

AKTİF ÇİFT YILDIZLAR

Serdar Evren

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova, 35100, İzmir
sevren@astronomy.sci.ege.edu.tr

Özet: Geri-tayf türünden anakol ve dev ışınım gücü sınıflarına ait tek ve çift yıldızların büyük bir çoğunluğu güneş benzeri aktivite gösterir. Parlaklık değişimlerinin nedeni olarak gösterilen soğuk yıldız lekeleri ve parlak aktif bölgelerin hareketleri ve evrimleri sürekli gözlemler sayesinde ortaya çıkartılmıştır. 20-25 yıllık uzun zaman aralığına yayılmış verilerin değerlendirilmesiyle, yıldız yüzeyindeki aktif bölgelerin genelde birbirlerinden 180° ayırık iki zıt boylam kuşağında yer aldığı bulunmuştur. Yıldız lekeleri, bu aktif boylamlar içinde yaşamlarını sürdürür ve dönemli veya çevrimli olarak aktif boylamlardan biri diğerine göre her zaman daha aktif olur. Fotometrik ve tayfsal çalışmalardan giderek lekelerin yüzeydeki konumları haritalanmış ve hareketleri incelenmiştir. Bunun sonucunda güneş benzeri diferansiyel dönmenin varlığına ulaşılmış ve aktif yıldızlara ilişkin kelebek diagramlarının oluşturulması gündeme gelmiştir.

Anahtar kelimeler: yıldızlar: aktif yıldızlar – yıldızlar: yıldız lekeli – yıldızlar: diferansiyel dönme

Abstract: The majority of single and binary stars of late-type main sequence and giants exhibit solar-like activity. The movement and evolution of the cooler starspots and the brighter active regions, which are believed to be the cause of the brightness variations, have been revealed by means of the continuous observations. Evaluation of the data spanning 20-25 years, it is understood that the active regions are generally located with a separation of 180° longitudinally on stellar surfaces. Starspots live on these active longitudes and the longitudes change their strength of activity periodically or cyclically. By means of photometric and spectral investigation the locations of the spots on the stellar surface have been mapped and their movements have been investigated. Thus, for these stars, the existence of solar-like differential rotation has been revealed and the establishment of the butterfly diagrams comes into existence.

Key words: stars: active stars – stars: starspot – stars: differential rotation

1. Giriş

Geri-tayf türünden yıldızların fotosferlerinde görülen karanlık lekeler ve parlak bölgeler, ısınmış kromosferler, yüksek ısıli koronalar ve yıldız rüzgarları, yıldız aktivitesinin çalışma yapılarıdır. Bütün konvektif yıldızların güneş benzeri aktivite gösterdiğini biliyoruz. Değişkenliklerinin ana nedeni, yüzeylerinde ortaya çıkan büyük karanlık-soğuk lekelerdir.

Ca II'nin kuvvetli H ($\lambda 3968$) ve K ($\lambda 3934$) salma çizgilerinin gözlenmesiyle kromosferler bulunmuştur. Bu çizgiler yıldız aktivitesi belirteçlerine ilişkin temel optik çizgilerdir. Diğer önemli optik çizgi, H α ($\lambda 6563$)'dır. Daha üst atmosferdeki çizgilerin çoğu moröte bölgede yer alır (MgII'nin h ($\lambda 2802$) ve k ($\lambda 2796$) çizgileri gibi).

Yıldız aktivitesi çalışmalarıyla ilgili üç gözlem türü vardır. Bunlardan ilki, yıldızların dönme hızı ölçümleridir. Dönme hızı bilinen standart bir yıldız

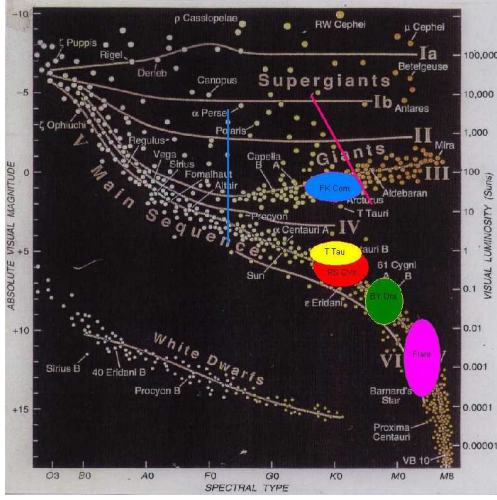
ile çalışılan yıldız arasında tayf çizgi kesiti eşleştirmesi yapılır. Daha iyi bir yöntem, yıldız yüzeyinde aktiviteden kaynaklanan düzgün dağılmamış yapıların geniş band fotometrik veya tayfsal belirteçlerin dönemle değişimini incelemektir. Bu yöntem, sistemin yörünge eğikliğini dikkate almadan doğrudan dönemi araştırır. Yıldız aktivitesi manyetik alanlarla ilişkili olduğundan, Zeeman genişlemesi kullanılarak aktivite ölçümleri yapılabilir. Birçok çalışmada geri-tür yıldızlara ilişkin kütle kaybı verileri elde edilmiştir. En çarpıcı örnekler anakol öncesi yıldızlarda görünmüştür. Bu yıldızlar, kuvvetli asimetric Balmer salması ve yıldızdan yayılan jetler ve ilmikler gösterir. Düşük yüzey çekimli anakol sonrası yıldızlarda da büyük kütle kaybına rastlanmıştır (Basri 1986).

2. H-R Diagramında Aktivite

Şekil 1'de manyetik aktivite gösteren değişik yıldız türlerinin H-R diagramındaki yerleri gösterilir. Bu bizlere aktif yıldızların yeri hakkında genel bir bakış açısı kazandırır. Ayrıntılı çalışmalar konvektif zarfın anlamlı bir manyetik aktivite için gerekli, fakat yeterli bir şart olmadığını göstermiştir.

