

ALGOLLERDE KÜTLE AKTARIMININ BELİRTEÇLERİ: S Equ ve KO Aql'nın TAYF ANALİZİ

Faruk SOYDUGAN^{1,2}, Esin SOYDUGAN^{1,2}

Özet:

Çift yıldızlardaki kütle aktarımı ve toplanması sürecini çözmek için dizgeyi oluşturan bileşenlerin salt öğeleri ve yörünge parametreleri iyi bilinmeli yani dizge iyi tanınmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada, ilk olarak, Algol türü sistemler S Equ ve KO Aql için Catania Astrofizik Gözlemevi (İtalya)'nde *echelle* tayfçeker ile alınan tayf verisi kullanılarak bileşenlerin dikine hız değerleri ölçülmüştür. İki dizgenin soğuk bileşenlerinin ilk olarak dikine hız değişimleri belirlenmiş ve dizgelere ilişkin duyarlı ilk yörünge çözümleri yapılarak salt öğeler belirlenmiştir. Algollerde kütle aktarımının belirteçlerinden olan kütle alan bileşenlerin dönme hızları, tayf verisi kullanılarak belirlenmiş ve her iki bileşenin de sıcak bileşenlerinin eş-dönme değerlerine göre %30 daha hızlı döndükleri ortaya çıkarılmıştır. S Equ ve KO Aql'nın H α fark tayfları, kütle aktarımı ve toplanmasına ilişkin önemli kanıtlar sunmuştur. Her iki dizgede de, özellikle birinci minimum öncesi ve sonrası soğurma yapıları ile karşılaşılmıştır. Bu yapıların dikine hız değişimleri kullanılarak madde toplanmasının akan maddenin sıcak yıldıza çarptığı bölge etrafında yoğunlaşma gösterdiği belirlenmiştir. Yine her iki dizgenin H α fark tayfları, salma özellikleri de göstermekte olup bu salmanın da soğuk bileşenlerin manyetik etkinliği ile ilişkili olabileceği önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: çift yıldızlar: Algoller, tayfbilim, kütle aktarımı

Abstract:

The absolute parameters of the components and the orbit elements of the binary system should be known precisely to understand the mass accretion process. Therefore, in this study, firstly, the radial velocities of the components of Algol type binaries S Equ and KO Aql have been measured using the spectroscopic data obtained with *echelle* spectrograph at Catania Astrophysical Observatory (Italy). The radial velocity variations of the cooler components of the systems have been determined for the first time and according to the precise orbital solutions, the absolute parameters of the components have been obtained. The rotational velocities of the hotter components, which is an indicator of mass transfer in Algol type binaries, have been determined for the systems S Equ and KO Aql using the spectral data, and it is found that both of the hotter components rotate 30% faster than the synchronized values. The H α difference profiles of the systems presented important evidences on the mass transfer and mass accretion. In both systems, especially before the primary eclipse and after wards, we observed strong absorption. Using the radial velocities of this absorption features; we have found that the mass accretion is very dense around the impact region of the hotter components. The H α difference profiles of S Equ and KO Aql indicate also emission features, which should be related with magnetic activity of the cooler components.

Key words : binary stars: Algols, spectroscopy, mass transfer

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi, Çanakkale
e-mail: sfaruk@physics.comu.edu.tr, esints@physics.comu.edu.tr

1. Giriş

Algol türü dizgeler, çift yıldızların evrimlerinin anlaşılmasında önemli role sahiptirler. Onların evrim durumlarının tam olarak belirlenmesi de gösterdikleri kütle aktarımı sürecinin anlaşılmasına bağlıdır. Son yıllarda tayf gözlemlerinde ulaşılabilen yüksek yayma gücü sayesinde bu tür dizgelerin kütle aktarımına ilişkin gösterdikler izler daha ayrıntılı incelenmeye başlanılmıştır [1]. Bir çift dizgedeki kütle aktarımı sürecini çözmek için bileşenlerin salt öğeleri ve yörünge parametreleri iyi bilinmelidir. Algollerde soğuk bileşenlerin toplam ışınımına katkıları oldukça düşüktür. Bu nedenle, dikine hız değişimlerinin çıkarılması oldukça güçtür. Yüksek çözümüleme gücündeki tayflar bu problemi çözmemize olanak verirken aynı zamanda dizgenin bileşenlerinin salt öğelerini daha duyarlı bulmamızı sağlamaktadır. Tayf verisi yardımıyla özellikle son yıllarda Algollerin sıcak bileşenlerinin dönme hızları duyarlı biçimde ölçülmeye başlanmış ve dönme hızlarının kütle aktarımına ilişkin kanıtlar taşıdığı belirtilmiştir. Yaklaşık 50 yıldır üzerinde çalışılan fakat son yıllarda daha duyarlı tayf verisi kullanılarak, kütle aktarımı ve maddenin sıcak bileşen etrafındaki dağılımına ilişkin kanıtlar, özellikle optik bölgede $H\alpha$, $H\beta$ gibi çizgiler kullanılarak yapılan analizler ile ayrıntılı biçimde ortaya çıkarılmaya başlanmıştır. Işıkolçüm çalışmalarında ise, kütle aktarımının etkileri kendisini genellikle uzun dönemli Algollerin ışık eğrilerinde göstermektedir. Bunlara ilişkin verinin toplanması da oldukça güç olduğundan, bu tür çalışmalar daha çok hem uzun hem de kısa dönemli Algoller için, dizgenin gözlenen minimum zamanları kullanılarak yapılan yörünge dönemi değişimleri ile ilgili analizler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada, seçilen Algol türü dizgeler, S Equ ve KO Aql olup kütle aktarımı sürecinde olmaları beklenmektedir. Kısa dönemli çok sayıda Algol türü dizgenin $H\alpha$ fark tayflarını incelendiğinde S Equ ile KO Aql'nın da bazı benzer sistemler gibi etkin kütle aktarımı gösterebileceği ve bu kütle aktarımı sürecinin oldukça değişken olabileceğini önerilmiştir [2]. Bu iki dizgede, soğuk bileşenlerin dikine hızlarının bugüne kadar elde edilememiş olması da bu dizgelerin seçilmesinde anahtar olmuştur.

