

Renkküre Kökenli Çizgi Kesiti Fiti ve Plaj Modeli

**Ahmet ERDEM, Edwin BUDDING, Faruk SOYDUGAN,
Volkan BAKIŞ, Hicran BAKIŞ, Burcu ÖZKARDEŞ ve Derya
DOĞRU**

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi,
17040 Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale
E-posta: aerdem@comu.edu.tr*

ÖZET

Bu çalışmada PROF yazılımı altında, tayfsal çizgi kesitleri için bir fit modeli sunuyoruz. Yazılımda, iki çizgi kesiti genişleme mekanizması ele alındı: Yıldız eksensel dönme genişlemesi ve ısısal ve ısısal olmayan işlemleri içeren Gaussian genişlemesi. PROF yazılımı, ayrıca, renkküre kökenli CaII K salma çizgilerine fit ederek plaj bölgelerinin geometrik parametrelerini de vermektedir. Yazılım, manyetik aktif yıldızlar V711 Tau ve EP Eri'nin tayfsal gözlemlerine uygulanmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

***Anahtar kelimeler:** Yıldızlar: aktivite – Yıldızlar: plaj – Yıldızlar: çift yıldızlar – Teknik: tayf – Yıldızlar: V711 Tau ve EP Eri*

ABSTRACT

We present a simple model of the line profile fitting as the program PROF. In the program, two line profile broadening mechanisms are taken into account: rotational broadening (dish-shaped component) and intrinsic broadening (Gaussian

component). The program PROF can also fit to the CaII K chromospheric emission data to give a coarse characterization of plage concentrations. In this study, PROF has been applied to the spectroscopic observations of V711 Tau and EP Eri, and the results are discussed.

Key words: Stars: activity – Stars: plages – Stars: binaries – Techniques: spectroscopic – Stars (individually): V711 Tau and EP Eri

1. Giriş

Güneş üzerine ve manyetik aktif yıldızlar üzerine yapılan çalışmalar, renkküre katmanının özellikle H α (~6563 Å), CaII H (~3968 Å) ve K (~3933 Å) salma çizgileri verdiğini göstermektedir. Hidrojen Balmer serisinin H α çizgisi, ışıküre, renkküre, geçiş bölgesi ve taç bölgelerinde yer alan ve büyük hızlara sahip hidrojen atomlarından kaynaklanır. Öte yandan Balmer serisinin H ϵ çizgisi ~3970 Å dalgaboyunda oluşur ve CaII H çizgisine karışabilir. Bu yüzden, bu çalışmada tayfsal olarak gözlenen manyetik aktif yıldızların renkkürelerindeki manyetik aktiviteyi incelemek amacıyla yalnızca CaII K salma çizgisi öz önüne alındı ve geliştirilen PROF programı kullanılarak fit edildi. Renkküreden gelen salma çizgileri, tıpkı fotometrik ışık eğrilerinde görülen asimetrikler gibi, bazen renkkürede bulunan parlak bölgelerden (plaj) etkilenecek salma üstüne binmiş küçük asimetrik değişimler gösterir. Sunulan bu çalışmada PROF programı, salma çizgisindeki asimetrik artışları da öz önüne alarak plaj modeli fiti yapmaktadır.

2. Çizgi Kesiti (Profil) Fiti ve Plaj (Plage) Modeli

PROF programı iki aşamadan oluşur: **1)** Salma çizgi profiline “iki bileşenli fit” modeli yapmak ve **2)** Plaj modeli yapmak. Birinci aşamada kullanılan iki bileşenli fit yöntemi için Olah ve ark. (1992 ve 1998)’nin izledikleri analitik yöntem kullanılır. Çizgi kesitine fitte ilk bileşen, r dönmesel (rotasyonel) Doppler genişlemesini vermektedir:

$$f_1(r, \lambda) = I_b + \frac{3I_0}{(3-u)} \left\{ (1-u)J_1(r, \lambda) + \frac{\pi}{4} J_2(r, \lambda) \right\} \dots (1)$$

İkinci bileşen s Gaussian genişlemesini temsil eder:

$$f_2(s, \lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} \exp\left\{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2s^2}\right\}. \dots (2)$$