Bildiri tam metni için : Serdar EVREN
e-mektup: sevren@astronomy.sci.ege.edu.tr

Konvektif zarflı yıldızlar H-R diagramında bulgurlanma sınırının (Şekil 1'de F0 tayf türünde görülen dik çizgi) sağ tarafında anakol ve devler bölgesinde toplanmışlardır.



Şekil 1. Manyetik aktivite gösteren değişik yıldız türlerinin H-R diagramındaki yerleri.

Konvektif zarf, manyetik aktivite için yeterli bir şart değildir. Manyetik aktivite yıldızın dönme hızına da bağlıdır. Anakol yıldızları arasında en aktif tek yıldızlar, sıfır yaş anakoluna yakın zamanda ulaşmış, nispeten hızlı dönen genç yıldızlardır. Bu yıldızlar manyetik frenleme yüzünden hemen yavaşlamaya başlar ve sonuçta aktivite düzeyleri azalır. Örneğin, Güneş, düşük aktivite düzeyli yavaş dönen yaşlıca bir yıldızdır (Schrijver ve Zwaan 2000).

Manyetik aktivite, anakol boyunca F-tayf türü yıldızlardan itibaren aşağıya doğru en soğuk M-türü yıldızlara kadar her yerde görülür. F-türü yıldızlarda sığ bir konvektif zarf olmasına rağmen, en soğuk M-türü yıldızlar tamamen konvektiftir.

Evrilmiş yıldızlar bölgesinde yıldızların dış atmosferlerinde görülen aktivite desenleri, ilk bakışta karmaşık gibi görünür. Bu gibi yıldızların ilk çalışmaları CaII H&K verileriyle başladı. Fakat, IUE ve EINSTEIN uydu gözlemlerinin başlamasından sonra bu araştırma alanında patlama oldu. Wilson (1976) yaklaşık 500 evrimleşmiş yıldızın kromosferik aktivite çalışmasını yayımladı. Bu çalışmada CaII H&K salma çizgi çekirdekleri şiddetlerinin sınıflaması yapıldı.

Geri G veya ön K-türü yıldızlara doğru etkin sıcaklığın azalmasıyla devlerden alınan kromosferik salmada bir azalma olur. Ancak, geçiş bölgesi ve

koronadan alınan salmalardaki düşüşler daha fazladır. Bu durum, H-R diagramında bir "bölünme veya ayırma çizgisi"nin bulunmasına önderlik eder (Şekil 1'de devler bölgesinde K0'a kadar uzanan eğik çizgi). Böyle bir çizgi, IUE moröte tayflarını çalışan Linsky ve Haisch (1979) tarafından teklif edilmiştir. Bu ayırma çizgisinin daha yüksek etkin sıcaklık tarafında, geçiş bölgesi (özellikle CIV) ve kromosferik salmaların her ikisini de gösteren G-türü devler, daha düşük sıcaklık tarafında, kromosferden daha sıcak hiçbir dış atmosferik madde göstermeyen K-türü devler bulunur.

Ayırma çizgisi yalnız tek yıldızlara göre yapılır. Yakın çiftlerdeki bileşenler, onlara karşılık gelen tek yıldızların aktivite düzeylerinden daha yüksek aktivite düzeyine sahiptirler. Örneğin, 100 günden daha az yörünge dönemli bir çift yıldızdaki bir K devisi daha çok kromosferik, geçiş bölgesi ve koronal salma yapar.

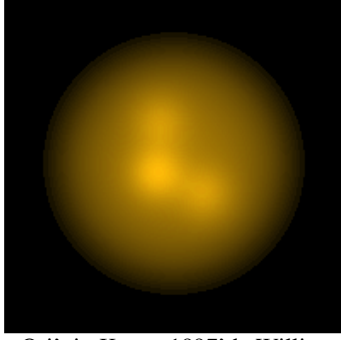
2. Aktif Yıldızlarda Dış Atmosferi Görüntüleme Yöntemleri

En yakın yıldızın fotosferindeki yapılar, bizi soğuk yıldızların dış atmosferlerinin düzgün dağılımlı olmayan yapısıyla karşı karşıya bıraktı. Bu durum, Güneş'ten başka yıldızlar için soğuk yıldız lekelerinin neden olduğu geniş bant sinyallerin zamana bağlı değişiminden ortaya kondu. Daha sonra, Vaughan ve ark.(1981) bazı soğuk yıldızların yüzeyindeki düzgün dağılım göstermeyen yapıların dönmelerinden kaynaklanan CaII H&K sinyallerindeki yarı-dönemli değişimleri buldular. Yıldızlara ilişkin dinamoyu anlayabilmemiz için aktif boylamların ve onların yüzeydeki biçimlerinin özelliklerine ilişkin gözlemsel bilgiye gerek vardır. Örneğin, aktif bölgelerin boyutlarını ve yaşam sürelerini, leke yapısının ayrıntısını ve benzeri özelliklerini bilmek isteriz. Aslında, soğuk yıldızların dış atmosferlerinin üç boyutlu geometrik yapısını anlamak daha iyi olur. Bir dereceye kadar fotosferin üzeri görüntülenmeye çalışıldı. Aktivite düzeyi Güneş'inkine benzer olanlar için bu işi başarmak çok zordur. Ancak, daha aktif olanlar için karanlık ve parlak bölgeleri bulmak daha kolaydır.

