

# FF AQUARII SİSTEMİNİN SOĞUK BİLEŞENİ ÜZERİNDEKİ LEKELER VE AKTİF BOYLAMLAR

Esin SİPAHİ\*, Serdar EVREN

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

**Özet** FF Aqr sistemi bir bileşeni sıcak altcüce diğer bileşeni ise kırmızı bir dev olan yıldızlardan oluşur. Bu çalışmada sistemin 2002-2009 yılları arasında Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde V süzgecinde elde edilen sekiz yıllık fotometrik verisi kullanılarak ışık eğrilerindeki uzun dönemli değişimler tartışıldı. Sistemin baş minimumunda tam tutulma görülür. Tam tutulma sırasında belirlenen soğuk bileşenin tayf türü ve ısıtma sınıfı G5III'dür. Tutulma içi parlaklığın değişimi ortalama parlaklık değişimine benzerdir yani 2002 yılından 2009 yılına kadar tutulma içi parlaklık azalır. Bu azalma miktarı V renginde  $0^m.5$ 'dir. Tutulma içindeki parlaklıkta yıllar içerisinde görülen bu değişim dev bileşenden kaynaklanır. Tutulma içi renk değişimlerinde de 2002-2009 yılları arasında sistem tüm renklerde sürekli daha kırmızı olma eğilimindedir. Bu durum, dev yıldızdaki aktivite yapılarının daha ziyade karanlık lekeler olduğunu gösterir. Sisteme ilişkin belirlenen uzun dönemli parlaklık değişimleri  $\sim 10$  yıllık bir aktivite çevrimi gösterir. Tutulma dışı değişimin minimum olduğu evreler  $\sim 5$  yıllık süreler içerisinde  $180^\circ$  farklı evreye kayar.

## 1 Giriş

FF Aqr bir sıcak altcüce OB yıldızı ile G8-K0III bileşeni içerir (Dworetzky et al. 1977, Marilli et al. 1995). Sistemin fotometrik gözlemleri ilk defa Dworetzky et al. (1977) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada tutulma dışı ışık değişiminde, maksimum ışık değişimi 0.55 evre civarında görülür. Dorren et al. (1982) sistemin IUE uydusu ile moröte gözlemlerinden sdOB bileşenin sıcaklığını  $T_e \approx 35\ 000$  K olarak vermiştir. Dorren et al. (1983)'de sistemin 1977-1978 yıllarına ilişkin Strömgren b, v, y süzgeçlerinde gözlemleri yapılmış ve elde edilen ışık eğrilerinde tutulma dışı değişimin maksimum olduğu anın 0.72 evrede olduğu görülmüştür. Baliunas et al (1986) tarafından da sistemin IUE tayfı alınmış ve tam tutulma evrelerinde kuvvetli NV, CIV and CII çizgilerinin varlığı görülmüştür. Sistemin UBV fotometrisi ve  $H_\alpha$  tayf çalışması Marilli et al. (1995) tarafından da yayınlandı. Diğer bir çalışma Vaccaro & Wilson (2003) tarafından yapılmış ve sistemin elde edilen ışık eğrileri soğuk bileşen üzerindeki soğuk lekeler ile modellenmiştir.

\* e-mail:esin.sipahi@mail.ege.edu.tr

FF Aqr sisteminin 2002-2009 yılları aralığında fotometrik gözlemlerini yaptık. Gözlemler ikinci bölümde verildi. Bölüm 3'te ise sistemin baş minimumunda tam tutulma içindeki parlaklık ve renk değişimleri tartışıldı. Tutulma dışı ışık değişimlerinin minimum olduğu evrelerin ( $\theta_{min}$ ) yıllara göre değişimi ise Bölüm 4'te verildi. Son olarak elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te değerlendirildi.

