

## Cüce Novaların Bileşenlerinde Güneş-Tipi Çevrimler

Tansel AK<sup>1</sup>, M. Türker ÖZKAN<sup>2</sup>, Janet AKYÜZ-MATTEI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34452, Üniversite, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Araştırma ve Uygulama Merkezi, 34452, Üniversite, İstanbul

<sup>3</sup>AAVSO, 28 Birch Street, Cambridge, MA02138, USA

e-mail: tanselak@istanbul.edu.tr

**ÖZET:** Bu çalışmada, cüce novaların 16-96 yıl arasındaki süreleri kapsayan uzun dönemli AAVSO ve RASNZ görsel ışık eğrilerinden elde edilen sakin evre parlaklıkları, patlama tekrarlama süreleri ve patlama sürelerinde sistemlerin geç spektral tipten bileşenlerinin, periyodik kütle transfer miktarı değişimlerine yol açan Güneş-tipi çevrimleri aranmıştır. Fourier periodogram analizleri ile bulunan çevrim periyotları 2.7-22.5 yıl arasındadır. Güneş-tipi çevrimlerin sakin evre parlaklıklarındaki genlikleri ise  $0.09^m-0.46^m$  arasında değişmektedir. Çevrim periyotlarının frekans dağılımına uygulanan Gauss uyum eğrisi 6.8 yıla karşılık gelen bir tepe değeri vermektedir ki bu değer tekil anakol yıldızlarının Güneş-tipi çevrim periyotlarından bulunan tepe değeri ile aynıdır. Lineer korelasyon analizleri, bileşen yıldızın manyetik etkinliğinin bir ölçüsü olabilecek çevrim genliğinin, patlama tekrarlama süreleri, patlamadan iniş oranı ve yörünge periyodu gibi ışık eğrisi parametreleri ve fiziksel parametreler ile ilişkili olduğunu göstermiştir. İyi belirlenmiş çevrim periyotlarına sahip yıldızlardaki manyetik etkinliği karakterize eden  $P_{\text{çev}}/P_{\text{dön}}$  oranının kullanımı yolu ile, kataklismik değişenlerdeki anakol yıldızlarının, tekil anakol yıldızlarının  $\log(P_{\text{çev}}/P_{\text{dön}}):\log(1/P_{\text{dön}})$  diyagramındaki düşük dönme periyodu bölgesinde yer aldıkları bulunmuştur. Oran, uzun dönemli ışık eğrisi parametreleri ve fiziksel parametreler ile de korelasyon halindedir. Bu çalışma ile kataklismik değişenlerdeki bileşen yıldızların, tekil anakol yıldızlarının Güneş-tipi çevrim araştırmalarına önemli faydalar sağlayabilecekleri gösterilmiştir.

### 1. Giriş

Kataklismik değişenler, Roche lobunu doldurmuş bir anakol bileşeninden bir beyaz cüce üzerine, yığılma diski oluşturarak madde aktaran kısa periyotlu çift yıldızlardır. Aktarılan maddenin yığılma diskine çarptığı yerde bir sıcak leke meydana gelir. Kataklismik değişenlerin bir sınıfı olan cüce novalar, her 10-500 günde bir meydana gelen patlamalar ile karakterize edilirler, ve üç alt sınıfa ayrılırlar: U Geminorum (U Gem) yıldızlarının ışık eğrilerinde sadece normal patlamalar gözlenir ki bunlar 2-6 kadir genlikli parlaklık artışlarıdır. Z Camelopardalis (Z Cam) yıldızlarının, normal patlamaların yanısıra, süreleri birkaç haftadan birkaç yıla kadar değişen ve bu süreç boyunca patlama davranışının kesildiği duraksamaları vardır. SU Ursae Majoris (SU UMA) yıldızlarının ışık eğrilerinde ise, normal patlamalara ilaveten, yüksek genlikli ve uzun süreli süperpatlamalar gözlenir.

Yarı-periyodik patlama davranışı, bileşen yıldızın evrimsel durumu ya da dinamik kararsızlıklarından kaynaklanan kütle transfer miktarı değişimleri yerine, yığılma diskindeki akışkan işlemlerine dayanılarak daha iyi anlaşılmaktadır (Cannizzo ve ark., 1988; Cannizzo, 1993; Hameury ve ark., 1998).

Kataklismik değişenlerin bileşen yıldızları tekil alt-anakol yıldızlarına neredeyse özdeşirler

(Warner, 1995; Beuermann ve ark., 1998). Bileşen yıldızlar, derin konvektif kuşakları ve yörünge periyodu ile eşzamanlı yüksek dönme hızları gözönüne alındığında, Güneş-tipi çevrimsel manyetik aktiviteyi akla getirirler. Warner (1988) göstermiştir ki Güneş-tipi manyetik çevrimin ortaya çıkarttığı kuadropol momentin değişimi, bazı gözlenebilir parametrelerde zamana bağlı değişimlere sebep olur. Akı tüplerinin değişen sayıları yıldızın yarıçapında (veya Roche lobu çapında, Richmann ve ark., 1994) değişime sebep olur. Bunun sonucu, kütle transfer miktarındaki değişimdir. Artan kütle transfer miktarı, sıcak lekenin ışımaya gücünün ve yığılma diski boyunca kütle akım miktarının da artmasına sebep olur. Böylece, cüce novalara bakıldığında, sistemin sakin evredeki toplam ışımaya gücünde bir artış gözlenmelidir. Zira, patlama evresinde hakim ışınım kaynağı yığılma diski iken, sakin evre ışınımının çoğunluğundan bileşen yıldız ve sıcak leke sorumludur. Ancak sakin evre ışınımına diskin katkısı da ihmal edilmemelidir.