Aletlerin duyarlılığı arttıkça, soğuk yıldızların üç boyutlu atmosfer haritaları oluşturulabiliyor. Şu anda soğuk yıldız atmosferlerinin yapısını keşfetmeye yarayan beş temel yöntem vardır (Schrijver ve Zwaan 2000):

a. Doğrudan görüntüleme. Eğer, teleskop ve yıldız yeterince büyükse, görüntüleme tekniğiyle yıldız yüzeyinin yapısı hakkında bilgi edinilebilir. Bu durumdaki yıldız sayısı çok azdır. Gilliland ve Dupree (1996), Hubble Uzay Teleskobu'yla ilk defa bir yıldız (α Ori - M2 Iab) yüzeyinin görüntüsünü almışlardır. Kromosferin yıldızın

yaklaşık 2 yarıçapı uzağa kadar genişlediğini ve disk üzerinde bir sıcak leke olduğunu bulmuşlardır. Daha sonra, Young ve ark. (2000) aynı yıldızın Kasım 1997'de William Herschel Teleskobu'nu kullanarak 700nm'de yapılan gözlemleriyle yüzeyde üç sıcak leke görüntülemişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. α Ori'nin Kasım 1997'de William Herschel Teleskobu'yla alınan yüzey görüntüsü ve sıcak lekeler.

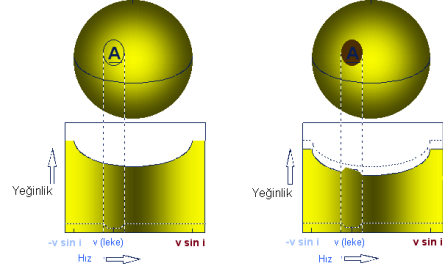
b. Girişimölçüm. Özellikle yakın çift yıldızlar veya genişlemiş diske sahip anakol öncesi yıldızlar gibi genişlemiş kaynaklar bir yıldız diskine göre daha iyi çözümlenmeye izin verir.

c. Tutulmaların kullanıldığı haritalama. Çift sistemlerde bir bileşen diğerinin önünden geçerken bileşenlerin atmosfer yapısı düşük çözümlemede incelenebilir. Yakın ve aktif çift sistemlerin bir alt grubunda, diğerine göre oldukça küçük yarıçaplı ve daha sıcak bileşen, genişlemiş atmosfere sahip aktif bileşenin arkasından geçerken dış atmosferin yapısı haritalanabilir. Bu tür çalışmalara uygun yıldızlar V471 Tau (bir beyaz cüce ve K2V yıldızı) ve ζ Aur (sıcak bir B yıldızı ve K-parlak süperdevi) dir. Bunlara benzer çalışma yapılabilecek ancak 12 yıldız vardır.

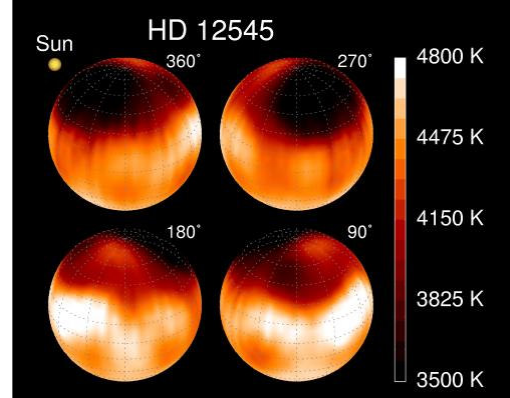
d. Doppler Görüntüleme. Yıldızın dönmesinden dolayı düzgün dağılmamış yapıların yıldız diski üzerindeki hareketi, Doppler etkisinden dolayı çizgi kesitlerinde bozulmalara neden olur (Şekil 3).

Yıldızların yüzeyi bu zamana bağlı bozulmaların modellenmesi yardımıyla görüntülenebilir. Sinyalin gözlenen hız genliğinden giderek enlem bilgisine ve bazı durumlarda yüzeyden olan yükseklik bilgisine ulaşılabilir. Şekil 4a ve b'de HD 12545 ve IN Com yıldızlarının Doppler görüntüleme tekniği kullanılarak oluşturulmuş, farklı enlem ve boylamlardaki yüzey lekeleri gösterilir. Bu tekniğin kullanılabilmesi için yıldızın bünyesel çizgi genişliğini aşacak kadar belli bir $v \sin i$ değeriyle dönmesi gerekir.

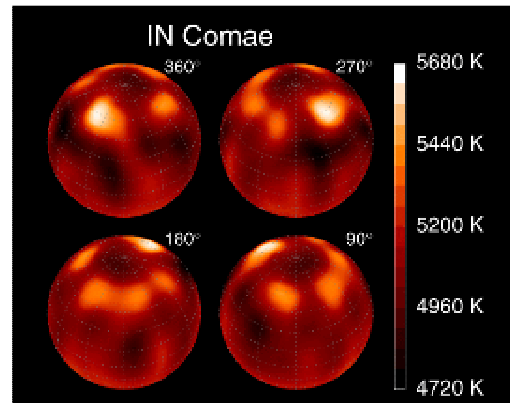
Doppler Görüntüleme



Şekil 3. Doppler görüntüleme tekniği. Yıldızın dönmesi sonucunda yüzeydeki soğuk yıldız lekelerinin disk üzerindeki hareketinden dolayı çizgi kesitlerinde yarattığı bozulmalar.

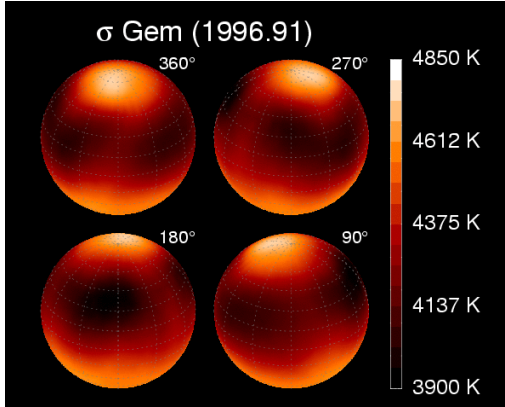


Şekil 4a. XX Tri (=HD 12545) yıldızının yüzeyi üzerindeki soğuk yıldız lekelerinin Doppler görüntüleme tekniği ile haritalanması (Strassmeier 1999)



Şekil 4b. IN Com yıldızının yüzeyi üzerindeki soğuk yıldız lekelerinin Doppler görüntüleme tekniği ile haritalanması (Strassmeier ve ark. 1997)

e. **Dönmeden kaynaklanan değişimin haritalanması.** Aktif yapılar dönme sonucunda görünen küre üzerinde bir görünüş bir kayboldukça (Şekil 5) parlaklık değişimine neden olur. Bu da aktivitenin boylamsal dağılım haritasını oluşturmamıza yardımcı olur. Tek bağlayıcı unsur, aktif yapıların yaşam süresidir. Bu süre yıldızın dönme döneminden büyük olmalıdır. Dönmeden kaynaklanan bu değişimin kullanılmasıyla yıldızın yüzey dönme dönemi çok iyi duyarlılıkla saptanabilir.