Burada, I_b çizgi komşuluğundaki süreklilik/zemin (background) akı düzeyi, I_0 merkezsel salma akı parametresi ve λ_0 çizginin referans dalgaboyudur. İlk bileşen, r dönmesel genişlemedeki J_1 ve J_2 integralleri Budding ve Zeilik (1994) tarafından verilmekte ve tipik Doppler çizgi genişlemesini yansıtmaktadır. Öte yandan s Gaussian çizgi genişlemesinde rol alan temel mekanizmalar, ısısal ve ısısal olmayan (örneğin mikro-makro-türbülans) mekanizmalarıdır ve renkküre kökenli bir çizgi için aşağıdaki formülle ayrıca hesaplanabilir (Lang, 1980):

$$s = \sqrt{\frac{\lambda^2}{2c^2} \left(\frac{2kT}{m_{Ca}} + v_t^2 \right)}, \dots (3)$$

burada c ışık hızı, k Boltzmann sabiti, T sıcaklık, m_{Ca} kalsiyum atomunun kütlesi, v_t türbülans hızıdır.

İlk aşamada, üç parametre, salma çizgi kesitinde ana rolü oynar: r , s ve I_0 çizgi kesitinin biçimini belirler. PROF programının uygulamasında ilk aşama gerçekleştikten sonra, plaj modelini yapmak için ikinci aşamaya geçilir. Burada, plaj parlak aktif bölgesinin renkküre kökenli CaII K salma çizgisine plaj bölgesinin geometrisine bağlı olarak, çizginin bütününde değil, belli bir kısmında ek bir artış getirdiği gözönüne alınır. Kullanılan denklemler, Budding ve Zeilik (1994)'in çalışmasından seçilmiş (bkz. onların 25. denklemi) olup; o çalışmada ele alınan soğuk leke (spot) etkisi yerine parlak plaj etkisi yer değiştirerek denklemler uyarlanmıştır.

Sonuç olarak, PROF programında 12 bağımsız parametre kullanılır (İlk 6 parametre, plaj modelinin parametreleri, son 6 parametrede iki bileşenli çizgi fiti parametreleridir):

8. λ Plaj merkezinin boylamı.
9. β Plaj merkezinin enlemi.
10. i Dönme ekseninin bakış doğrultusuna eğikliği.
11. γ Plaj bölgesinin açısal boyutu. Bölgenin görünür yarı eksen uzunluğu k , ile bölgenin açısal genişliği γ arasındaki ilişki $k=\sin\gamma$ biçimindedir.
12. κ_λ Plaj bölgesinin kesirsel akısı.
13. L_1 Aktif yıldızın kesirsel ışıması.
14. u Aktif yıldızın renkküresi için doğrusal kenar kararım katsayısı.
15. I_b Çizgi komşuluğundaki süreklilik akısı.
16. I_0 Merkezsel akı parametresi.
17. λ_0 Çizginin referans (ortalama) dalgaboyu.
18. r Doppler dönmesel genişleme parametresi.
19. s Gaussian genişleme parametresi.

3. Sonuç ve Tartışma

Ele alınan iki manyetik aktif yıldızın (V711 Tau ve EP Eri) tayf verisi 2006 ve 2007 gözlem sezonlarında, Yeni Zelanda'daki Mt John Üniversite Gözlemevi'nde bulunan 1m çaplı McLellan teleskopuna bağlı HERCULES (High Efficiency and Resolution Canterbury University Large Echelle Spectrograph) tayfçekeri (Hearnshaw ve ark., 2002) ile alınmıştır. Tayfçeker, bir pozda 3800 Å – 8800 Å aralığını $R \approx 41000$ çözümüleme gücünde almaktadır. Tayfi alınan yıldızlardan V711 Tau (HR 1099) ve EP Eri'nin gözlem tarihleri, gözlem koşullarına bağlı seçilen poz süreleri Çizelge 1'de verilmektedir. V711 Tau ve EP Eri için tayflarda S/N oranı genellikle 100'ün üzerindedir. Değişen yıldızların yanında, gözlemler sırasında, dalgaboyu kalibrasyonunda kullanılmak üzere değişen yıldız tayflarından önce ve sonra Th-Ar lambası tayfları alınmıştır. Bunların yanında CCD tayf görüntülerinde gerekli düzeltmelerin yapılabilmesi için her gece BIAS (sıfır düzeyi) ve FLAT (düz alan) görüntüleri alınmıştır. Tayflar, Canterbury Üniversitesi'nde geliştirilen HERCULES indirgeme yazılımı HRSP (Hercules Reduction Software Package) ile indirgenmiştir. İndirgeme, *echelle* tayflarının üzere, standart indirgeme basamaklarına göre yapılmıştır.