2. Seçilen Yıldızların Özellikleri

2.1 S Equ

S Equ (BD +040 4584, HIP 103419, $V \approx 8^m.4$), $P=3.436$ gün yörünge dönemine sahip yarı-ayrık Algol türü bir dizgedir. Sıcak ve soğuk bileşenlerin tayf türleri [3] sırasıyla B7V ve G8III olarak verilmektedir. Cester ve ark. 'nın [4] çalışmasında, birinci tutulma öncesi ve sonrası asitmetriler gösterdiği belirlenen ışık eğrileri analiz ederek dizgenin fiziksel ve geomerik parametreleri belirlenmiştir. Sıcak yıldızın tayf türü Roman tarafından B8V ve daha sonra B9.5V olarak verilmiştir [6]. Soğuk bileşene ilişkin tayf türü ise, $H\alpha$ 'nın kırmızı bölgesinde yapılan çalışma sonucunda F9 III-IV olarak tahmin edilmiştir [7]. S Equ'ya ilişkin en son ışık eğrisi çözümü Zola [8] tarafından yapılmış ve çözüm sonucunda olası bir üçüncü cismin varlığı ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu çalışmada sistemin mutlak parametreleri daha önce yayınlanan birinci bileşenin dikine hız eğrisi [6] kullanılarak hesaplanmıştır.

Bugüne kadar S Equ'ya ilişkin madde aktarımı ile ilgili özellikleri ortaya koyan birkaç tayf çalışması yayınlandı [1,2,9]. Bu çalışmalarda, sistemin tayflarında, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru olan kütle aktarımı sonucunda oluşan toplanma bölgesinin (halka veya disk) neden olduğu tek pikli ve bazen de zayıf çift pikli salma özelliği ile karşılaşıldı.

Bunun yanında, S Equ'ya ilişkin oluşturulan Doppler görüntülerinde, dizgedeki ek salma ve soğurmaların kaynağının, akan madde, toplanma diski ve soğuk bileşenin kromosferik aktivitesi olabileceği önerilmiştir [9,10].

S Equ'ya ilişkin O-C eğrileri birkaç kez yayınlanmasına rağmen [6, 11] ayrıntılı dönem değişimi çalışması Qian & Zhu [12] ve Soyduvan ve ark. [13] tarafından

yayınlanmıştır ve her iki çalışmada da değişimin nedenlerinin küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene madde aktarımı ve olası üçüncü cisim olabileceği önerilmiştir.

2.2 KO Aql

KO Aql'nın (BD +10⁰ 3655, HIP 92177, $V \approx 8^m.4$) Algol türü bir dizge olduğu 1930 yılında belirlenmiş [14] ve yörünge dönemini ilk olarak 2.864071 gün olarak bulunmuştur [15]. Sıcak bileşenin tayf türü A0 olarak verilmiştir [16]. Soğuk bileşenin ise, toplam ışınımına katkısının optik bölgede oldukça küçük olması ve yüksek çözünürlükte tayfinin alınamamış olmasından dolayı tayf türüne ilişkin çelişkili bilgiler, ışık eğrisi sonuçlarından gelmektedir. İkinci bileşenin Roche lobunu doldurmuş G0 tayf türünde olması gerektiğini önerilirken [17], son ışık eğrisi analizi de [18] ikinci bileşenin Roche lobunu doldurmuş K2-4 yıldızı olduğunu göstermiştir. Sistemin yörünge döneminde artış olduğu ortaya konmuş [17] ve yörünge dönemi analizi yapılarak dönem değişim miktarı ≈ 0.375 s/yıl olarak belirlenmiştir [18].