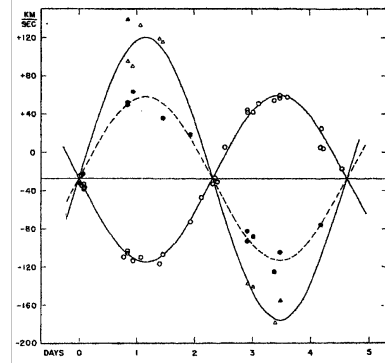
Şekil 5. σ Gem yıldızı üzerindeki lekelerin boylamsal dağılımı (Kovári 2001).

Bu yöntemlerin hiçbiri Güneş gibi yavaş dönen yıldızların hassa çalışmasında kullanılamaz. Çünkü, aktif bölgelerin evrim zaman ölçeği dönme döneminden daha küçüktür. Dönme dönemi yaklaşık 1 haftadan daha kısa olan yıldızlarda güvenilir bilgiye ulaşılabılır.

3. RS CVn Türü Aktif Çift Yıldızların Bulunuşu

Aktif çift yıldızlar içinde bulunan ilk tür RS CVn türü çift yıldızlardır. Bunların adlandırılışları 1976 yılına kadar uzanırsa da bu tür yıldızların diğerlerinden farklı özellikler gösterdiği aslında 1940'lı yıllarda tayfsal olarak ortaya konmuştur.

Bileşenleri G2+K0 olan örten çift yıldız WW Dra'nın tayfsal çalışmaları Joy (1941) tarafından yayımlanmıştır. Tayflarda CaII'nin H&K çizgileri salma olarak görünüyordu. Şekil 6'dan görüldüğü gibi bu salma çizgileri yoldaşın soğurma çizgileriyle aynı yönde yer değiştirir. Yoldaş



Şekil 6. WW Dra'nın dikine hız değişimi (Kesikli çizgi CaII'ye ilişkin).

ilişkin bu olağandışı davranışın olası açıklaması; “Yoldaş yıldız, bir kalsiyum gaz ile sarılmıştır Bu zarf çekim etkisinden dolayı baş yıldız doğrultusunda genişlemiştir. Zarfın merkezi sistemin kütle merkezine daha yakın olduğundan, gaz daha küçük yörüngeye ve yoldaştan daha küçük hıza sahiptir.” Benzer çalışmalar diğer bazı yıldızlarda da yapılmış ve aynı özelliklere rastlanmıştır. Halbuki, bugün biliyoruz ki aslında bulunanlar yıldızların kromosferleriydi. Bunların ayrı bir yıldız grubu oluşturduğu Hiltner (1947) tarafından duyurulmuş ve bu onüç yıldız listelenmiştir (Tablo 1). Salma gösteren bileşenlerin tayf türleri F2 ile K2 arasında değişir. Salma yan minimumda görülmezken, baş minimumda kuvvetli olarak görünür.

Tablo 1. Hiltner (1947)'in duyurduğu CaII salmaları gösteren onüç yıldız.

Star	Component	Period (Days)	Spectrum	Reference
RZ Eri	Secondary (visible only at minimum)	39.28	F5+G8	Cesco and Sahade, <i>Ap. J.</i> , 101, 370, 1945
SS Cam	Secondary?	4.82	G1+F5	Popper, letter
AR Mon	Primary	21.21	K0+F7	Sahade and Cesco, <i>Ap. J.</i> , 100, 374, 1944
RU Cnc	Secondary	10.73	F9+G9	Struve, <i>Ap. J.</i> , 102, 110, 1945
RZ Cnc	Primary	21.64	K2+K5	Hiltner, <i>Pub. A.S.P.</i> , 58, 166, 1946
RW UMa	Secondary	7.33	F9+G9	Struve, <i>Ap. J.</i> , 102, 116, 1945; <i>Astr. J.</i> , 9, 1, 1946
RS CVn	Secondary	4.80	F4+G8	Struve, <i>Ap. J.</i> , 102, 118, 1945; Sanford, <i>Pub. A.S.P.</i> , 57, 217, 1945
SS Boo	Secondary	7.61	G5+7	Joy, <i>Ap. J.</i> , 94, 407, 1941
WW Dra	Secondary	3.50	G2+K0	
Z Her*	Secondary	3.99	F2+F2	
AW Her	Secondary	8.80	K2+G4	
RT Lac	Both components	5.07	G9+K1	Popper, <i>Yerkes Obs. Rep.</i> , <i>Pub. A.S.P.</i> , 10, 392, 1942
AR Lac	Secondary	1.98	K0+G5	Wyse, <i>Lick Obs. Bull.</i> , 17, 39, 1934

* Added in proof.

