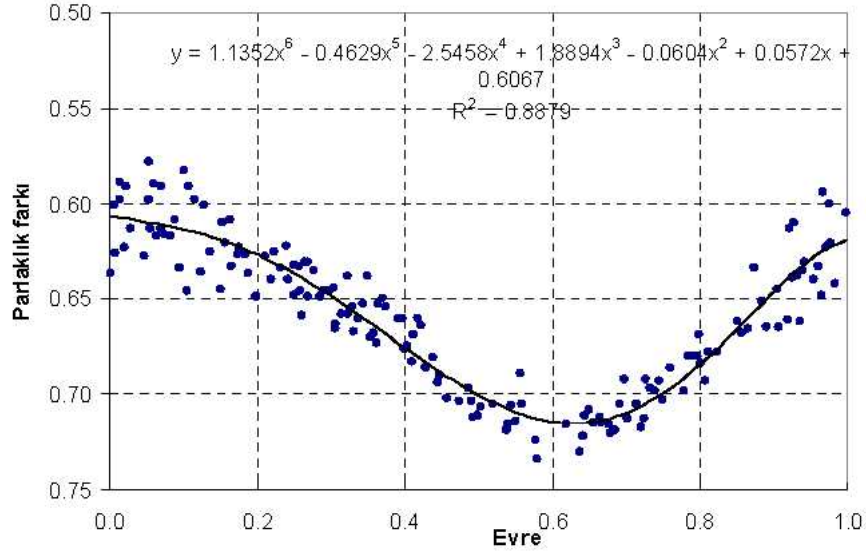
Şekil 2 FG UMa'nın yapılan gözlemlerinden 3. sezonun bir kısmı. Burada minimum ve maksimumlar belirlenir ve daha sonra parabolik temsiller yardımı ile minimum ve maksimum zamanlar belirlenir.



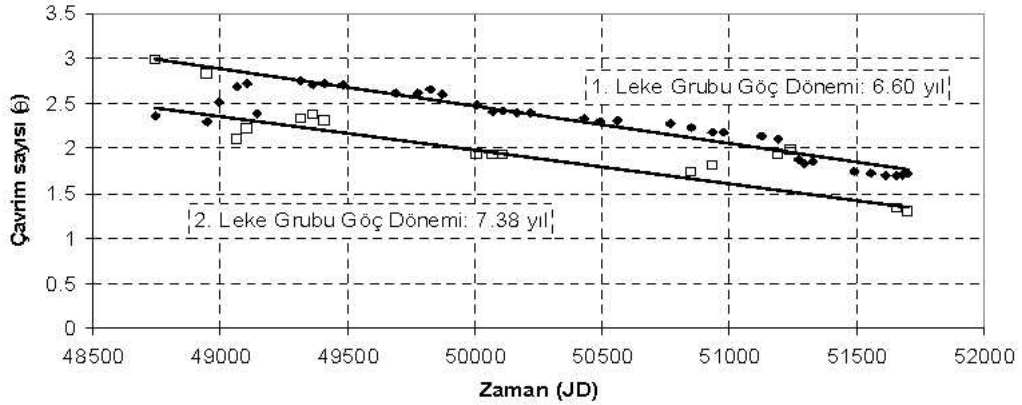
Şekil 3 FG UMa yıldızının O-C grafiği. İçi dolu kareler; minimum zamanlarını, içi boş olanlar ise maksimum zamanlarını göstermektedir.



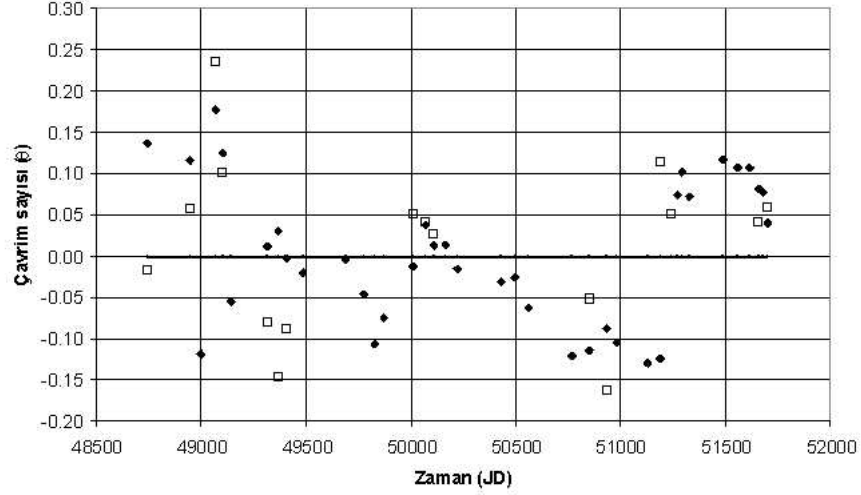
Şekil 4 Şekil 3'teki grafikte doğrusal düzeltme yapıldıktan sonraki kalan değişim (üst kısım). Kalan değişim bir parabol ile temsile edilmiştir. Parabolün çıkarılması ile kalan değişim de grafikte görülmektedir (alt kısım).