Çizelge 1 Tayf gözlem bilgisi.

Yıldız Adı	Gözlem Tarih Aralığı	Alınan Poz Sayısı	Poz Süresi (s)
V711 Tau	18.09.2007 – 01.10.2007	7	480–600
EP Eri	12.09.2006 – 18.09.2006	5	600–1500

3.1. V711 Tau

Tayfsal çift sistem V711 Tau (HR 1099, HD 22468) K1 alt-dev ve G5 cüce bileşenden oluşan 2.8377 gün yörünge dönemine sahip parlak ($V=5^m.9$) ve şiddetli manyetik etkinliği nedeniyle çok çalışılan bir RS CVn türü sistemdir (bkz. CABs Katalogu, yeni versiyon: Eker ve ark., 2008).

V711 Tau (K1IV + G5IV)'nun bu çalışmada elde edilen 7 tayfindan yörünge çözümlemesi yapmak ve sistemin yörünge dönemini bulmak mümkün olmadığından dolayı; elde edilen tayfların yörünge evrelerini hesaplamak için Frasca ve Lanza (2005)'nin istatistik çalışması kullanıldı.

V711 Tau'nun bugüne kadar yapılan çalışmalarında, sürekli olarak gözlem verisinde aktivite belirteçleri gösterdiği belirtilmiştir. Özellikle, toplam ışınımına katkısı büyük olan K alt-dev bileşenin sahip olduğu büyük ve uzun yaşam süreli aktif bölgeler ve parlama (flare) özellikleri bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (örneğin, Garica-Alvarez ve ark., 2003). Bu çalışmada, V711 Tau'nun renkküre kökenli aktivitesini incelemek için, tutulma evrelerinden uzak olduğundan dolayı, alınan yedi tayfin yalnızca dört tanesi seçilmiş ve bunlar üzerinde plaj modeli uygulanmıştır.

PROF programı uygulanırken ilk adımda, seçilen 4 farklı evredeki renkküre kökenli CaII K salma çizgileri ele alındı ve bu çizgilerde, tüm salma profilleri dikkate alınarak, kuramsal salma çizgi modellemeleri yapıldı. Programın ikinci adımında, ele alınan salma çizgilerinde plaj etkisi araştırıldı. Bulunan sonuçlar, Çizelge 2'de verilmekte ve oluşturulan kuramsal fit ile gözlemlerin uyumu, Şekil 2'de gösterilmektedir.

İlk adımda yapılan salma çizgi modellemesinde, u aktif yıldızın renkküresi için doğrusal kenar kararma katsayısı, renkkürenin optikçe ince olduğu varsayımına dayanılarak, 1 alınmıştır. Serbest bırakılan parametreler, I_b (çizgi komşuluğundaki süreklilik/zemin akısı), I_0 (merkezsel salma akısı), λ_0 (çizginin referans dalgaboyu), r