Bir cüce novanın patlama tekrarlama süresi (bir anlamda patlama periyodu) kütle transfer miktarı ile ters orantılı olduğundan (Ichikawa ve Osaki, 1994), artan kütle transfer miktarı, patlamaların sıklaşmasına yol açar. Bileşenin manyetik alanı yığılma diskine ulaşarak diske nüfuz eder ve açılmal momentum kaybına sebep

olur. Bundan dolayı, patlama ile beyaz cüceye yığılacak olan kütle biriktiği ve patlamaların tetiklendiği bölge diskin iç kısımlarına doğru kayar. Sonuçta, patlamaların kütle transfer miktarının daha düşük olduğu dönemlerdekilere göre daha sık meydana gelmeleri ve daha kısa sürmeleri beklenir (Vogt, Meyer-Hofmeister, Meyer, 1995; Smak, 1984).

Kısacası, bir kataklizmik değişimdeki bileşen yıldızın çevrimsel manyetik aktivitesi, sistemin toplam parlaklığında, patlamaların tekrarlama sürelerinde ve patlama sürelerindeki çevrimsel değişimler olarak gözlenmelidir.

Kataklizmik değişimlerdeki bileşen yıldızların çevrimsel manyetik aktiviteleri, bu sistemlerin uzun-dönemli görsel ışık eğrilerinin incelenmesi ile gözlemsel olarak ortaya konulabilir. Böyle çevrimler, bazı novalar ve nova-benzeri yıldızların görsel parlaklıkları ile cüce novaların patlama tekrarlama sürelerinde Bianchini (1988, 1990) tarafından bulunmuştur. Her ne kadar incelenen sistem sayısı tatmin edici olmaktan uzaksa da, Bianchini (1990) ile Maceroni ve ark.'nın (1990) sonuçlarına göre; bileşen yıldızların çevrim periyotları tekil anakol yıldızlarının çevrim periyotlarının aralığına düşer, ve çevrim periyotları bileşenlerin dönme periyotları ile ilişkili değildir. Bu tür korelasyon araştırmaları anakol yıldızlarının dinamo aktivitesi için önemli ipuçları verebilir.

Tekil anakol yıldızları ile karşılaştırıldığında, manyetik aktivite çevrimlerinin gözlemsel olarak araştırılmasında kataklizmik değişimler daha büyük avantajlar sunar. Öncelikle, bu sistemlerin amatör astronomlar tarafından yapılan görsel fotometrik gözlemleri onyıllardır AAVSO (American Association of Variable Star Observers) ve RASNZ (Royal Astronomical Society of New Zealand) gibi kurumlar tarafından derlenmekte ve biriktirilmektedir. Bu sebeple, tekil yıldızlar sözkonusu olduğunda verinin birikmesi onyıllar sürerken, kataklizmik değişimler için gözlemler incelemeye hazır durumdadır. İkinci avantaj, yörünge periyodunun dönme periyodu, kütle ve yarıçap gibi yıldız parametreleri ile doğrudan ilişkili olmasından kaynaklanır. Kataklizmik değişimlerde gözlemsel olarak en iyi belirlenebilir parametre yörünge periyodudur. Dolayısı ile diğer yıldız parametreleri de kabul edilebilir duyarlılıkta belirlenebilir. Sonuçta, bu parametreler ile manyetik aktiviteyi temsil eden parametreler arasında korelasyon analizleri yapılabilir. Halbuki tekil yıldızlarda yıldız parametrelerinin belirlenmesi önemli bir sorundur.

Bu çalışmada, cüce nova bileşenlerinin çevrimsel manyetik aktivitelerini belirleyebilmek, manyetik aktiviteyi temsil eden gözlenebilir

parametreler ile sistem parametreleri ve uzun dönemli ışık eğrisi parametreleri arasında korelasyonlar araştırmak için, sistemlerin uzun dönemli görsel fotometrik gözlemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Şimdiye kadar cüce novalar üzerinde bu amaçla yapılan çalışmalar sistemlerin patlama tekrarlama süreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Patlama tekrarlama süreleri bulunan sistem sayısı az olduğundan, ve verilerde kesilmeler meydana gelmesi sonucu tekrarlama sürelerinin sayıları da azaldığından, şimdiye kadar yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların istatistik önemleri düşüktür. Halbuki, açıktır ki sakin evre parlaklıkları da kullanılabilir. Buna rağmen, bununla yetinilmemiş, patlama süreleri ve patlama tekrarlama süreleri de ölçülerek incelemelerde bütünlük sağlanmış, sonuçlar, sakin evre parlaklıklarından ve tekil yıldız araştırmalarından elde edilenler ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Veriler ve Analizler

Veriler, 32 cüce novanın AAVSO ve RASNZ'den alınmış uzun-dönemli görsel fotometrik gözlemlerinden ibarettir. Sistemler, veri setinde her üç cüce nova alt sınıfından da üyeler bulunacak şekilde seçilmiştir. Işık eğrilerinin kapsadıkları gözlem süreçleri 16-95 yıl arasında değişmektedir (Tablo-1). Her ne kadar sakin evre gözlemleri neredeyse tüm sistemlerde incelemelere yeterli sayıda, ve uzun dönemli ışık eğrisi parametrelerinin tümü tarafımızdan ölçülmüş olsa da, incelemelerde istisnai şekilde CZ Ori'nin patlama süreleri, CN Ori ile SS Aur'un patlama tekrarlama süreleri kullanılmıştır. Diğer sistemlerde, eşit olmayan aralıklı zaman serileri teşkil eden sakin evre parlaklıkları uygun bilgisayar yazılımları ile ayıklanmış, ve AAVSO tarafından geliştirilmiş TS11 yazılımı (Foster, 1995) kullanılarak Fourier periodogram analizine tabi tutulmuştur.