## 2 Gözlemler

FF Aqr sisteminin fotometrik gözlemleri Ege Üniversitesi Gözlemevi'nin 48-cm çaplı teleskobuna bağlı yüksek hızlı üç kanallı Vilnius fotometresi ve 30-cm çaplı Meade teleskobuna bağlı SSP-5 fotometresi ile yapıldı. Gözlemlerde geniş band Johnson UBVR süzgeçleri kullanıldı. BD  $-03^{\circ} 5361$  mukayese ve GSC 5227 208 denet yıldızı olarak seçildi. Gözlem zamanları güneş merkezine indirildi. Diferansiyel parlaklıkların standart parlaklıklara dönüştürülebilmesi için sistem bazı gecelerde Landolt (1992)'den seçilen BD  $+00^{\circ} 4766$  ( $V=10^m.004$ ,  $U-B=-0^m.001$ ,  $B-V=0^m.0454$ ,  $V-R=0^m.281$ ) ve BD  $+00^{\circ} 4767$  ( $V=10^m.306$ ,  $U-B=0^m.844$ ,  $B-V=1^m.058$ ,  $V-R=0^m.570$ ) yıldızları ile birlikte gözlemlendi. FF Aqr için 2003 yılı ışık eğrilerinden tam tutulma anı için  $V=9^m.349 \pm 0.006$  ve  $B-V=1^m.079 \pm 0.020$  olarak hesaplandı. Tam tutulma anı için gözlenen renkler (U-B)-(B-V) renk diyagramında yerleştirilip kızıllaşmamış renkler  $(U-B)_0=0^m.460$  ve  $(B-V)_0=0^m.820$  olarak elde edildi. Tam tutulma anı için bulunan kızıllaşmamış renkler bir G5III yıldızıninkine karşılık gelir (Allen 2000).

Sistemin ışık eğrilerinde baş minimumunda tam tutulma görülürken yan minimum görülmez. Sistemin baş minimumu 2002-2009 gözlem sezonlarındaki tüm yıllar için elde edilmiştir. Sistem BVR süzgeçlerinde elde edilen ışık eğrilerinde tutulma dışı dalga benzeri değişim gösterir ve bu ışık değişiminin genliği yıldan yıla değişir. Sistem 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarında maksimum ışığa yaklaşık 0.0 evre civarında ulaşırken  $\sim 0.5$  evrede minimum yapar. 2006 yılı ve sonraki yıllarda ise ışık eğrilerindeki değişim oldukça farklıdır. Sistem maksimum ışığa  $\sim 0.50$  evre civarında ulaşırken 0.0 evre civarında önceki yıllara göre çökme görülür. Sistemin ışık değişimleri, bileşenlerin evrim durumları ve sisteme ilişkin leke aktivite yapıları Sipahi (2008)'de verilmiştir.

## 3 Tutulma Dışı Işık Değişimlerinin Minimum Olduğu Evrelerin ( $\theta_{min}$ ) Değişimi

Sistemin soğuk bileşeninin leke aktivitesi üzerine ayrıntılı bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Işık eğrileri aktif bölgelerin enlemi üzerine herhangi bir bilgi vermez. Fakat aktif bölgelerin boylamı üzerine güvenilir bilgi ışık eğrilerinden sağlanabilir. RS CVn sistemleri ışık eğrilerinde iyi belirlenebilecek bir ya da iki dalga benzeri bozulma minimumu gösterir. Bu minimumların evreleri ( $\theta_{min}$ ) doğrudan baskın etki gösteren aktif bölgenin boylamını verir (Raveendran & Mohin 1995). FF Aqr sisteminin eldeki ışık eğrilerinde soğuk bileşen üzerindeki aktif bölgelerden kaynaklı değişimler tek minimumlu olarak görülür. Bu minimumlara karşılık gelen evreler  $\theta_{min}$  olarak belirlendi ve Çizelge 1'de verildi.

RS CVn türü sistemlerin ışık eğrilerindeki dalga benzeri bozulmanın minimum olduğu evrelerin yıllar içerisinde değişimi, dönme ve dolanma hareketi arasındaki eşdönmenin tam olmadığını gösterir. Bu eş olmayan dönme dalga minimumlarının evreye göre geç etmesine neden olur (Hall 1992). FF Aqr için belirlenen minimum evrelerin yıllara göre değişimi Şekil 1’de görülür.