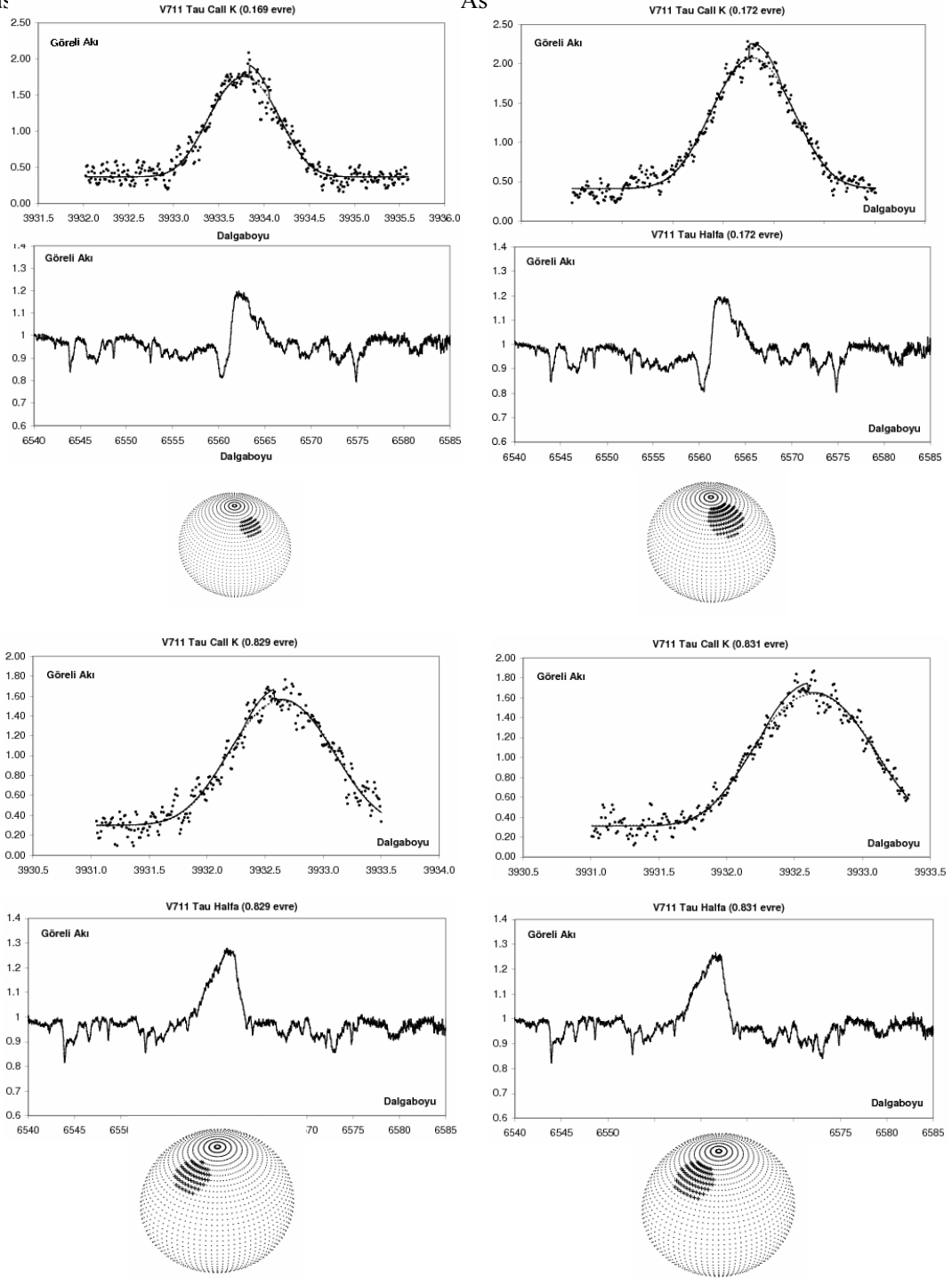
(dönme genişleme parametresi) ve s (Gaussian genişleme parametresi)dir. İlk adım sonucu bulunan bu 5 parametre, salma profiline fit yapılan çizgi modelini gösterir ki bu değerler, Çizelge 2'nin alt kısmında verilmektedir. Çizgi modelleri, Şekil 2'de kesikli çizgilerle temsil edilmektedir. Şekillerde, tayflara akı kalibrasyonu uygulanmadığından y -eksenindeki birimler (ve dolayısıyla Çizelge 2'de verilen akı parametreleri) gelişigüze'dir. Hedef sistem, V711 Tau'nun K1IV + G2V bileşen yıldızlarının kavuşum evrelerinden uzak evrelerde seçilen bu 4 farklı evrede, gözlenen CaII K salma çizgisinin, literatürdeki çalışmalara dayanılarak, baş (kütlece büyük) ve soğuk bileşenden kaynaklandığı gözönüne alındı. Dolayısıyla, 4 farklı evre için yapılan çizgi modellemelerinden, r (dönme genişleme parametresi) ve s (Gaussian genişleme parametresi) kullanılarak, K1 alt dev bileşenin izdüşüm dönme hızı ($v\sin i$) ve Gaussian hızı için bulunan ortalama değerler, sırasıyla, 44 km/s ve 33 km/s'dir. Eğer K1 alt devin eşdönme gösterdiğini varsayarsak ve bileşenin yarıçapı $R=3.3R_{\odot}$ ve sistemin yörünge dönemi $P=2.8377$ gün (Garcia-Alvarez ve ark., 2003'den) için $v_{\text{syn}}=(2\pi R/P)=59$ km/s bulunur; buradan dönme eğikliği $i=50^{\circ}$ alınırsa $v_{\text{syn}}\sin i=45$ km/s hesaplanır ki; bu değer, bizim PROF programıyla tahmin ettiğimiz değere yanlıgı sınırları içinde hemen hemen eşit çıkar ve bileşenin eşdönme gösterdiğini verir. Öte yandan s (Gaussian genişleme parametresi)nin fiziksel anlamını çıkarmak için denk(3)'te verilen ısısal ve ısısal olmayan iki hız bileşenin vektörel büyüklüğü kullanılabilir. Isısal hız için Kelch ve ark. (1978)'nin 3 dev ve 10 güneş benzeri soğuk cüce yıldızların renkküre modellerinde 8000 K'i aşmayan sıcaklıklarda CaII iyonlarının salma çizgisi oluşumuna duyarlı olduklarını gözönüne alırsak; V711 Tau'nun K1 alt dev bileşeni için $T=8000$ K sıcaklığında çizgi oluşumuna katkıda bulunan CaII iyonlarının ortalama ısısal hızı yaklaşık 2 km/s olarak bulunur. Bu durumda, çizgi fitinden tahmin edilen s Gaussian genişleme parametresinde 33 km/s lik hız değerine ısısal terimin katkısının çok az olduğu ve iyonların yaklaşık 33 km/s hızlara ulaşmasında ısısal olmayan işlemlerin (mikro/makro türbülanslar, manyetik enerji vb) çoğunlukla işe karıştığı söylenebilir.