Leke varsayımının ileri sürüldüğü ilk çalışma Kron (1947) tarafından yayımlandı. AR Lac'ın 1938-1947 yılları arasında elde edilen ışık eğrilerinde görülen değişimler ve minimumlardaki asimetrikler aydınlık ve karanlık lekelerle açıklanmıştır. Kron, bu durumun RS CVn sisteminde de görüldüğünden söz eder. “AR Lac üzerine yapılacak çalışmalar, lekelerin boyutlarını, enlemlerini, ve hareketlerini ortaya koyacağı için leke varsayımına ilişkin ileri

bir çalışma yapılmalıdır” önerisi yine aynı yayında verilmiştir. Daha sonra Kron (1952), YY Gem’in ışık eğrisinin tutulmalar dışında bozulmalar görmüş ve bunların zaman içinde değiştiğinden söz etmiştir. Bozulmaların asimetrik olduğu ve dönmeden kaynaklanan bir değişim görüldüğü rapor edilmiştir. Ayrıca, birkaç geri-tür cüce yıldız üzerine yapılan çalışmayla, güneş yüzeyindeki aktiviteye olan benzerliğe dikkat çekilmiştir.

Işık eğrileri ve tayflarda görülen gariplikler daha sonra Krzeminski (1969) tarafından daha geliştirilmiş ve günümüzde de kullanılan “yüzye parlaklık dağılımı düzgün olmayan bir yıldızın dönmeden kaynaklanan parlaklık değişimi” olarak adlandırılmıştır. Bu arada leke varsayımlarını destekleyen modeller veya karşı görüşler de yayımlanmıştır.

Hall (1976), bir IAU toplantısında RS CVn çiftleri üzerine yaptığı bir konuşmada grubun üyelerinin “RS CVn türü çift yıldızlar” olarak anılmasını önerir. Hall, bu sunum ile RS CVn çiftlerinin tüm özelliklerini ve benzer bazı çift yıldızları ayrıntılı olarak açıklar. Hall’e göre RS CVn çiftlerinin en çarpıcı özelliği, ışık eğrilerinde görülen çoklu dönemli değişimlerdir. Catania’daki gökbilimciler RS CVn’nin ışık eğrisinde azalan evrelere doğru yavaşça geçenden, sinüzoidal benzeri dalga biçimli bozulma gözledi. Bu dalga geçünün, baş minimumun değişen derinliği ve yan minimumun yerdeğiştirmesiyle ilişkili olduğunu gösterdiler. Bu dalga sonucunda, eşit olmayan iki maksimum çıkıyordu. Hall (1972), RS CVn’nin ışıkölçümünü ayrıntılı bir şekilde analiz etti ve gözlenen özellikleri, dönemli değişimleri basit bir modelle açıkladı. H ve K salmalarını kromosferik aktivitenin bir belirteci olarak düşündü ve burada güneşimizde görünen leke aktivitesiyle olan benzerliği kullandı. Bu modelde, büyük ölçekli bir bölgenin leke aktivitesi, soğuk bileşenin eşleğinden 30° uzaktaki bir tarafı karartır. Bu kararım, dalgayı üretir, kırmızı rengi açıklar. Diferansiyel dönme dalga geçünün azalan evrelere doğru kaymasını doğurur. Geçenden dalga, baş minimum derinliğinin değişimini, soğuk yıldız üstündeki “güneş lekeli çevrimi” benzeri bir çevrim, dalga genliğinin değişimini açıklar. Bu çevrim, lekelerin dönemli olarak enlemsel sürüklenmesine ve düzgün olmayan bir geç hızına neden olur.

Bu açıklamalardan sonra gruba giren yıldızların gözlemlerine ilişkin tüm dalgaboylarını kapsayacak şekilde uluslararası gözlem kampanyaları yapılmaya başlandı. Ege Üniversitesi Gözlemevi’nde de 1976 yılından beri bu tür yıldızlar gözlenmektedir.

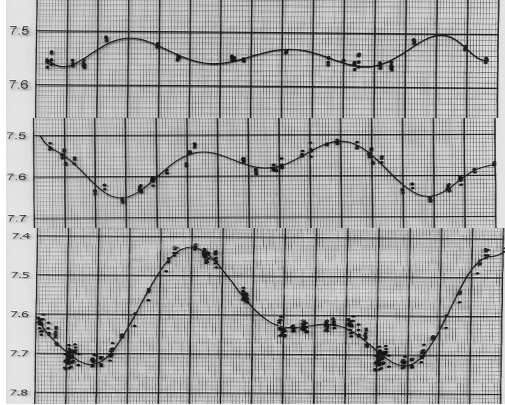
4. Fotosferik Olaylar ve Dönme

Tek ve çift yıldızlar üzerindeki fotosferik, kromosferik ve koronal aktiviteyi dönme hızının belirlediği kabul edilir. Hızlı dönme, çiftin kendi doğasından ziyade çift sistemlerdeki aktif yıldızların varlığının saptanmasında büyük önem taşır. Ancak, benzer dönme gösteren hızlı tek yıldızlarda fotometrik değişkenlik deliline rastlanmamıştır (Catalano 1983).

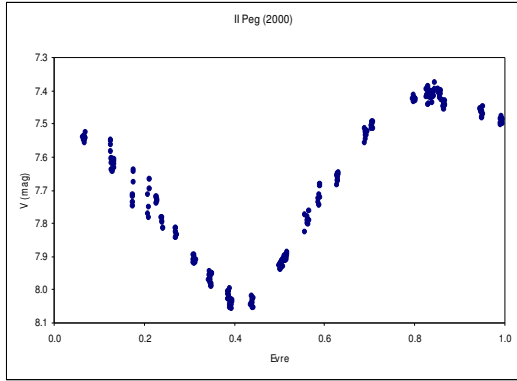
Bir fotometrik bakış açısıyla aktivite düzeyini belirleyen birçok parametre vardır: maksimum dalga genliği, genlik değişiminin zaman ölçeği, flare olayları, ortalama parlaklığın uzun dönemli değişimi.