Elde edilen güç spektrumları genelde iki tür sahte sinyalden kaynaklanan karmaşık yapılar sergilerler: 1) Yaklaşık son 10-20 yıldır amatör gözlemler giderek artan gözlemsel teknolojiler sayesinde, sistemlerin daha sönük durumlarını gözleyebilir hale gelmişlerdir. Bu durum, sistemlerin uzun dönemli ışık eğrilerinin son kısımlarında daha düşük parlaklıkların sayısında bir artışa neden olur. Böylece, güç spektrumunda çok uzun bir periyoda karşılık gelen bir tepcecik ve onun harmonikleri görülür. Her ne kadar bu tepcecik gerçek bir modülasyonu yansıtır olması ihtimali varsa da, güvenilir bir çıkarım için bu tür tepcecikler güç spektrumundan uzaklaştırılmıştır. 2) Bazı sistemlerin uzun

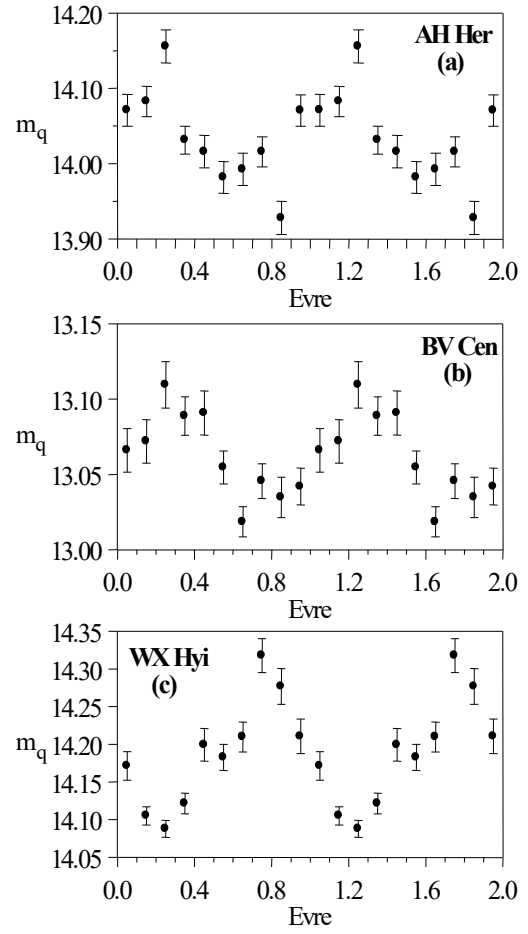
dönemli ışık eğrilerinde, sistemin gözlenemediği dönemlere karşılık gelen yıllık kesilmeler vardır. Bu veri kesilmeleri güç spektrumunda yaklaşık 1 yıla karşılık gelen bir tepecik verir. Böyle sinyaller de güç spektrumundan uzaklaştırılmıştır. Kalan güç spektrumu gerçek çevrim periyodunu gösterir. Tablo-1'de, bulunan çevrim periyotları ve sakin evre parlaklıklarındaki çevrim genliği verilmiştir. Aynı Tablo'da uzun dönemli ışık eğrileri incelenen sistemlerin isimleri, gözlem aralıkları, sakin evre gözlemlerinin sayıları, ve verilerin alındığı merkezler de listelenmiştir.

Bu aşamanın ardından, uzun dönemli sakin evre parlaklıkları her sistem için bulunan çevrim periyoduna göre modellenmiş, tüm çevrimler çevrim periyodunun 0.1 evrelilik aralıkları üzerinden alınan ortalamalar ile katlanarak, sakin evre parlaklıklarındaki çevrimsel davranışın görsel olarak ortaya çıkartılması da sağlanmıştır. Buna dair birkaç örnek Şekil-1a, b ve c'de verilmiştir. Sonuçlarımız, bu sistemlerden bir kaç üzerinde daha önce çalışmış olan Bianchini'ninkiler (1990) ile uyumludur.

Birkaç nova ve nova benzeri yıldızın Bianchini (1990) tarafından verilen çevrim periyotları ve çevrim genlikleri de sonuçlar değerlendirilirken veri setine eklenmiştir.

**Tablo-1.** Uzun-dönemli görsel fotometrik verileri incelenen yıldızların isimleri, gözlem aralıkları ( $\Delta T$ ), sakin evre gözlemlerinin sayıları ( $N_q$ ), bulunan çevrim periyotları ( $P_{\text{çev}}$ ), sakin evre parlaklığındaki çevrim genlikleri ( $\Delta m$ ) ve verilerin alındığı merkezler. Sistemler alfabetik olarak sıralanmıştır.