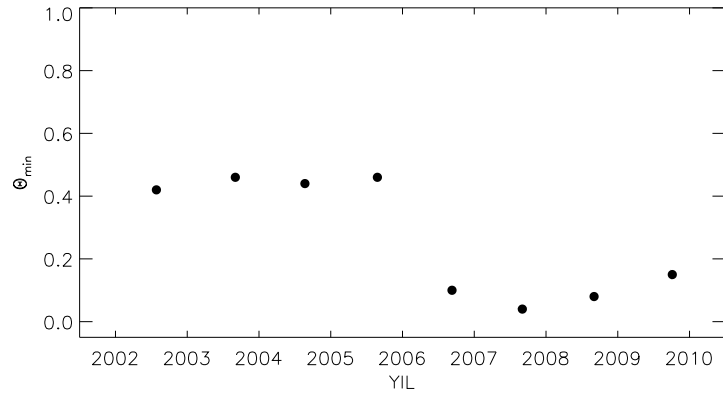
**Çizelge 1.** FF Aqr sisteminin ışık eğrilerinde belirlenen tutulma dışı dalga benzeri bozulmanın minimum olduğu evreler ( $\theta_{min}$ ).

Yıl	$\theta_{min}$
2002.57	0.42
2003.67	0.46
2004.64	0.44
2005.65	0.46
2006.69	0.10
2007.67	0.04
2008.67	0.08
2009.76	0.15

Şekil 1’de tutulma dışı ışık değişiminin minimum evrelerinin yıllara göre değişimi incelendiğinde belirgin iki gruba ayrılma görülür. Bu durum soğuk bileşen üzerinde iki ayrı seçilmiş aktif boylamın varlığını açıkça gösterir. 2006 yılında flip-flop olayı gerçekleşmiştir ve  $180^\circ$  farklı boylamda yer alan aktif boylam etkin olmaya başlamıştır.

#### 4 Baş Minimumda Tam Tutulma İçindeki Parlaklık Değişimi

Olson & Etzel (1995) tarafından soğuk alt dev ya da dev bileşene sahip ve tam tutulma gösteren Algol türü sistemlerde uzun dönemli ışıkölçümden belirlenen değişimlerin birçok RS CVn türü çifte benzer olduğu ve bu tür değişimlerin Algoller’deki soğuk bileşenler üzerindeki aktif bölgelerin varlığından kaynaklanabileceği belirtildi. Fakat bu tür bir çalışma için oldukça az sistem ve gözlem bulunur. Bu düşünce ile FF Aqr sistemi için 2002-2009 yılları arasındaki baş minimum gözlemlerinden tam tutulma içindeki ortalama parlaklıklar ve renkler belirlenerek Çizelge 2’de verildi. V rengi için tutulma içi parlaklığın ve U-B, B-V, V-R renklerinin yıllara göre değişimi Şekil 2’de verildi. Tutulma içi parlaklığın gözlem aralığı boyunca değişimi de ortalama parlaklık değişimine benzerdir yani 2002 yılından 2009 yılına kadar tutulma içi parlaklık azalır. Baş minimum tam tutulma biçiminde olduğundan minimum tabanında sadece dev bileşeni görürüz. Dolayısı ile parlaklıkta yıllar içerisinde görülen azalma dev bileşenden kaynaklanır. Sisteme ilişkin 2002 yılından 2006 yılına kadar 0.5 evrede bir çökme olduğundan bahsettik. Fakat ilerleyen gözlem yıllarında dev yıldızın bize bakan



**Şekil 1.** Sistemin ışık eğrilerinden belirlenen leke minimum evrelerinin ( $\theta_{min}$ ) yıllara göre değişimi.

yüzeyindeki aktif boylam etkin olur. Baş minimumda yıldızın sönükleşmesine neden olarak tutulma içi parlaklık ve rengini azaltır.

**Çizelge 2.** FF Aqr sisteminin baş minimumda belirlenmiş tam tutulma sırasındaki (tutulma içi) V parlaklıkları ve renkleri.