İkinci adım, renkküredeki aktif yapı plaj modelini yapmaktır. Bunun için PROF programındaki ilk 6 parametre (λ plaj merkezinin boylamı, β plaj merkezinin enlemi, i dönme ekseninin bakış doğrultusuna eğikliği, γ plaj bölgesinin açılal boyutu, κ plaj

bölgesinin kesirsel akısı ve L_1 aktif yıldızın kesirsel ışıması) gözönüne alınır. İterasyonlarda, $i = 50^\circ$ ve $L_1 = 1$ (salmanın yalnızca K1IV aktif bileşenin geldiği varsayılmıştır) alınmış, diğer 4 parametre serbest bırakılmıştır. Bulunan çözümler, Çizelge 2'nin üst kısmında verilmekte; plaj modeli, Şekil 2'de düz çizgilerle temsil edilmektedir. κ değerleri, plaj akılarının renkkürenin ortalama salma akısından 3-4 kat daha fazla olduğu ortaya koymaktadır. İndirgenmiş χ^2 değerleri, gürültüye bağlı olarak sonuçların anlamlı olup olmadığını belirtmektedir. Sonuçlar, birbirini takip eden evrelerde alınan iki çift tayf için de yaklaşık 55° enlemde bir plaj modeli göstermektedir. Plaj yapısının daha net görülebilmesi için K1 alt dev bileşenin üç boyutlu konfigürasyonları kullanılmıştır. Bu aktif yapı, yörünge hareketine bağlı olarak 0.83 evrede maviye kayarken, 0.17 evrede kırmızıya kaymaktadır. Renkküre kaynaklı CaII K çizgisi salmalarına ilişkin çıkarılan sonuçların $H\alpha$ salmalarıyla ilişkili oldukları da görülmektedir. Bu $H\alpha$ salmalarının renkküreden geçiş bölgesine ve oradan da taç (korona) tabakalarına kadar uzanan çok geniş bir bölgede üretilmekte olduğu bu salma çizgisinin kapladığı dalgaboyu aralığının genişliğinden kolayca tahmin edilebilir.

Çizelge 2 V711 Tau'nun 4 farklı evrede gözlenen CaII K salma çizgileri için PROF programı kullanılarak elde edilen plaj modelinin sonuçları

	<i>0.169 evre</i>	<i>0.172 evre</i>	<i>0.829 evre</i>	<i>0.831 evre</i>
Plaj parametreleri				
λ (derece)	27	32	338	338
β (derece)	57	60	55	56
γ (derece)	12	18	15	17
κ	3.6	3.8	3.9	3.95
Çizgi kesiti parametreleri				
I_b	0.37	0.41	0.30	0.31
I_0	1.18	1.40	1.07	1.14
λ_0 (Å)	3933.777	3933.791	3932.645	3932.639
r (Å)	0.55	0.54	0.60	0.63
s (Å)	0.41	0.49	0.46	0.37
r (km/s)	42	41	46	48
S (km/s)	31	37	35	28
χ^2/ν	1.05	1.03	1.11	1.09
ΔI	0.010	0.010	0.011	0.011