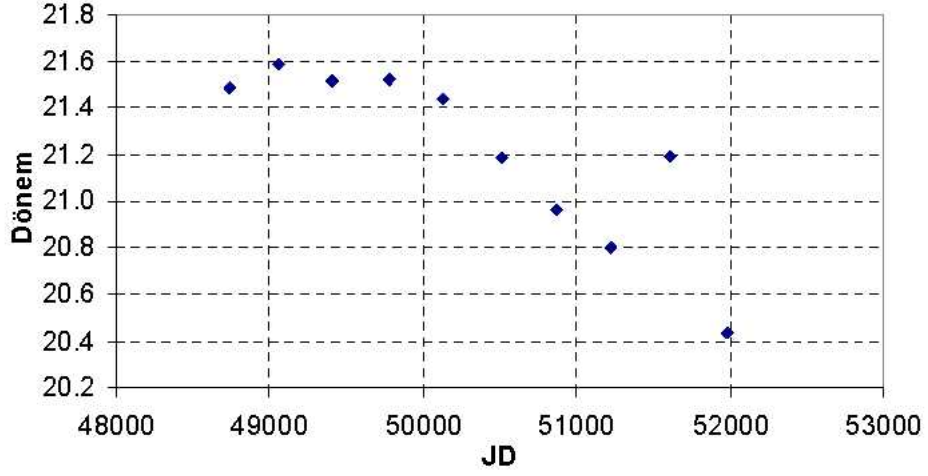
Şekil 5 Sinüs benzeri değişime örnek. Altıncı dereceden bir polinom ile temsil edilmiştir.



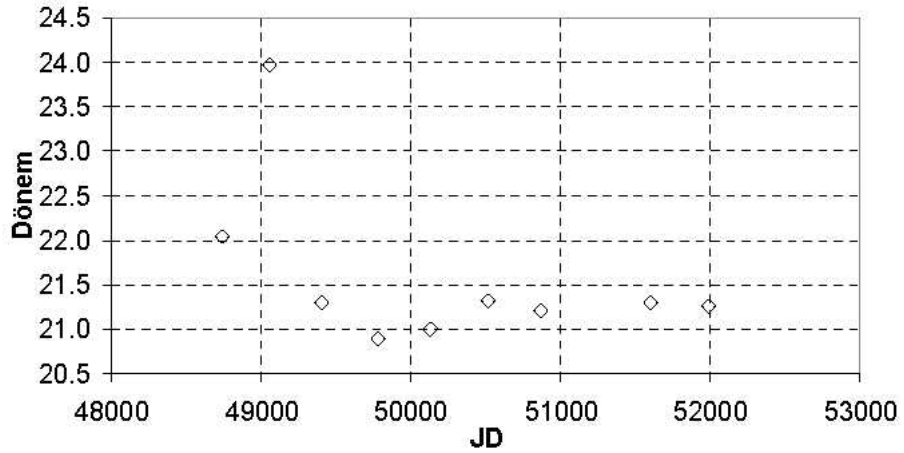
Şekil 6 Zaman göre  $\theta$  değişimi. Doğru temsillerin arasında 0.5 kadar evre fark olması, birbirinden 180 derece ayrılmış iki aktif boylam olduğunu göstermektedir.



Şekil 7 Şekil 5'teki grafikte doğrusal temsilden olan farklar. Dönemsel bir değişim olduğu görülse de, saçılmalar nedeniyle bir dönem saptanamamıştır.



Şekil 8 Her bir sezonun ortalama JD'lerine göre, bulunan *birinci dönemlerin* grafiği.



Şekil 9 Her bir sezonun ortalama JD'lerine göre, bulunan *ikinci dönemlerin* grafiği.