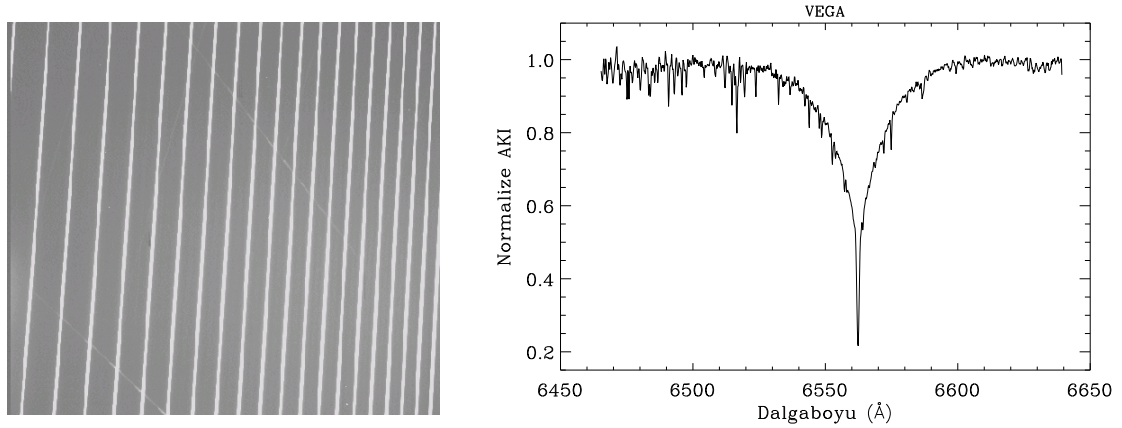
Dizgenin sadece birinci bileşenine ilişkin dikine hız eğrisi ve çözümü yayınlanmıştır [16]. H α yöresinde yalnızca 0.611 evrede alınmış tayf verisi yayınlanmış ve oluşturulan fark tayfında alıcı bileşen etrafındaki maddenin kanıtı olabilecek ek salma ve soğurma yapısı belirlenmiştir [2].

3. Gözlemler

Bu çalışmanın temelini oluşturan tayfsal gözlemler, 12 Eylül-19 Kasım 2003 ile 02 Mart-29 Temmuz 2004 tarihleri arasında iki ayrı gözlem sezonunda İtalya'nın Catania şehrinde bulunan INAF-Catania Astrofizik Gözlemevi'ndeki 91cm Cassegrain türü teleskoba bağlı *echelle* tayfçekerini ile yapılmıştır. 300 çizgi/mm echelle çapraz yayma düzenine sahip tayfçeker ile yüksek çözünürlükte tayflar elde edilmektedir. Kullanılan yarı genişliği 400 μm olup kullanılan ağ açısı (H α için) 223:40'dır. Gözlemler 19 tayf dizisi üzerinde H α , H β ve H γ çizgilerini kapsayacak şekilde 4300Å-6650Å dalgaboyu aralığında yapılmıştır. Tayfsal çözümleme gücü ($\lambda/\Delta\lambda$) ise tüm tayf dizileri için yaklaşık 22000 yöresinde olup H α için $\Delta\lambda \approx 0.30\text{Å}$ 'dır. Kullanılan CCD, 1024x1024 (SITE arkadan aydınlatmalı) boyutlarında olup herbir pikselin boyutu 24 μm x 24 μm 'dir. Sinyal/gürültü oranı (S/G), gözlenen sistemlerin parlaklığına, poz süresine ve hava-gökyüzü koşullarına göre değişmesine karşın tayfi alınan Algoller için bu değer 30-80 arasında değişmektedir.

Tayf gözlemlerinde genel olarak dikine hız ölçmek ve tayfin belli bölgesinde veya özel bir çizgi üzerindeki farklı fiziksel süreçler nedeniyle ortaya çıkabilecek değişimleri belirlemek için S Equ ve KO Aql yanında uygun standart yıldızlar da gözlenmiştir. Bunun yanında, atmosfer kaynaklı tayf çizgilerini yıldızların tayflarından arındırmak amacıyla gözlem sezonuna bağlı olarak her gece Altair ve α Leo uygun poz süreleri ile gözlenmiştir.

Alınan tayfların indirgeme işlemleri, IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) paketi içinde yer alan programlar yardımıyla sonuçlandırılmıştır. Bu aşamada uygulanan adımlar şu şekilde sıralanabilir: sıfır düzeyinin (BIAS) çıkarılması, düz alan (FLAT) görüntülerinin normalize edilmesi, saçılmış ışık düzeltilmesi, görüntülerin tayfa dönüştürülmesi, Th-Ar lambası tayfları kullanılarak dalgaboyu kalibrasyonunun yapılması, düz alan görüntülerine bölme, tayfin normalize edilmesi. Alınan tayfların ham görüntüsüne ilişkin bir örnek Şekil 1'de sol panelde verilmektedir. Buradan da görüleceği üzere, tayflar 19 dizi (order) üzerinde kaydedilmiştir. Yukarıdaki indirgeme aşamaları, bu şekildeki bir görüntüye uygulandığında (atmosferik çizgiler arındılmadan önce) sadece ikinci tayf dizisi için elde edilen tayf ise Şekil 1 sağ panelde gösterilmektedir.



Şekil 1. Vega'nın 01 Mayıs 2004 tarihinde alınmış tayfının indirgenmeden önceki ham CCD görüntüsü (sol panel). Alınan tayf görüntüsünde soldan ikinci diziyeye ($H\alpha$ bölgesi) ilişkin indirgenmiş tayfi (sağ panel).