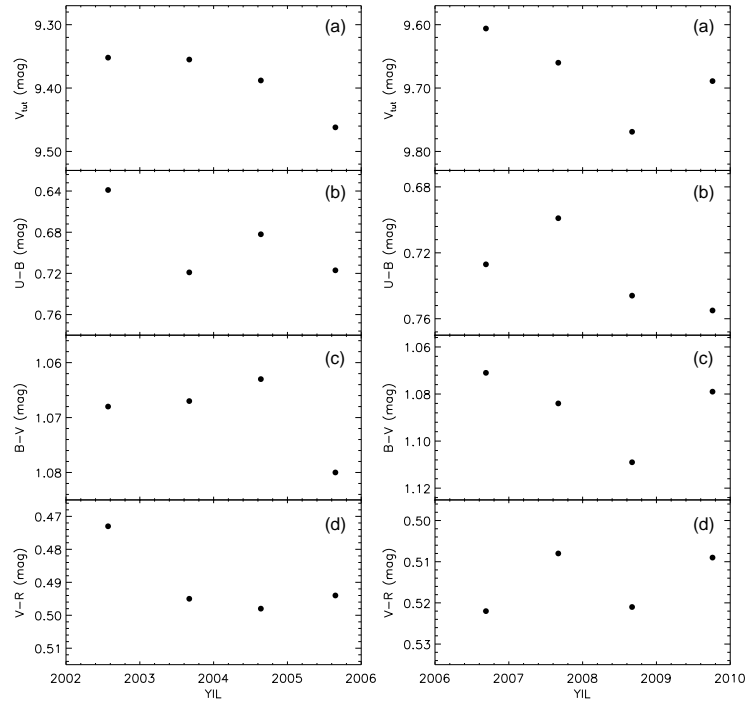
Yıl	V (mag)	U-B (mag)	B-V (mag)	V-R (mag)
2002.57	9.352	0.639	1.117	0.473
2003.67	9.355	0.719	1.067	0.495
2004.64	9.388	0.682	1.063	0.498
2005.65	9.462	0.717	1.080	0.494
2006.69	9.606	0.727	1.071	0.522
2007.67	9.660	0.699	1.084	0.508
2008.67	9.769	0.746	1.109	0.521
2009.76	9.689	0.755	1.079	0.509

Tutulma içi renk değişimlerini incelediğimizde 2002-2009 yılları arasında sistem tüm renklerde sürekli daha kırmızı olma eğilimindedir. Sistemin yıllar içinde daha sönükleşirken tüm renklerin daha kırmızı olacak şekilde değişmesi dev yıldızdaki aktivite yapılarının karanlık lekeler olduğunu destekler.

## 5 Tartışma

Çalışmamızda FF Aqr sisteminin ışık eğrilerinde tam tutulma içindeki parlaklık ve renk değişimlerini inceledik ve tutulma içi parlaklığın zamanla değiştiğini belirledik. Sistemin V süzgeci için 2002 yılından 2009 yılına kadar elde edilen tutulma içi parlaklığı  $\sim 0^m.42$  kadar azalma gösterir. Sistemin V rengindeki verileri üzerinden tutulma içi parlaklığın ve U-B, B-V, V-R renklerinin yıllara göre değişimini inceledik. Sistemin tutulma içi parlaklığı tıpkı sistemin ortalama parlaklığı gibi yıllar içerisinde sürekli söner. Ortalama parlaklık sisteme ilişkin bilgi verirken tutulma içi parlaklık soğuk bileşenin aktivite özelliklerini yansıtır. Tutulma içi renk değişimlerine bakıldığında 2002-2009 yılları arasında tüm renklerde sürekli kırmızılaşıma görülür. Sistemin ortalama parlaklığı tüm yıllarda azalmaya devam ederken renklerin daha kırmızı olması aktivite yapılarının karanlık lekeler olduğunu gösterir.