Eğer, dönme aktivite düzeyini belirleyen temel parametreyse, bu parametreler arasında veya bunların bazıları ve dönme dönemi arasında bir bağlantı umarız. Dalga genliği, yalnız lekelerin alanı ve sıcaklığından değil aynı zamanda lekelerin yüzeydeki asimetrik dağılımından, enleminden ve yörünge eğikliğinden de etkilenir. Kısa dönemli ($P < 1$ gün) aktif çift yıldızlar alt grubunda, lekeli yıldızlar sistemdeki daha sönük bileşen olduğundan, dalga genliği genelde daha azdır. Çünkü, sıcak bileşenin toplam ışığa katkısı daha fazladır. Orta ve uzun dönemli ($P > 15$ gün) sistemlerdeki bileşenlerin ışınım güçleri karşılaştırılabilir düzeydedir veya lekeli bileşen, daha büyüktür ve anakol bileşeninden daha parlaktır.

Aktif çift yıldızlarda değişik şekilli dalgalar gözlenmiştir. Dalga genliği ve şekil değişikliği, lekelerin boyutları ve sıcaklıklarındaki değişimlere veya lekelerin yıldız yüzeyinde yeniden dağılımına bağlıdır. II Pegasi, en değişken ışık eğrisine sahip yıldızlardan birisidir. Işık eğrileri genelde asimetriktir. Ege Üniversitesi Gözlemevi’nde 1983 yılından beri elde edilen ışık eğrilerinden örnekler Şekil 7’de gösterilmektedir. Şekil 8’de gösterilen, II Peg’in 2000 yılında elde ettiğimiz ışık eğrisi ise, aktif çift yıldızlar içinde bugüne kadar elde edilmiş en büyük genlikli ışık eğrisidir (Taş ve Evren 2000).

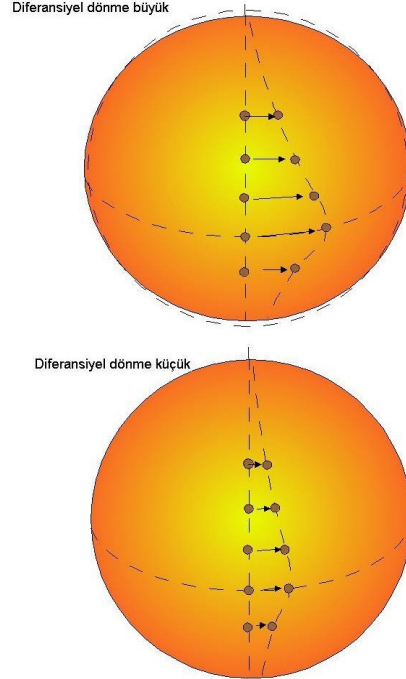


Şekil 7. II Peg'in yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 1983, 1991 ve 1996 yıllarında Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde elde edilmiş farklı genlik ve biçimli ışık eğrileri.



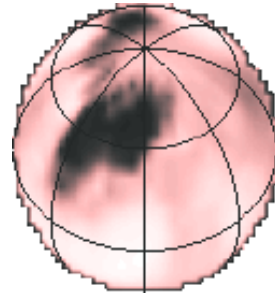
Şekil 8. II Peg'in elde edilmiş en büyük genlikli ($0^m.62$) ışık eğrisi (Taş ve Evren 2000).

Aktivite çevrimlerinin gözlemsel olarak saptanması kolay bir işlem değildir. En iyisi yıldızın ortalama parlaklık değişimini çalışmaktır. Bir diğer yaklaşım ise, güneşteki leke hareketlerini temel alır ve yörünge evresine göre dalga göçü doğrultusundaki dönemselliği araştırır. Eğer, diferansiyel dönme (Şekil 9) ve lekelerin enlemsel sürüklenmesi yıldız yüzeyinde de varsa, kelebek diagramına neden olur. Lekeli alan merkezinin yüksek enlemlerden (yeni çevrimin başlangıcı) eşleğe doğru (çevrimin sonu) sürüklenmesi, azalan evrelere doğru dalga göçünü açıklar.



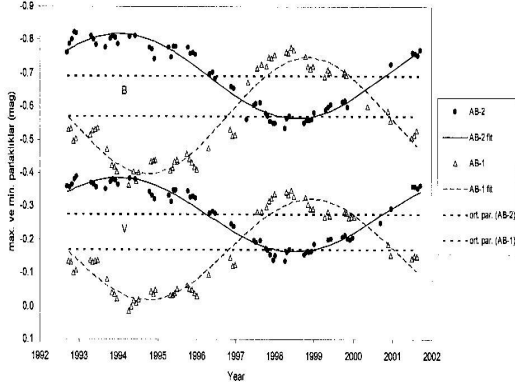
Şekil 9. Yıldızlarda görülen diferansiyel dönme.

İki leke grubunun varlığı aktif yıldızlarda çok sık rastlanan bir olaydır ve genelde bunlar birbirlerinden 180° ayrı iki aktif boylam (Şekil 10) içinde varlıklarını sürdürürler. Bu olay dalga genliğinin azalmasına neden olur. Bu leke gruplarının göç hızları ve yönleri farklı olabilir. Ancak, 10 yıllık ışık eğrilerinden giderek dalga göçü bulmak çok zordur.



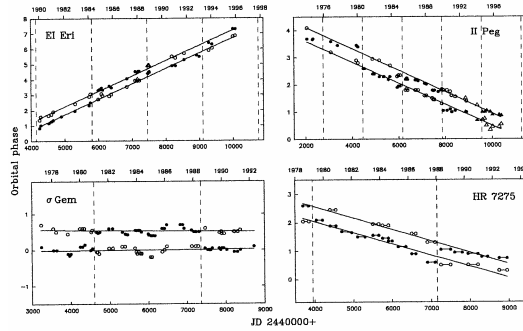
Şekil 10. II Peg'in 1996 yılındaki aktif boylamları.