Şekil 1. V711 Tau'nun 0.169 evrede (sol üst), 0.172 evrede (sağ üst), 0.829 evrede (sol alt), ve 0.831 evrede (sağ alt) gözlenen CaII K salma çizgisi ve PROF programı kullanılarak elde edilen plaj modelinin kuramsal eğrisi (üstte). Ortada, CaII K salma çizgisi ile aynı evrede elde edilen H α salması görülmektedir. H α salmasının sağ kanatındaki kırmızıya kaymış bölge, CaII K salmasından bulunan ve gözlemciden uzaklaşan plaj modelini desteklerken; H α salmasının sol kanatındaki maviye kaymış bölge, CaII K salmasından bulunan ve gözlemciye yaklaşan plaj modelini gösterir. Altta, K1 alt dev yıldızının renkküresinde plaj bölgesini gösteren üç boyutlu konfigürasyon verilmektedir (Binary Maker 3.0 programı kullanılarak elde edilmiştir).

3.2 EP Eri

EP Eri (BD -13 544 = HD 17925 = HIP 13402, $V = 6.05$), CABs (Renkküre Kökenli Aktif Çift Yıldızlar) Katalogu'nun Eker ve ark. (2008) tarafından yayınlanan üçüncü baskısında tek çizgili (SB1) CAB yıldızı olarak tanımlanır. EP Eri için ele alınan CaII K salma çizgilerinde plaj etkisi görülemediğinden dolayı bu çizgilere plaj modeli fit edilmemiş yalnızca salma çizgi kesiti fitleri yapılmıştır.

Salma çizgi modellemesinde, u aktif yıldızın renkküresi için doğrusal kenar kararma katsayısı, renkkürenin optikçe ince olduğu varsayımına dayanılarak, 1 alınmıştır. Serbest bırakılan parametreler, I_b (çizgi komşuluğundaki süreklilik/zemin akısı), I_0 (merkezsel salma akısı), λ_0 (çizginin referans dalgaboyu), r (dönme genişleme parametresi) ve s (Gaussian genişleme parametresi)dir. Bulunan sonuçlar, Çizelge 3'te verilmektedir. Çizgi modelleri ve gözlemlerle karşılaştırılması, Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekildeki diyagramlarda, tayflara akı kalibrasyonu uygulanmadığından y-eksenindeki birimler gelişigüze'dir.

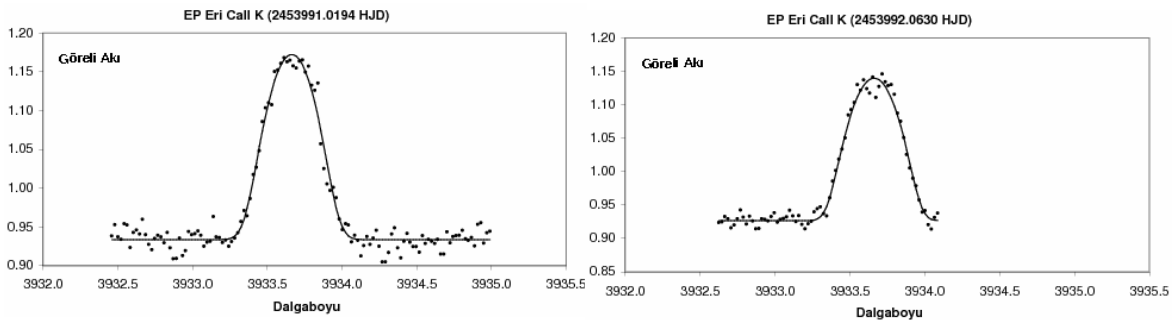
PROF programı, r (dönme genişleme parametresi) için ortalama 23 km/s değerini vermektedir. Literatürde sistemin yada K2 cüce yıldızının yarıçapının hesabına ilişkin bir çalışma yoktur. Bu nedenle, Budding ve Demircan (2007)'nin anakol yıldızlarının salt parametrelerini verdikleri istatistik çalışmadan faydalanarak K2V bileşenin ortalama yarıçapı için $0.72 R_{\odot}$ değerini ve Henry ve ark. (1995)'in fotometrik gözlemlerden belirledikleri 6.85 gün dönme dönemini alırsak; $v_{\text{syn}} \sin i = (2\pi R \sin i / P) = 4.1$ km/s buluruz. Ancak, bu çalışmada CaII K çizgi fitlerinden bulunan izdüşüm dönme hızı (23 km/s)'nin izdüşüm eşdönme hızı 4.1 km/s'den neredeyse 5 kat fazla çıktığı görülmekte; yani yıldızın eşdönme değerinden oldukça daha hızlı döndüğü anlaşılmaktadır. Yukarıda tartışıldığı biçimde, pek çok yazar tarafından yapılan ayrı ayrı çalışmalarda EP Eri'nin birkaç on milyon yıl ile 100-200 milyon yıl yaşında olduğu öngörülmektedir. Çok genç yıldızların çok hızlı döndükleri, eşdönme göstermedikleri bilinmekte olduğundan bu hızlı dönme değeri belki de yıldızın çok genç olduğunun bir başka kanıtı olmalıdır.