4. Tayf Analizi

4.1 Dikine Hız Eğrileri ve Yörünge Çözümleri

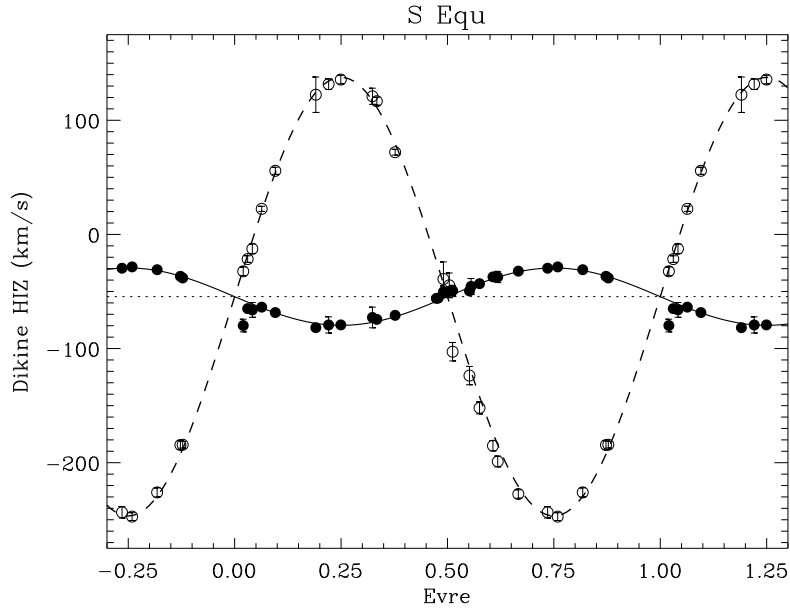
Algol türü dizgelerde kütle aktarımına ilişkin tayfsal belirteçler aranacağı zaman, doğru atmosfer modelleri yapılmalıdır. Bu ancak bileşenlerin salt öğeleri iyi bilindiğinde gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, S Equ ve KO Aql'nın kütle aktarımı, toplanması ve/veya diğer fiziksel süreçlere ilişkin bilgi çıkarabilmek amacıyla tayf analizi yapılmadan önce şu ana kadar tam olarak belirlenemeyen dikine hız değişimleri ve yörünge çözümleri üzerinde durulacaktır.

4.1.1. S Equ'nun Dikine Hız Eğrisi ve Çözümü

S Equ'nun kütle aktarımına ilişkin tayf çalışmaları yapılmasına rağmen [1,2,6] bugüne kadar sadece Plavec [6] tarafından yayınlanan birinci bileşenin dikine hız eğrisi ve çözümü bulunmaktadır.

S Equ'nun bu çalışmada elde edilen tayf verileri kullanılarak dizgenin bileşenlerinin dikine hız değerleri, "çapraz korelasyon" yöntemi ile IRAF paketi içinde yer alan *FXCOR* programı [19] kullanılarak belirlenmiştir. Bu işlem sırasında, dikine hız standardı olarak yavaş dönme hızına sahip ve dikine hız değerleri değişim göstermeyen yıldızlar seçilmiştir. Bunlar, sıcak bileşen için Vega, soğuk bileşen için β Vir'dir.

Dikine hız ölçümleri sırasında, farklı fiziksel süreçlerden (kütle aktarımı, manyetik etkinlik gibi) etkilenebilecek ve oldukça geniş çizgiler olan Balmer serisi ($H\alpha$, $H\beta$ ve $H\gamma$) ve NaI D_2 çizgilerinden kaçınılmıştır. Ayrıca atmosfer kaynaklı çizgilerin (tellurik çizgi) yoğun bulunduğu tayf bölgesinden (örneğin 6270Å-6320Å ve $H\alpha$ yöresi) bu çizgiler çıkarılmıştır. Yukarıda belirtilen çizgileri içeren tayf dizileri dikine hız ölçümünde kullanılmamış olup bunun dışında kalan tüm diziler dikine hız ölçümünde kullanılmıştır. Her bir dizide ölçülen dikine hız değerlerinin ağırlıklı ortalaması o gözlem evresi için dikine hız değeri olarak verilmektedir. Şekil 2'de S Equ'nun her iki bileşeninin (içi dolu daireler sıcak bileşenin, içi boş daireler soğuk bileşenin dikine hızlarını temsil etmektedir) ölçülen dikine hızları yanılırları ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 2. S Equ'nun sıcak (içi dolu daire) ve soğuk bileşenlerinin (içi boş daire) dikine hız değerleri ile onların kuramsal temsili. Sürekli ve kesikli çizgi sırasıyla sıcak ve soğuk bileşen için elde edilen kuramsal eğrilerdir.

Çizelge 1. S Equ'nun dikine hız çözümünden bulunan yörünge parametreleri ile Plavec [6] tarafından verilen sıcak bileşenin dikine hız çözüm sonuçları.

Parametre	Bu çalışma	Plavec (1966)
T_0 (HJD)	52503.086^a	
P (gün)	3.436128^a	
V_0 (km/s)	-54.5 ± 0.5	-48.9
K_1 (km/s)	25.1 ± 0.6	22.5
K_2 (km/s)	192.1 ± 1.2	
q ($=M_2/M_1$)	0.131 ± 0.003	
$M_1 \sin^3 i$ (M_\odot)	3.23 ± 0.06	
$M_2 \sin^3 i$ (M_\odot)	0.42 ± 0.01	
$a_1 \sin i$ (km)	$1.19 \times 10^6 \pm 3.0 \times 10^4$	1.06×10^6
$a_2 \sin i$ (km)	$9.08 \times 10^6 \pm 5.6 \times 10^4$	

^a Kreiner [20]'den alınmıştır.