Sistem	$\Delta T$ (yıl)	$N_q$	$P_{\text{çev}}$ (yıl)	$\Delta m$ ( $m$ )	Veri Merkezi
AH Her	1963-1995	5034	15.6	0.23	AAVSO
AT Ara	1958-1997	4792	18.8	0.18	RASNZ
AT Cnc	1975-1997	696	15.3	0.46	AAVSO
BV Cen	1954-1997	8434	6.1	0.09	RASNZ
BV Pup	1959-1997	1758	13.2	0.30	RASNZ
CN Ori	1961-1997		4.5		AAVSO
CZ Ori	1954-1997		8.3		RASNZ
EK TrA	1954-1997	5133	16.9	0.35	RASNZ
FQ Sco	1954-1997	5847	9.5	0.11	RASNZ
GK Per	1961-1997	14092	9.6	0.10	AAVSO
HL CMa	1981-1997	542	2.7	0.29	RASNZ
KT Per	1967-1997	4870	6.7	0.17	AAVSO
MU Cen	1954-1997	3324	4.0	0.14	RASNZ
OY Car	1963-1997	3664	7.6	0.34	RASNZ
RU Peg	1961-1997	21646	10.2	0.14	AAVSO
RX And	1963-1995	11394	6.9	0.24	AAVSO
SS Aur	1961-1997		3.2		AAVSO
SS Cyg	1896-1992	20064	6.9	0.19	AAVSO
SW UMa	1961-1997	3172	9.9	0.38	AAVSO
TU Men	1963-1997	2774	7.8	0.33	RASNZ
TW Vir	1955-1997	2625	13.3	0.23	RASNZ
U Gem	1963-1995	19627	6.1	0.32	AAVSO
UY Pup	1979-1997	1493	6.4	0.18	RASNZ
UZ Ser	1955-1997	4088	6.7	0.18	RASNZ
V436 Cen	1958-1997	2446	7.0	0.30	RASNZ
V442 Cen	1954-1997	11584	7.5	0.13	RASNZ
VW Hyi	1953-1997	29159	4.6	0.14	RASNZ
WW Cet	1968-1997	2340	5.6	0.14	RASNZ
WX Hyi	1971-1997	2852	22.5	0.23	RASNZ
WZ Sge	1964-1997	3751	10.6	0.32	RASNZ
Z Cam	1963-1995	10340	6.0	0.13	AAVSO
Z Cha	1954-1997	6553	14.4	0.16	RASNZ

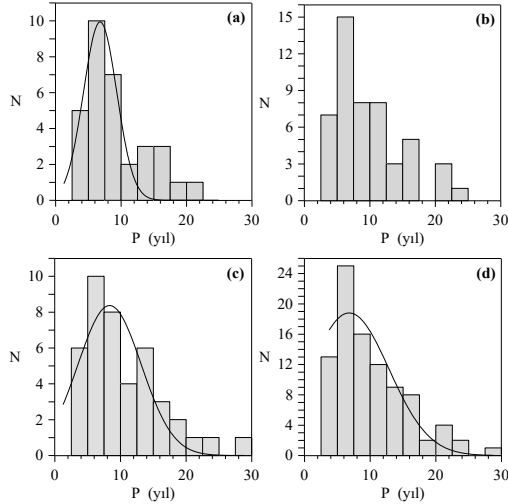


**Şekil-1.** Üç cüce nova alt sınıfından birer üye için Güneş-tipi çevrim periyoduna göre katlanmış uzun dönemli ışık eğrileri. Verilerin, çevrim periyodunun 0.1 evrelilik aralıklarına göre ortalamaları alınmıştır. Hata barları ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.  $m_q$  sembolü ise sakin evre parlaklıklarını temsil etmektedir.

### 3. Sonuçlar

#### 3.1. Ortalama Çevrim Periyotları ve Genlikler

Ortalama çevrim periyotları ( $P_{\text{çev}}$ ), U Gem, Z Cam ve SU UMA tipi cüce novalar için sırası ile 7.5, 8.4 ve 11.3 yıldır. Genel ortalama ise 9.1 yıl olarak hesaplanmıştır. Cüce novaların çevrim periyotlarının frekans dağılımına uygulanan Gauss uyum eğrisi, 6.8 yıllık tepe değeri verir (Şekil-2). İlginçtir ki, tekil anakol yıldızları için de bu değer aynı çıkmaktadır. Tekil anakol yıldızlarının çevrim periyotları Baliunas ve ark.'dan (1995) alınmıştır. Çevrim periyotları bilinen tüm kataklizmik değişenler ele alındığında, bunların çevrim periyotlarının frekans dağılımına uygulanan Gauss uyum eğrisi 8.3 yıllık bir tepe değeri verir. Cüce novaların verdiği 6.8 yıllık tepe değeri ile bu değer arasındaki farkın sebebi, cüce novalar dışındaki sınıflardan bu şekilde çalışılmış sistemlerin



**Şekil-2.** Cüce novalar (a), tekil anakol yıldızları (b), tüm kataklizmik değişenler (c) ve tüm yıldızlar (d) için çevrim periyotlarının frekans dağılımları. Kataklizmik değişenler grubunda, novalar, nova-benzeri yıldızlar ve cüce novalar birarada kullanılmıştır. Tüm yıldızları içeren dağılımda ise, kataklizmik değişenler ve tekil yıldızlar birlikte değerlendirilmiştir. Eğriler, frekans dağılımlarına uygulanan Gauss fitlerini göstermektedir.

sayılarının azlığıdır. Kataklizmik değişenlerin tümünü ve tekil anakol yıldızlarını birlikte içeren bir veri setine uygulanan Gauss uyum eğrisi de 6.8 yıllık tepe değeri verir.