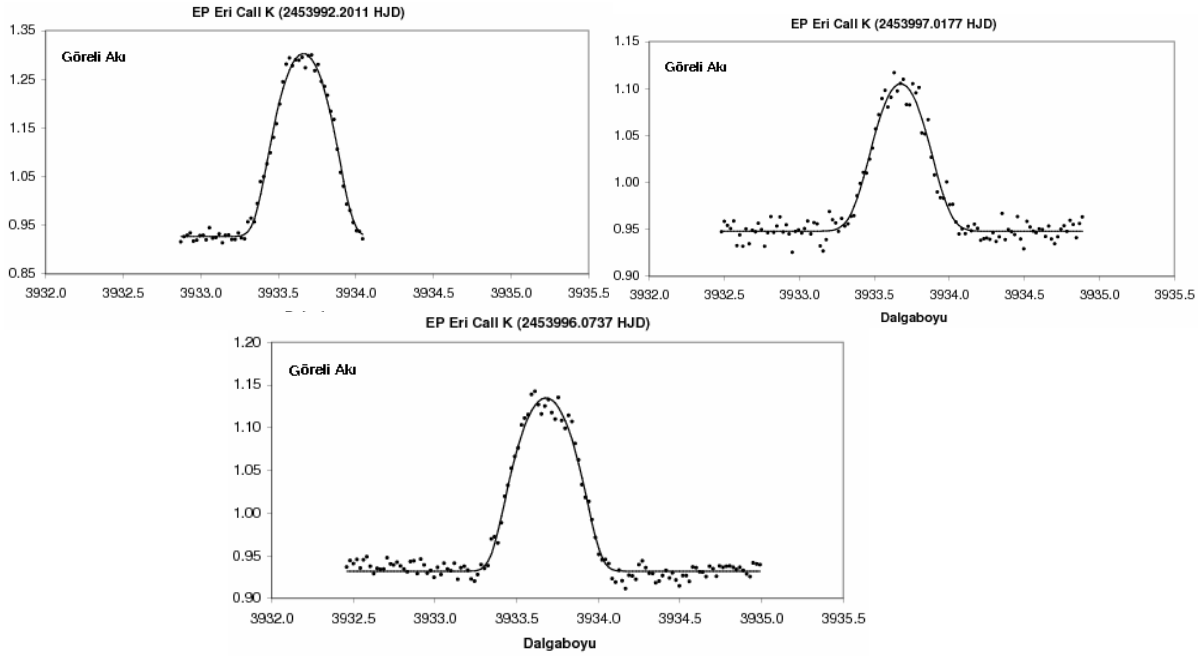
Eğer s (Gaussian genişleme parametresi)'nden bulunan 16 km/s'lik hız değerinde ısısal ve ısısal olmayan fiziksel mekanizmaların katkısı gözönüne alınırsa; Bölüm 3.1'de $T_{\text{maks}} = 8000$

K sıcaklığında çizgi oluşumuna katkıda bulunan CaII iyonlarının ortalama ısısal hızı yaklaşık 2 km/s olarak bulunmuştu. Bu durumda, çizgi fitinden tahmin edilen s Gaussian genişleme parametresinde 16 km/s lik hız değerine ısısal terimin katkısının çok az olduğu ve iyonların yaklaşık 16 km/s hızlara ulaşmasında ısısal olmayan işlemlerin (mikro/makro türbülanslar, manyetik enerji vb) çoğunlukla işe karıştığı söylenebilir. Aslında hesaplanan s genişleme parametresi, 16 – 30 Å (ya da 13 – 23 km/s) aralığında değişmekte; bu da genç yıldızın kararsız/sürekli değişken aktif bir renkküreye sahip olduğunu gösterebilir.