Dikine hız ölçümlerinde sıcak bileşen için yanılgılar genellikle 1-2 km/s, soğuk bileşen için ise 4-5 km/s yöresinde olduğundan şekilde yanılgı çizgilerinin tümü görülememektedir. Elde edilen dikine hız eğrilerinin çözümleri, IDL programı yardımıyla, dairesel yörünge varsayımında, en küçük kareler yöntemi ile yapılmıştır. Burada, Rossiter dönme etkisi ve diğer bozucu etkilerden kaçınmak için çözümde baş minimum için 0.95-0.05 ve yan minimum için 0.45-0.55 evre aralığından kaçınılmıştır.

Yörünge çözümünde bulunan parametreler ve yanılgıları ise Çizelge 1'de verilmektedir. Burada ayrıca, Plavec [6] tarafından sıcak bileşen için yapılan dikine hız eğrisi çözüm sonuçları da yer almaktadır.

4.1.2. KO Aql'nın Dikine Hız Eğrisi ve Çözümü

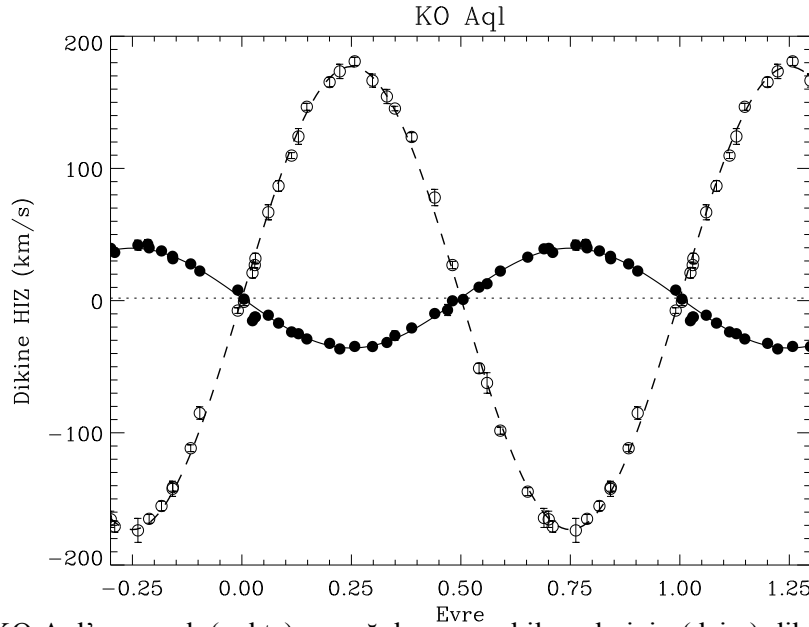
KO Aql'nın bugüne kadar sadece Sahade [16] tarafından yayınlanmış dikine hız eğrisi bulunmaktadır. Sıcak bileşene ilişkin bu dikine hız değerleri oldukça saçılmalıdır. Soğuk bileşenin dikine hız eğrisi ise bu çalışmaya kadar elde edilememiştir.

KO Aql dikine hız ölçümleri için de S Equ için uygulanan aşamalar izlenmiş ve IRAF paketindeki *FXCOR* programı ile çapraz korelasyon yöntemi kullanılarak dikine hız ölçümleri yapılmıştır. Sıcak ve soğuk bileşenler için Vega ve α Boo dikine hız standardı olarak kullanılmıştır.

Şekil 3’de KO Aql’nın her iki bileşeninin ölçülen dikine hızları yanılgıları ile gösterilmektedir (noktalar sıcak bileşenin, daireler soğuk bileşenin dikine hızlarını temsil etmektedir). Elde edilen dikine hız eğrileri, S Equ için kullanılan yöntem izlenerek çözülmüştür. Çözüm sonucunda bulunan kuramsal eğriler de Şekil 3’de gösterilmekte olup sürekli çizgi birinci bileşen için kesikli çizgi de ikinci bileşen için kuramsal sinüs eğrileridir.

KO Aql’nın dikine hız eğrisi çözümü sonucunda bulunan yörünge parametreleri Çizelge 2’de verilmektedir. Burada ayrıca, karşılaştırma amacıyla Sahade [16] tarafından yayınlanan sıcak bileşene ilişkin dikine hız çözüm sonuçları da yer almaktadır ancak bu dikine hız eğrisi saçılma göstermesine rağmen sıcak bileşene ilişkin çözüm sonuçlarının bu çalışma ile hemen hemen aynı olması şaşırtıcıdır.

KO Aql’nın bu çalışma ile ilk kez soğuk bileşenine ilişkin dikine hız değişimi ortaya çıkarılarak dizgenin ilk duyarlı yörünge çözümü ve parametreleri verilmiştir.



Şekil 3. KO Aql’nın sıcak (nokta) ve soğuk bileşenlerinin (daire) dikine hız değerleri ile onların kuramsal temsili. Sürekli ve kesikli çizgi sırasıyla sıcak ve soğuk bileşen için elde edilen kuramsal eğrilerdir.

Çizelge 2. KO Aql’nın yörünge parametreleri ile Sahade [16] tarafından verilen sıcak bileşenin dikine hız çözüm sonuçları.