Çevrimlerin sakin evre parlaklıklarındaki ortalama genlikleri ( $\Delta m$ ), U Gem, Z Cam ve SU UMa tipi cüce novalar için sırası ile 0.18<sup>m</sup>, 0.23<sup>m</sup> ve 0.28<sup>m</sup>'dir. Daha yüksek genlik, çevrimin minimum ve maksimum dönemleri arasındaki kütle transfer oranı farkının daha yüksek olması anlamına geldiğinden, SU UMa yıldızlarının bileşenlerindeki çevrimlere dayalı kütle transfer oranı değişimlerinin daha yüksek olduğu anlaşılır. Warner'in (1988) verdiği formülasyona dayanılarak yapılan hesaplar,  $\Delta R/R$  değerlerinin  $3.4 \times 10^{-5}$  ve  $3.0 \times 10^{-4}$  arasında olduğunu göstermiştir ki bunlar tipik bir Güneş çevrimi için yarıçapta beklenen değişim miktarlarına karşılık gelirler.

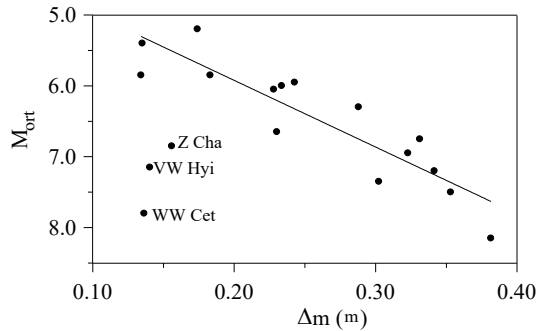
### 3.2. Korelasyonlar

Çevrim parametrelerinin (çevrim periyodu ve genliği) ortalama uzun-dönemli ışık eğrisi parametreleri ve fiziksel parametreler ile muhtemel ilişkilerinin araştırılması için, bu parametreler arasındaki lineer korelasyon katsayıları ( $r$ ) hesaplanmıştır. Lineer korelasyon katsayısına bir anlam sınırı atanmasında, Press ve ark.'nın (1986) çalışmasına dayanan ve Cannizzo ve Mattei (1992) tarafından tanımlanmış yaklaşım izlenmiştir.  $|r|$  lineer korelasyon katsayısı  $N^{-1/2}$ 'ye yaklaştığından, ve bu çalışmada veri sayısı  $N \sim 20$  olduğundan,  $N^{-1/2} \approx 0.22$  bulunur. Güvenilirliği

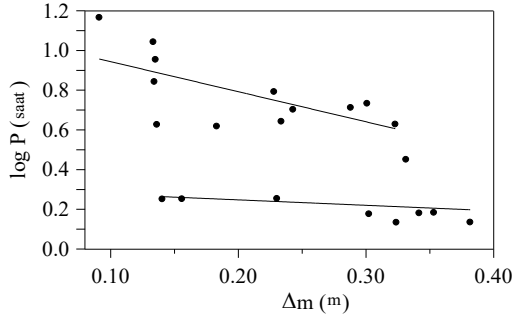
artırmak için bu değer de ikiye katlanarak, lineer korelasyon katsayısı için  $|r| \geq 0.50$  olan değerler bir korelasyonun kuvvetli göstergeleri olarak kabul edilmiştir.

Korelasyon analizlerinin sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- 1- Çevrim periyodu ile ne ortalama uzun-dönemli ışık eğrisi parametreleri, ne de fiziksel parametreler arasında korelasyon vardır. Bileşen yıldız yörünge periyodu ile eşzamanlı döndüğünden, bu sonuç, çevrim periyodunun bileşenin dönme rejimi ile ilişkili olmadığı anlamına gelir. Hesaplarda kullanılan ortalama uzun dönemli ışık eğrisi parametreleri Ak'dan (1999) ve Szkody ve Mattei'den (1984), fiziksel parametreler ise Ritter ve Kolb'dan (1993) alınmıştır.
- 2- Eđer U Gem, EK TrA, V436 Cen, GK Per ve TU Men değerlendirme dışı bırakılırsa, çevrim genliği ile normal patlamaların tekrarlama zamanları arasında negatif bir korelasyon ortaya çıkar. Bu çalışmada SU UMa yıldızlarının süperpatlamaları ile ilgilenilmemiştir. Korelasyon için lineer korelasyon katsayısı ve korelasyona giren sistem sayısı, sırası ile  $r = -0.55$  ve  $N = 21$ 'dir.
- 3- Daha sönük sistemler daha yüksek çevrim genliklerine sahip olma eğilimindedir (Şekil-3). Bu eğilimin çıkartıldığı ortalama mutlak parlaklık ile çevrim genliği arasındaki korelasyonun katsayısı ve kullanılan sistem sayısı, sırası ile  $r = -0.90$  ve  $N = 15$ 'dir. Korelasyonun hesabında yüksek saçılma gösteren VW Hyi, WW Cet ve Z Cha değerlendirme dışı bırakılmıştır. Aynı ilişki minimum ve maksimum mutlak parlaklıklar için de bulunmuştur. Mutlak parlaklıklar Warner'den (1987) alınmıştır.
- 4- Normal patlamalarının ortalama iniş ve çıkış oranları çevrim genliği ile negatif korelasyon halindedir. Korelasyon katsayıları sırası ile  $r = -0.68$  ( $N = 22$ ) ve  $r = -0.53$ 'dür ( $N = 24$ ). İniş oranı için korelasyon katsayısı hesaplanırken, veriler üstten 3.3 gün/<sup>m</sup> ile sınırlanmıştır.



**Şekil-3.** Güneş-tipi çevrimin sakin evre parlaklık-larındaki genliği ( $\Delta m$ ) ile ortalama mutlak parlaklık arasındaki ilişki. Düz çizgi lineer uyumu göstermektedir. İşaretili sistemler değerlendirme dışı bırakılmıştır.