Çizelge 3 EP Eri'nin 5 farklı tarihte gözlenen CaII K salma çizgileri için PROF programı kullanılarak elde edilen plaj modelinin sonuçları

	2453991.019 4 HJD	2453992.06 30 HJD	2453992.201 1 HJD	2453996.073 7 HJD	2453997.017 7 HJD
Çizgi kesiti parametreleri					
I_b	0.93	0.93	0.93	0.93	0.95
I_0	0.21	0.18	0.32	0.18	0.13
λ_0 (Å)	3933.665	3933.662	3933.663	3932.680	3933.676
r (Å)	0.30	0.31	0.30	0.32	0.29
s (Å)	0.21	0.16	0.17	0.19	0.30
r (km/s)	23	24	23	24	22
S (km/s)	16	12	13	15	23
χ^2/ν	1.07	1.04	1.07	1.04	1.04
ΔI	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01





Şekil 2. EP Eri'nin 5 farklı evrede gözlenen CaII K salma çizgileri ve bu çizgilere PROF programı kullanılarak yapılan çizgi kesiti fitleri.

Teşekkür: Bu çalışma, TÜBİTAK TBAG 105T083 nolu “Uzun Dönemli RS CVn Çift Yıldızlarında Işıkkürenin ve Renkkürenin Aktivitesi” konulu araştırma projesinden üretilmiştir.

Kaynaklar

Budding, E., Zeilik, M., 1994, *The complementarity of Doppler imaging and photometric starspot modelling*, *Astrophysics and Space Science*, 222, 181-190.

Budding, E., Demircan, O., 2007, *Introduction to astronomical photometry, 2nd edition*, Cambridge: Cambridge University Press, p.67.

Eker, Z., Filiz Ak, N., Bilir, S., Doğru, D., Tüysüz, M., Soyduğan, E., Bakış, H., Uğraş, B., Soyduğan, F., Erdem, A., Demircan, O., 2008, *A Catalog Of Chromospherically Active Binary Stars (Third Edition)*, ARXIV, arXiv:0805.4517.

[Frasca, A., Lanza, A. F.](#), 2005, *Orbital period variation in close binaries from radial velocity data and magnetic activity cycles II. HR 1099*, *Astronomy and Astrophysics*, 429, 309-316.

[Garcia-Alvarez, D., Barnes, J. R., Collier Cameron, A., Doyle, J. G., Messina, S., Lanza, A. F., Rodonò, M.](#), 2003, *Doppler images of the*

- RS CVn binary HR 1099 (V711 Tau) from the MUSICOS 1998 campaign*, Astronomy and Astrophysics, 402, 1073-1083.
- Hearnshaw, J. B., Barnes, S. I., Kershaw, G. M., Frost, N., Graham, G., Ritchie, R., Nankivell, G. R., 2002, *The Hercules Échelle Spectrograph at Mt. John*, Experimental Astronomy, 13, 59-76.
- Henry, G. W., Fekel, F. C., Hall, D. S., 1995, *An Automated Search for Variability in Chromospherically Active Stars*, Astronomical Journal, 110, 2926.
- Kelch, W., Linsky, J. L., Basri, G. S., Chiu, H. Y., Chang, S. H., Maran, S. P., Furenlid, I., 1978, *Stellar model chromospheres. VII - Capella /G5 III +/-, Pollux /K0 III/, and Aldebaran /K5 III/*, Astrophysical Journal, 220, 962-979.
- Lang, K. R., 1980, *Astrophysical Formulae*, Springer-Verlag, Berlin, p. 204.
- Olah, K., Budding, E., Butler, C. J., Houdebine, E. R., Gimenez, A., Zeilik, M., 1992, *The interrelation of UV and optical activity diagnostics in HK Lacertae*, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 259, 302-314.
- Olah, K., Marik, D., Houdebine, E. R., Dempsey, R. C., Budding, E., 1998, *MG II h&k line diagnostics of IM Pegasi*, Astronomy and Astrophysics, 330, 559-568.