Parametre	Bu çalışma	Sahade (1945)
T_0 (HJD)	52501.707 ^a	26585.442
P (gün)	2.864068 ^a	2.863844
V_0 (km/s)	1.9 ± 0.1	-2.7
K_1 (km/s)	37.8 ± 0.2	37.8
K_2 (km/s)	175.1 ± 0.9	
q ($=M_2/M_1$)	0.216 ± 0.002	
$M_1 \sin^3 i$ (M_\odot)	2.36 ± 0.03	
$M_2 \sin^3 i$ (M_\odot)	0.51 ± 0.01	
$a_1 \sin i$ (km)	$1.49 \times 10^6 \pm 1.0 \times 10^4$	1.5×10^6
$a_2 \sin i$ (km)	$6.90 \times 10^6 \pm 3.4 \times 10^4$	

^a Kreiner [20]’den alınmıştır.

4.2 Sıcak Bileşenlerin Dönme Hızları

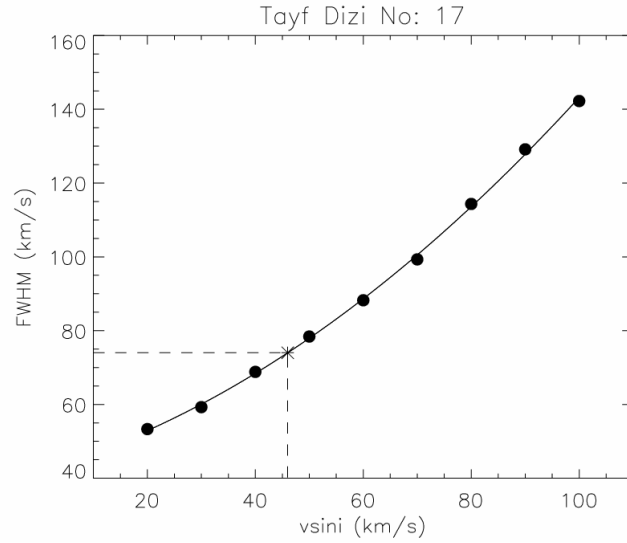
Son yıllarda yapılan çalışmalarda Algollerin sıcak bileşenlerinin dönme hızlarının kütle aktarımına ilişkin önemli ipuçları verdiğini ortaya konulmuştur [21]. Kısa dönemli Algollerde dönme hızları eş-dönme değerine yakın iken, uzun dönemli Algollerde bu değerden oldukça uzaklaşmakta olup çok yüksek dönme hızları ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında tayf verisi alınan S Equ ve KO Aql'nın sıcak bileşenlerinin dönme hızları ölçülerek eş-dönme hızları ile karşılaştırılacak ve kütle aktarımının bu parametre üzerinde etkisi araştırılacaktır.

Dönme hızı ölçümünde kullanılan yöntem, dönme hızı ölçülecek yıldız ile standart yıldızların karşılaştırılmasına dayanır: Dönme hızı ölçümü yapılacak yıldızın tayf türü ve ısıtma sınıfına olası en yakın, düşük dönme hızına sahip standart yıldız gözlenir ve daha sonra bu standart yıldızın tayfi farklı hızlarla döndürülerek sentetik standart tayflar oluşturulur. Oluşturulan sentetik tayflar, gözlenen standart yıldızın tayfi ile karşılaştırılır ve dönme hızı ile ilgili çapraz korelasyon fonksiyonunun FWHM'ı (yarı yükseklikteki en büyük genişlik) arasındaki ilişki bulunur. Son olarak, değişen yıldız ile standart yıldızın gözlenen tayfi karşılaştırılarak bulunan FWHM değeri kullanılarak $v \sin i$ -FWHM korelasyonundan ilgili yıldızın $v \sin i$ değeri ölçülebilir. Bu yöntem uygulanarak, S Equ ve KO Aql'nın sıcak bileşenlerine ilişkin $v \sin i$ değerleri her iki bileşen için de uygun standart yıldız olan Vega kullanılarak oluşturulan korelasyon yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm sırasında, en duyarlı sonuç veren ve çok sayıda metal çizgisi içeren 17. (4490Å-4600Å) ve 18. (4400Å-4510Å) tayf dizileri kullanılmıştır. Şekil 4'de, 17. dizi için elde edilen korelasyonun grafiği verilmektedir.

S Equ ve KO Aql için farklı gözlem gecelerinde ve tutulmalardan uzak evrelerde elde edilmiş çok sayıda tayf verisinden sıcak bileşenlerin $v \sin i$ değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin ağırlıklı ortalaması ölçüm değeri olarak kabul edilmiştir (bkz. Çizelge 3). S Equ ve KO Aql'nın sıcak bileşenleri için eş-dönme hızları ise, ilgili salt öğeler kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

$$v \sin i = \frac{2\pi}{P} R \sin i \quad (1)$$

Burada, P, yörünge dönemi, R, ilgili yıldızın yarıçapı ve i de yörünge eğikliğidir. Bu eşitlik ile, S Equ ve KO Aql'nın sıcak bileşenlerine ilişkin hesaplanan eş-dönme hızları ve ölçülen $v \sin i$ değerleri Çizelge 3'te verilmektedir. Ayrıca, $F = (v \sin i)_{\text{gözlem}} / (v \sin i)_{\text{eş}}$ olarak tanımlanan ve eş-dönmeden ayrılmanın bir ölçüsü olan "F" parametresi de verilmektedir. Çizelge 3'ten görüldüğü üzere, hem S Equ hem de KO Aql'nın sıcak bileşenleri eş-dönme değerinden yaklaşık %30 daha hızlı dönmektedirler. Kütle aktarımı ve toplanmasının belirteci olan bu parametre, bu dizgelerdeki kütle aktarımı sürecini doğrulamaktadır.