2002-2005 yıllarında elde edilen ışık eğrilerinde tutulma dışı değişimin  $\sim 0.5$  evre civarında minimum yaptığını görmekteyiz. 2006 yılından sonra ise bu durum değişmiş, tutulma dışı ışık değişimi  $\sim 0.5$  evre civarında maksimum olurken  $\sim 0.0$  evre civarında minimum olmuştur. Bu durum yıldızın üzerinde iki farklı seçilmiş aktif boylamın var olduğunu ve 2006 yılında diğer aktif boylamın etkin olmaya başladığını gösterir. İki aktif boylam ve flip-flop olayı yıldız aktivitesinin tipik göstergeleridir (Berdyugina 2006). RS CVn yıldızlarına ek olarak FK Com yıldızlarında da görülür (Jetsu et al. 1993, Korhonen et al. 2002). Tutulma dışı değişimin minimum olduğu evreler  $\sim 5$  yıllık süreler içerisinde  $180^\circ$  farklı evreye



Şekil 2. Sistemin V süzgecindeki ışık eğrilerinden baş minimumda belirlenen tutulma içi parlaklık (a) ve renk değişimleri (b, c, d).

kayar. FF Aqr sisteminin soğuk bileşeni üzerinde kalıcı iki aktif boylamın varlığı sözkonusudur. Bir aktif boylam  $\sim 5$  yıllık bir süre içerisinde etkinliğini kaybederken diğer 5 yıl ise ikinci aktif boylam etkin olur. Bu tür yapılar diğer RS CVn sistemlerinde de belirlenmiştir (Örn. II Peg, Berdyugina 1998).

Örtme gösteren aktif çift sistemler yıldız aktivitesi çalışmalarında önemlidir. Bileşenler arasındaki karşılıklı çekim nedeniyle hızlı dönme sistemlerin yaşamları boyunca aktivite düzeylerinin yüksek olmasına neden olur. RS CVn sistemleri manyetik aktivitenin araştırılmasında önemli bir yere sahiptir. FF Aqr örtün çifti de bu tür yıldızlara iyi bir örnektir. Sistemin aktivite doğasını daha iyi ortaya koyabilmek için fotometrik gözlemlerinin devam ettirilmesi gerekir.

## Kaynaklar

- Allen, C.W., 2000, *Astrophysical Quantities*, p. 388  
Baliunas, S.L., Loesser, J.G., Raymond, J.C., Guinan, E.F., Dorren, J.D., 1986, *Proceedings of an International Symposium on New Insights in Astrophysics*, p 185-187  
Berdyugina, S.V., 2006, *Highlights of Astronomy, Volume 14, Solar and Stellar Activity Cycles*, 26th meeting of the IAU, Karel A. Van der Hucht, ed. p.275  
Berdyugina, S.V., Berdyugin, A.V., Ilyin, I., Tuominen, I., 1998, *A&A*, 340, 437  
Dorren, J. D., Guinan, E. F., Sion, E. M., 1982, *IUE*, 82, 517  
Dorren, J.D., Guinan, E.F., Sion, E.M., 1983, *IBVS No. 2305*  
Dworetzky, M.M., Lanning, H.H., Etzel, P.E., Patenaude, D.J., 1977, *MNRAS*, 181, 13  
Hall, D.S., 1992, *Robotic telescopes in the 1990s, Proceedings of the Symposium*, p. 27-38  
Jetsu, L., Pelt, J., and Tuominen, I., 1993, *A&A*, 278, 449  
Korhonen, H., Berdyugina, S.V., and Tuominen, I., 2002, *A&A*, 390, 179  
Landolt, A.U., 1992, *AJ*, 104, 340  
Marilli, E., Frasca, A., Bellina-Terra, M., Catalano, S., 1995, *A&A*, 295, 393  
Olson, E.C. ve Etzel, P.B., 1993, *AJ*, 106, 342  
Raveendran, A.V. and Mohin, S., 1995, *A&A*, 301, 788  
Sipahi, E., 2008, *Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İZMİR*  
Vaccaro, T.R. ve Wilson, R.E., 2003, *MNRAS*, 342, 564