**Şekil-4.** Güneş-tipi çevrimin sakin evre parlaklıklarındaki genliği ( $\Delta m$ ) ile yörünge periyodu arasındaki ilişki. Düz çizgiler lineer uyumları göstermektedir. Periyot boşluğunun altındaki ve üstündeki sistemler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

- 5- Çevrim genliği, uzun yörünge periyotlarında daha düşük olma eğilimindedir ( $r=-0.61$ ,  $N=22$ ). Bu korelasyon, bileşen yıldızın kütesinin çevrim genliği ile ilişkili olduğu anlamına gelir; zira, yörünge periyodu ile bileşen kütesi arasında pozitif bir korelasyon vardır. Üstelik, açıkça bellidir ki çevrim genliği bileşenin dönmesine bağlıdır. Çünkü, bileşenin dönme periyodu ile sistemin yörünge periyodu neredeyse eşittir (Patterson, 1984). Bu ilişkinin daha ayrıntılı bir irdelemesi, eğimin, 3 saatten uzun yörünge periyotlu U Gem ve Z Cam sistemleri ile 2 saatten daha kısa yörünge periyotlu SU UMa sistemlerinde birbirinden farklı olduğunu gösterir. Bununla birlikte genel eğilim aynıdır (Şekil-4).

#### 4. Tartışma

Bu çalışmada, 32 cüce novanın uzun dönemli ışık eğrilerinde, bileşen yıldızların Güneş-tipi manyetik çevrimlerinden kaynaklanan (Warner, 1988) periyodik değişimler tespit edilmiştir. Uzun dönemli Güneş-tipi çevrimsel aktiviteler, geçmiş çalışmalarda bazı kataklizmik değişenler için bulunmuştur. Ancak, ne çalışılan sistem sayısı bu çalışmadaki kadar yüksek bir düzeye erişebilmiş, ne de novaların sakin evre parlaklıkları bu tür araştırmalarda kullanılmış, ne de böyle ayrıntılı korelasyon analizleri yapılabilmektedir. Bulunan çevrim periyotları, Bianchini'nin (1990) buldukları ile uyumludur. Sinyal/gürültü oranı, cüce nova bileşenlerinde Güneş-tipi çevrimlerin varlığına karar vermek için yeterince yüksektir. Sadece tek çevrimin analiz edildiği durumlarda bile sakin evre parlaklıklarının çevrimsel karakteri belli olmaktadır.

SU UMa yıldızları, en uzun çevrim periyotları ve en yüksek çevrim genliklerine sahip sistemlerdir. Bu durum, cüce novaların bu en kısa

yörünge periyotlu üyelerinin derin konvektif kuşakları ile ilişkili olabilir.

Her ne kadar çevrim periyodu diğer herhangi bir parametre ile ilişkili çıkmasa da, korelasyon analizleri göstermiştir ki çevrim genliği, uzun dönemli ışık eğrisi parametreleri ve fiziksel parametreler ile korelasyon halindedir. Yörünge periyodu ile çevrim genliği arasındaki ilişki, bileşenin çevrimsel manyetik aktivitesinin, bu yıldızın kütesi ve dönme periyodu ile bağlantısını ortaya koyan bir gözlemsel bulgudur.

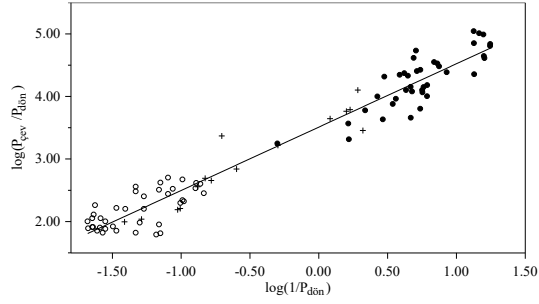
Yukarıda verilen sonuçlar tekil yıldızların manyetik aktivite araştırmaları için çok önemli olabilir. Örneğin korelasyonlar ele alındığında, tekil yıldızların manyetik aktivitelerinin fiziksel parametrelere gözlemsel bağlılığı önemli bir sorundur (Pallavicini, 1996). Tekil anakol yıldızlarının Güneş-tipi çevrimsel manyetik aktiviteleri, kromosferik CaII H ve K çizgi akıllarındaki periyodik değişimlerin gözlenmesi yolu ile bazı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur (Baliunas ve ark., 1995). Bu çalışmalara göre, tekil yıldızların yaklaşık %30'unun periyodik değişimleri açıkça tespit edilebilir. Bunlar, Güneş-benzeri yaşlı ve sakin yıldızlardır. İkinci grup, genç-aktif yıldızlardan oluşur ve CaII H ve K çizgi akıllarındaki değişim periyodik değildir. Kalan yıldızlar ise herhangi bir değişim göstermezler. Bu son gruptaki yıldızların, Güneş'in 1645-1715 yılları arasındaki Maunder Minimumu'na karşılık gelen bir dönemde oldukları yönünde görüşler vardır. Yıldızların bu değişik davranışlarının dönme, konveksiyon veya yaş gibi temel yıldız parametrelerine bağlılıkları tatmin edici şekilde anlaşılamamıştır.