Şekil 4. Vega standart yıldızı kullanılarak 17. tayf dizisi (4490Å – 4600Å) için elde edilen $v \text{ sini}$ -FWHM korelasyonu ve onun ikinci derece polinom ile temsili (sürekli çizgi)

Çizelge 3. S Equ ve KO Aql'nın ölçülen $v \text{ sini}$ ve hesaplanan eş-dönme hız değerleri

Yıldız	P(gün)	i (°)	R ₁ (R _☉)	($v \text{ sini}$) _{gözlem} (km/s)	($v \text{ sini}$) _{eş} (km/s)	F
S Equ	3.436128 ^a	88.3 ^b	2.73	52 ± 4	40	1.30
KO Aql	2.864068 ^a	77.9 ^c	1.77	41 ± 2	31	1.32

^a Kreiner [20], ^b Zola [8], ^c Mader & Angione [18]

4.3 H α Fark Tayfları

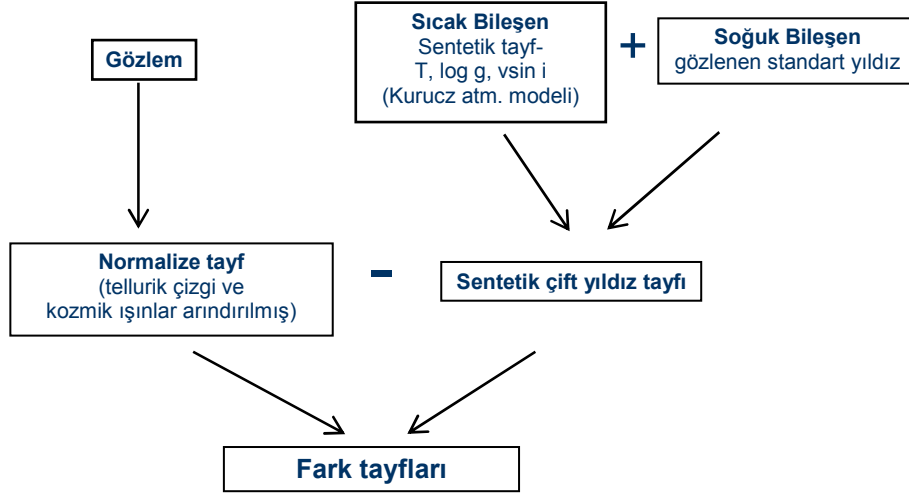
Algollerde yaklaşık 50 yıldız yapılan tayf çalışmaları göstermiştir ki optik bölgede kütle aktarımının etkisinin en baskın görüldüğü çizgilerden biri H α (6562.8 Å)'dır. Aynı zamanda, bu çizgi değişimlerinin, belirli yörünge dönemine sahip dizgelerde kütle aktarımı nedeniyle benzer olduğu belirlenmiştir. Basit olarak, yörünge dönemi P>6 gün olan dizgelerde sürekli ve çift pikli salma yapıları hemen hemen her evrede görülürken, P<6 gün olanlarda ise tek pikli, daha zayıf ve değişken H α salması ve özellikle birinci minimum öncesi ve sonrası soğurmalar ile karşılaşılır. Kütle aktarımının etkisi, aynı zamanda zayıf salma ve soğurmalar şeklinde H β (4861 Å) çizgilerinde de görülebilir. Bunun yanında, HeI (5876 Å), OI (7774 Å) ve HeI (6678 Å) gibi çizgilere ilişkin çalışmalar da kütle aktarımı ile ilgili kanıtlar sunmaktadır.

Algollerde belirli tayf çizgilerinin değişimleri üzerine çalışırken bunun sadece kütle aktarımı nedeniyle ortaya çıktığını düşünmek başka önemli fiziksel süreçleri göz ardı etmek anlamına gelebilir. Kütle aktarımından sonra Algollerde en önemli fiziksel süreçlerden biri de soğuk alt-dev veya dev bileşenlerinin olası manyetik etkinlikleridir. Bu durumda, H α çizgi değişimlerinde, kütle aktarımının yanında soğuk yıldızın manyetik etkinliğinin de katkısı olabilir.

H α çizgisi, farklı tarih ve evrelerde yukarıda sayılan nedenlerden dolayı değişiklik gösterebilir. Fakat bu değişimleri ayrıntılı çalışabilmek için, çizgilere ilişkin bileşenlerin fiziksel ve geometrik özelliklerine göre sentetik tayflar oluşturulmalı ve daha sonra bu model tayflardan gözlenen tayfları çıkararak ilgili çizgilere ilişkin fark tayfları oluşturulmalıdır. Fark kesitlerindeki değişimler, dizgede farklı fiziksel süreçlerin işaretleridir ve bunlar üzerine çalışıp yorumlar yapmak daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, ilk

olarak bu çizgilere ilişkin sentetik tayfların ve fark kesitlerinin nasıl oluşturulduğunu inceleyelim: Bu çalışmada, örten çift dizgelere ilişkin sentetik tayf oluşturulması amacıyla, soğuk bileşenlerin tayf türü ve ısıtma sınıflarına en yakın standart yıldızlar gözlenirken, sıcak yıldızlar için ise en uygun sentetik tayflar yıldızların sıcaklık ve $\log g$ değerlerine göre [22] atmosfer modelleri yardımıyla oluşturulmuştur. Fark tayfları oluşturulurken izlenen yol aşağıda verilmektedir. Bu aşamaların daha ayrıntılı açıklamaları Soydugan [23]'de bulunabilir.