Şekil 11'de V2075 Cyg'nin iki aktif boylamında yer alan lekelerinden kaynaklanan 10 yıllık ışık değişimleri görülmektedir. B ve V filtrelerinde elde edilen ışık değişimlerine uygulanan temsili eğriler, aktif boylamlar içindeki lekelerin evrimine göre yıldızın maksimum ve minimum parlaklığına olan etkisini gösterir.



Şekil 11. V2075 Cyg'nin aktif boylamlarından kaynaklanan ışık değişimleri.

Aktif boylamlar içinde doğan lekelerin, yaşam süreleri ve aktiflik dereceleri yıldızdan yıldız farklı olabilmektedir. Aktif boylamdan biri diğerinden her zaman için daha aktif olabilir ve aralarındaki aktifliğin baskınlığı birkaç ay içinde yer değiştirebilir. Bu durumda ışık eğrilerindeki baskın bozucu etkinin evresi kısa sürede 0.5 evre kayabilir. Böyle bir durum ilk defa FK Com üzerinde Jetsu ve ark. (1991) tarafından bulunmuştur ve adına "flip-flop" denmiştir. Bazı yıldızların aktif boylamları içindeki lekelerin enlemsel hareketi ve flip-flop olayı Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. EI Eri, II Peg, Sigma Gem ve HR 7275'in aktif boylamları ve flip-flop etkisi.

5. Sonuçlar ve Araştırılması Gereken Sorunlar

1976 yılında D.S. Hall tarafından adlandırılan ve genel özellikleri tanımlanan RS CVn çiftlerinden oluşan bu grup bulunuşundan onbeş yıl sonra, "kromosferik aktif yıldızlar" olarak yeniden adlandırılan 10 gruptan yalnız biri olmuştur. Bu gruplar:

- tek ve çift yıldızların her ikisini,
- cüceler (V) kadar küçük yıldızları,

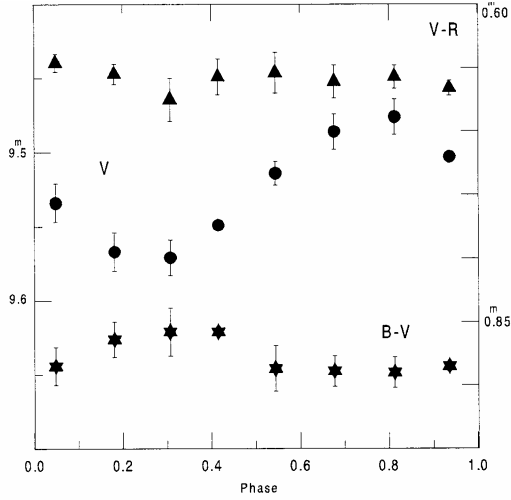
- parlak devler (II) kadar büyük yıldızları,
 - farklı evrim basamağındaki yıldızları (anakol öncesi, üstü ve sonrası),
 - bir günden daha kısa ve bir yıldan daha uzun dönme dönemli,
- yıldızları içerir. Bu yıldızlar, güneş benzeri aktivite olaylarının hepsini gösterir (Hall 1992).

Kromosferik aktivite olayları dinamo kuramıyla en iyi anlaşılır. Dinamo olayının şiddeti "Rossby Sayısı" ile parametrelendirilir. Rossby sayısı, dönme dönemi ve konvektif turnover zamanı arasındaki orandır. Daha küçük Rossby sayısı daha şiddetli dinamo hareketini temsil eder. Kuvvetli dinamo demek: "derin konveksiyon, hızlı dönme" demektir. Tüm olay bu dört kelime içinde gizlidir. Bir diğer etki de "çift olma"da yatar. Ancak, bu etki, olayı dolaylı yoldan etkiler. Çift yıldızlar, benzerleri olan tek yıldızlardan daha hızlı dönerler. Bunlardan başka, yıldızların evrim durumu veya yaşı da dolaylı yoldan etkili olan bir faktördür. Anakol öncesi hızlı dönen yıldızlar anakola gelinceye kadar yavaşlarlar. Anakol sonrasında genişleyen yıldızın dönmesi yavaşlamaya devam eder.

Kromosferik aktif yıldızların farklı zaman ölçeklerindeki parlaklık değişimlerinin bir kısmı, kesinlikle önemli olurken, bir kısmı kısmen önemli veya çevrimsellik gösterir. Bazıları yalnız bir zaman ölçeği cinsinden ifade edilebilir.

Eğer, bir yıldız boylamsal olarak asimetrik yüzey parlaklık dağılımına sahipse ve yıldız uçlardan bakılmıyorsa, yıldız döndükçe parlaklığı değişecektir. Bu değişim genelde "dalga" olarak adlandırılır ve ışık eğrisinde tutulmalar, basıklık ve yansıma etkileri dışında ek bir değişim olarak görülebilir. Dalganın ışıkölçümü dönme dönemlerini doğru olarak verebilir. Bu dönemler, genelde *vsini* ölçümlerinden bulunan değerlere göre daha duyarlıdır.

Kromosferik aktif yıldızlar üzerinde genelde karanlık lekeler bulunmuştur. Güneş'e ilişkin aktivitenin elemanlarından olan fakülaların yıldız aktivitesindeki önemi son yıllarda ortaya konabilmiştir (Şekil 13)(Taş ve ark. 1999). Ancak, Güneş'de olduğu gibi leke ve fakülaların toplam ışığa katkısını aktif yıldızlarda ortaya çıkarmak oldukça zordur.

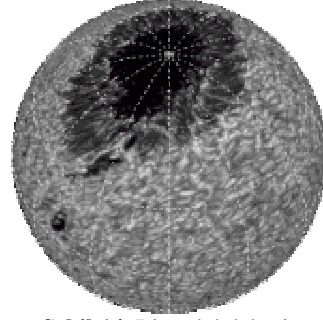


Şekil 13. Aktif çift yıldızlardan MM Herculis'in ışık (V) ve renk (B-V, V-R) eğrileri. Dalga benzeri ışık (V) değişiminin minimum olduğu evrelerde, V-R rengindeki kızıllaşma lekelerin katkısına, B-V rengindeki mavileşme ise fakülaların katkısına atfedilir (Taş ve ark. 1999).