Her ne kadar bazı dinamo modelleri Güneş-tipi aktivite çevrimleri gösteren yıldızlar için çevrim periyodunun spektral tip gibi parametrelere bağlılığını öngörseler de, gözlemsel olarak çevrim süresinin spektral tip (yani konvektif kuşağın derinliği) veya dönme periyodu ( $P_{dön}$ , veya Rosby Sayısı  $P_{dön}/\tau_c$ ) gibi yıldız parametrelerine dikkate değer bağlılıkları yoktur (Saar ve Baliunas, 1992). Saar ve Baliunas (1992), bazı dinamo modellerinde öngörüldüğü gibi, farklı dönme periyotlarındaki yıldızların değişik dinamolara sahip olabileceklerini göstermiştir. Böyle korelasyonlardaki sorun, saf gözlemsel nicelikler ile konvektif dönüşüm zamanı veya türbülans manyetik difüzyon zamanı gibi kuramsal olarak hesaplananların birleştirilerek kullanılmasıdır. Bir çözüm olarak, Soon ve ark. (1993) ve Baliunas ve ark. (1996), yıldızlardaki manyetik aktiviteyi karakterize etmek amacı ile saf gözlemsel bir nicelik olarak çevrim periyodunun dönme periyoduna oranının ( $P_{cev}/P_{dön}$ ) kullanımını önerdiler. Adıgeçen araştırmacıların çalışmalarına göre, bu oran dinamo

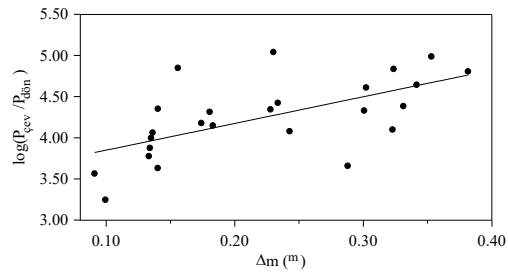
sayısının ( $N_D$ ) bir ölçüsüdür ve dinamo teorisinin öngörülerinin sınanmasında kullanılabilir; zira, değişik dinamo teorileri bu oranın  $\sim N_D^\beta$  ile  $\beta \sim 0.3-0.9$  olmak üzere ölçeklenmesi gerektiğini iddia eder. Dönme periyodunun tersinin ( $1/P_{\text{dön}}$ ) de dinamo sayısının bir ölçüsü olarak kullanılması, ve sadece benzer iç yapı ve konvektif kuşak özelliklerine sahip yıldızların gözönüne alınması halinde, aktivite çevrimlerine dair gözlemsel veriler bu eğilimle uyumludur. Bu çerçevede, sadece yaşlı ve yavaş dönen yıldızlar için çevrim genliği dinamo sayısı ile negatif bir korelasyon sergiler (Baliunas ve ark., 1996). Baliunas ve ark. (1996), tekil anakol yıldızları için  $P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}$  oranının  $N_D^\beta$  ile  $\beta \sim 0.74$  olmak üzere ilişkili olduğunu gözlemsel yolla bulmuşlardır.

Konu kataklismik değişenler bakımından ele alındığında, bu çalışmada, bileşen yıldızların da  $\log(P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}):\log(1/P_{\text{dön}})$  ilişkisine uydukları gözlenmiştir (Şekil-5). İncelemelerde, bileşen yıldızın dönme periyodu sistemin yörünge periyoduna eşit kabul edilmiştir ki bu iyi bir yaklaşımdır (Patterson, 1984). Kataklismik değişenlerin bileşenleri,  $\log(P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}):\log(1/P_{\text{dön}})$  ilişkisini temsil eden grafiğin en kısa yörünge periyotlu yıldızlar kısmında yer alırlar. Kataklismik değişen bileşenleri ve tekil anakol yıldızları birarada değerlendirildiğinde, ilişkinin eğimi  $\beta \sim 1.01$  olur ( $r=+0.98$ ,  $N=78$ ). İlişkinin eğimi, en azından bileşen yıldızlar için değişik bir dinamonun varlığını gösterir. Bileşen yıldızlardaki dinamo işlemi etkinliğinin bir ölçüsü olarak  $P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}$  parametresi, uzun dönemli ışık eğrisi parametreleri ve fiziksel parametreler ile de korelasyon halindedir. Örneğin bu parametrenin logaritmasının, ortalama ve maksimum mutlak parlaklıklar ( $r=-0.50$ ,  $N=22$  ve  $r=-0.70$ ,  $N=23$ ), normal patlamaların tekrarlama sürelerinin logaritması ( $r=-0.40$ ,  $N=29$ ), patlamaların iniş ve çıkış oranları ile ( $r=-0.69$ ,  $N=29$  ve  $r=-0.48$ ,  $N=27$ ), ve patlama süresi ile açık korelasyonları vardır. Bu oran aynı zamanda bileşen kütlesi ve beyaz cüce kütlesi ile de ilişkilidir (sırası ile,  $r=0.67$ ,  $N=29$  ve  $r=-0.52$ ,  $N=28$ ). Korelasyonlar, kataklismik değişenlerdeki bileşen yıldızların dinamo etkinliğinin, uzun dönemli ışık eğrisi parametreleri ve fiziksel parametreler ile ilişkilerini gösterir.

Ayrıca görülmüştür ki bileşen yıldızlardaki Güneş-tipi çevrimlerin sakin evre parlaklıklarındaki genliği  $\Delta m$ ,  $\log(P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}})$  ile pozitif korelasyon halindedir ( $r=+0.68$ ,  $N=25$ ) (Şekil-6). Öyleyse, çevrim genliği de dinamo etkinliğinin bir ölçüsü olabilir. Bu böyle kabul edildiğinde, yukarıda verilen korelasyonların, bileşen yıldızlardaki manyetik etkinliğin sistemlerin fiziksel özelliklerine gözlemsel bağlılığını gösterdikleri açıktır. Zira, çoğu uzun-



Şekil-5. Kataklismik değişenlerin bileşenleri, tekil anakol yıldızları ve RS CVn yıldızlarını içeren  $\log(P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}):\log(1/P_{\text{dön}})$  diyagramı. İçi dolu daireler kataklismik değişenleri, içi boş daireler tekil anakol yıldızlarını, "+" işaretleri RS CVn yıldızlarını temsil etmekte, düz çizgi ise lineer uyumu göstermektedir.



Şekil-6. Kataklismik değişenlerin bileşenlerindeki Güneş-tipi çevrimin sakin evre parlaklıklarında meydana getirdiği çevrimsel değişimin genliği, tekil yıldızlarda dinamo etkinliğini karakterize etmek için önerilmiş  $P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}$  oranı ile ilişkilidir.

dönemli ışık eğrisi parametresi ve fiziksel parametre yörünge periyodu ile doğrudan ilişkilidir (Ak, 1999; Szkody ve Mattei, 1984).

Son olarak, RS CVn yıldızları  $\log(P_{\text{cev}}/P_{\text{dön}}):\log(1/P_{\text{dön}})$  diyagramında kullanıldığı zaman, bu sistemlerin de genel eğilimden pek sapmadıkları görülmektedir. Tekil anakol yıldızları, kataklismik bileşenleri, ve RS CVn yıldızları birarada değerlendirilirse,  $r=+0.97$  ( $N=93$ ) ve  $\beta \sim 1.00$  olur. RS CVn yıldızlarının çevrim, ve dönme periyotlarına eşit varsayılan yörünge periyotları Maceroni ve ark. (1990) ve Khopolov'dan (1985) alınmıştır.

Sonuçlar bir bütün olarak ele alınırsa, kataklismik değişenlerdeki kütle transferinin çevrimsel doğasının en azından çoğu sistem için genel bir durum olduğu ortaya çıkmaktadır. Ve, açıktır ki çevrimin görsel parlaklıklardaki genliği bileşen yıldızların dinamo etkinliğinin bir ölçüsü olabilir.

Bu çalışmadan çıkarılabilecek bir başka önemli sonuç da kataklismik değişenlerdeki bileşen yıldızların Güneş-tipi çevrimlerine dair çalışmaların, genelde yıldızların dinamo etkinliklerine dair önemli ipuçları sunabilecek olmalarıdır. Ancak, her ne kadar şimdiye kadar incelenenler önemli sonuçlar çıkarılmasına yetecek sayıda olsalar da, bu tarzda çalışılan sistem sayısının artması gerektiği açıktır.

## Teşekkür

Çalışmamızda incelenen veri setini teşkil eden onbinlerce gözlemi yapmış AAVSO ve RASNZ gözlemcilerine, verileri araştırmamızın hizmetine sunan Dr. J.A. Mattei'ye ve Dr. F.M. Bateson'a teşekkür ederiz. Bu çalışma, İ.Ü. Rektörlüğü Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No: T-141/241095

Warner B., 1988, *Nature*, **336**, 129

Warner B., 1995, *Ap&SS*, **232**, 89

## Kaynaklar

- Ak T., 1999, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Baliunas S.L., Donahue R.A., Soon W.H., Horne J.H., Frazer J., et al., 1995, *ApJ*, **438**, 269
- Baliunas S.L., Nesme-Ribes E., Sokoloff D., Soon W.H., 1996, *ApJ*, **460**, 848
- Beuermann K., Baraffe I., Kolb U., Weichhold M., 1998, *A&A*, **339**, 518
- Bianchini A., 1988, *IAU-IBVS*, No.3136
- Bianchini A., 1990, *AJ*, **99**, 1941
- Cannizzo J.K., Shafter A.W., Wheeler J.C., 1988, *ApJ*, **333**, 227
- Cannizzo J.K., Mattei J.A., 1992, *ApJ*, **401**, 642
- Cannizzo J.K., 1993, *ApJ*, **419**, 318
- Foster G., 1995, *AJ*, **109**, 1889
- Hameury J.M., Menou K., Dubus G., Lasota J.P., Hure J.M., 1998, *MNRAS*, **298**, 1048
- Ichikawa S., Osaki Y., 1994, *Theory of Accretion Disks-2*, (eds. W.J. Duschl et al.), p.169
- Khopolov P.N. et al., 1984, *General Catalogue of Variable Stars*, Astronomical Council of the USSR Academy of Sciences
- Maceroni C., Bianchini A., Rodono M., Van't Veer F., Vio R., 1990, *A&A*, **237**, 395
- Pallavicini R., 1996, *Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere-Prototypes of Stellar Magnetic Activity*, (eds. Y. Uchida et al.), p.359
- Patterson J., 1984, *ApJS*, **54**, 443
- Press W.H., Flannery B.P., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., 1986, *Numerical Recipes*, Cambridge University Press
- Richmann H.R., Applegate J.H., Patterson J., 1994, *PASP*, **106**, 1075
- Ritter H., Kolb U., 1993, *X-ray Binaries*, (eds. W.H.G. Lewin et al.), p.1
- Saar S.H., Baliunas S.L., 1992, *Solar Cycle*, (ed. K.L. Harvey), *ASP Conference Series*, **26**, 150
- Smak J., 1984, *AcA*, **34**, 161
- Soon W.H., Baliunas S.L., Zhang Q., 1993, *ApJ*, **414**, L33
- Szkody P., Mattei J.A., 1984, *PASP*, **96**, 988
- Vogt N., Meyer-Hofmeister E., Meyer F., 1995, *Flares and Flashes*, (eds. J. Greiner et al.), p.285
- Warner B., 1987, *MNRAS*, **227**, 23