Bir karanlık leke tarafından üretilen ışık eğrilerinin şekilleri; dönme ekseninin eğimine, lekenin enlemine, boyutuna ve sıcaklığına göre değişecektir. Eğer, aynı anda görünen iki leke varsa, o zaman ışık eğrileri daha karmaşık yapıya bürünür. O zaman lekelerin bulunduğu boylamlar gibi ek faktörler de işin içine girer. Eğer, iki leke boylamsal olarak birbirinden 180° ayrı ve eşit alanlara sahipse elde edilen ışık eğrisi, dönme döneminin yarı dönemine sahip bir sinüzoide benzer. Eğer, bir leke varsa, belli bir sabit karanlık alan için maksimum genlikli ışık eğrisi oluşur; aynı alan iki veya daha çok lekeyi temsil ederse, ışık eğrisinin genliği azalır. Eğer, karanlık alan boylamsal olarak simetrik bir kuşak veya uçlak başlığı şeklinde yayılmış (Şekil 14) ise hiç genlik görülmeyebilir.

Elde edilen ışık eğrilerini leke modeli kullanarak çözümleyen programlar özellikle leke enlemini belirlemede hala yetersiz kalıyor. Leke boyutlarını saptarken en küçük hangi değerlere inebiliyoruz? Acaba, güneş lekeleri boyutları saptayabilecek miyiz? Lekelerin enlem dağılımları en çok araştırılan konulardan biridir. Güneş'deki gibi düşük enlemleri veya birçok yıldızda olduğu gibi uçlak lekelerini veya her ikisini de gösteren yıldızların özellikleri nelerdir? Tam olarak anlaşılammış olan diferansiyel dönmeden dolayı yüzeydeki bazı büyük lekelerin zamanla parçalanacağı düşünülmektedir. Ancak, bunun

fiziksel mekanizması belli değildir. Peşpeşe dönmeler, yüzeydeki lekeler ile yüzey altındaki leke kökleri arasındaki manyetik alan çizgilerini koparır ve lekelerin parçalanmasına neden olabilir.



Şekil 14. Bir uçlak lekesi.

Lekeli yıldızlar üstündeki kalıcı aktif boylamsal yapıların varlığı son yıllarda yapılan araştırmalarla kesinleşmiş gibi görünüyor. Ancak, bu yapılar neden her lekeli yıldızda kendini göstermiyor. Bunlara ilişkin kuramsal modellerin eksikliği modelin tamamlanmasını geciktiriyor. Bazı yıldızlarda bu aktif boylamlar sabit kalırken bazılarında değişken desen gösteriyor. Ayrıca, bu aktif boylamlar içindeki aktivitenin kısa sürede yer değiştirmesinin (flip-flop) henüz kuramsal açıklaması yoktur.

Yıldız aktivitesine ilişkin önemli veya çevrimsel etkilerin daha iyi anlaşılabilmesi için, uzun zaman aralığına yayılmış fotometrik ve tayfsal gözlemlerin devam etmesi gerekir.

6. Kaynaklar

- Basri, G. 1986, "Protostars and Molecular Clouds", eds. T. Montmerle ve C. Bertout", Comm. Eng. Atomique, Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay, France, 211
- Catalano, S. 1983, in "Activity in Red-Dwarf Stars", eds. P.B. Byrne ve M. Rodono, D. Reidel Publishing Company, 343
- Gilliland, R.L. ve Dupree, A.K. 1996, Ap. J. 463, L29
- Hall, D.S. 1972, PASP 84, 323
- Hall, D.S. 1976, in "Multiple Periodic Variable Stars", IAU Colloquium, No.29, Budapest, 287
- Hall, D.S. 1992, in "Robotic Telescopes in the 1990s", ASP Conference Series, Vol.34, 27
- Hiltner, W.A. 1947, Ap. J. 106, 481
- Jetsu, L., Pelt, J., Tuominen, I., ve Nations, H.L. 1991, in "The Sun and Coll Stars: activity, magnetism, dynamos" eds. I. Tuominen, D. Moss, G. Rüdiger, Proc. IAU Coll. 130, Springer, Heidelberg, 381

S. Evren : Aktif Çift Yıldızlar

- Joy, A.H. 1941, Ap. J. 94, 107
Kovári, Zs., Strassmeier, K.G., Bartus, J., Washuettl, A., Weber, M. ve Rice, J. B. 2001, A&A 373, 199
Kron, G.E. 1947, PASP 59, 261
Kron, G.E. 1952, Ap. J. 115, 301
Krzeminski, W. 1969, in Low Luminosity Stars, ed. S.S. Kumar, Gordon and Breach, London, 57
Linsky, J.L. ve Haisch, B.M. 1979, Ap. J. 229, L27
Schrijver, C.J. ve Zwaan, C. 2000, "Solar and Stellar Magnetic Activity", Cambridge Astrophys. Series 34, 277
Strassmeier, K. G. 1999, A&A 347, 225
Strassmeier, K. G. Hubl, B. ve Rice, J. B. 1997, A&A 322, 511
Taş, G. ve Evren, S. 2000, IBVS, No. 4992
Taş, G., Evren, S. ve İbanoglu, C. 1999, A&A 349, 546
Vaughan, A.H., Baliunas, S.L., Middelkoop, F., Hartmann, L.W. Mihalas, D. Noyes, R.W., ve Preston, G.W. 1981, Ap. J. 250, 276
Wilson, O.C. 1976, Ap. J. 205, 823
Young ve ark. 2000, MNRAS 315, 635