Çizelge 4. S Equ ve KO Aql'nın fark tayfları oluşturulurken izlenen yolun şematik gösterimi.



4.3.1 S Equ'nun H α Fark Tayfları

Bugüne kadar S Equ'nun özellikle H α fark kesitlerine ilişkin önemli çalışmalar yapılmıştır [1, 9, 10]. Bu çalışmalarda, S Equ'nun tek veya bazen çift pikli kısa zaman ölçeğinde değişkenlik gösteren H α salmaları gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, bu dizgede, bu tür salmalarda soğuk bileşenin manyetik etkinliğinin de rol oynayabileceği belirtilmektedir. Bunun yanında, yapılan başka bir çalışmada, S Equ'nun H α tayfları incelenmiş ve gözlenen salmaların, bileşenler arası bölgeden ve oluşan geçici toplanma diskinden kaynaklanabileceği önerilmiştir [2].

Bu çalışmada, S Equ'nun H α çizgisinin fark tayfları oluşturularak değişimleri incelenecek ve kütle aktarımı ve toplanmasına ilişkin kanıtlar aranacaktır.

H α fark kesitlerini oluşturmak için ilk olarak S Equ'ya ilişkin sentetik tayfların oluşturulması gerekmektedir. Bu amaç için kullanılan parametreler ve soğuk bileşen için seçilen standart yıldız ve özellikleri Çizelge 5'de verilmektedir.

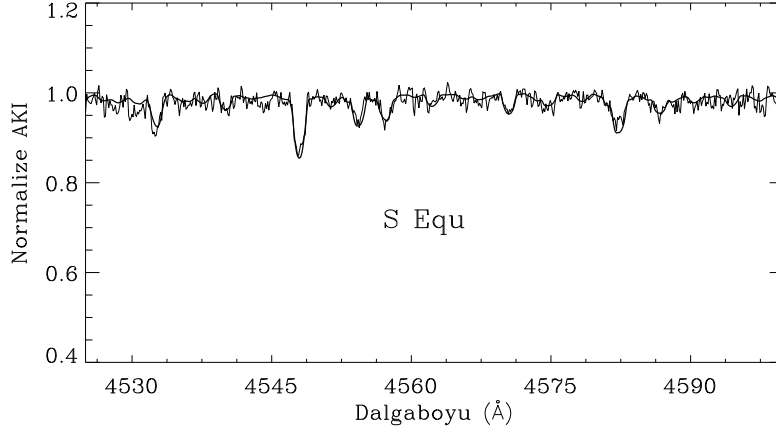
Çizelge 5. S Equ'nun sentetik tayfı oluşturulurken bileşenlerine ilişkin kullanılan parametreler.

Sıcak Bileşen			Soğuk Bileşen	
T (K)	$\log g$	$v \text{ sini}$ (km/s)	Standart	$v \text{ sini}$ (km/s)
11500	4.07	52	10 Tau (F9 IV-V)	48

S Equ sentetik tayfları oluşturulmadan önce sıcak bileşenin T ve $\log g$ değerleri denetlenmiştir. Bunun için ölçülen $v \text{ sini}$ değeri sabit parametre olarak alınmıştır. Soğuk bileşen toplam tayftan çıkarılmış ve geriye kalan sıcak bileşene ilişkin tayf verisi, T ve $\log g$ değerleri ile oluşturulmuş sentetik tayflarla, 4300Å–4600Å aralığında karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Çizelge 5'de sıcak bileşen için verilen T ve $\log g$ değerlerinin uygun olduğu

belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra, çizelgede verilen parametreler kullanılarak çiftin sentetik tayfı oluşturulmuştur. Sentetik tayfin, gözlem ile uyumu Şekil 5’de gösterilmektedir.

S Equ’ya ilişkin $H\alpha$ fark kesitlerini oluşturmak için, en yüksek S/G oranına sahip ve tüm evrelere yayılmış tayflar seçilerek, bunlardan atmosfer kaynaklı çizgiler ve kozmik ışınlar arındırıldı. Bu aşamadan sonra, Çizelge 5’deki parametreler kullanılarak, yukarıda anlatılan aşamalar izlendi ve fark kesitleri oluşturuldu. Şekil 6’da, gözlenen $H\alpha$ tayfı (sol panel, ince çizgi), sentetik tayf (sol panel, kalın çizgi) ve fark tayflarına (sağ panel) örnekler gösterilmektedir. Şekillerin sol panellerinde gözlem tarihi ve sağ panellerinde ise onlara karşılık gelen çiftin evresi (ϕ) gösterilmektedir. Dikine noktalı çizgi ise, $H\alpha$ ’nın laboratuvar dalgaboyuna (6562.8 Å) karşılık gelmektedir.



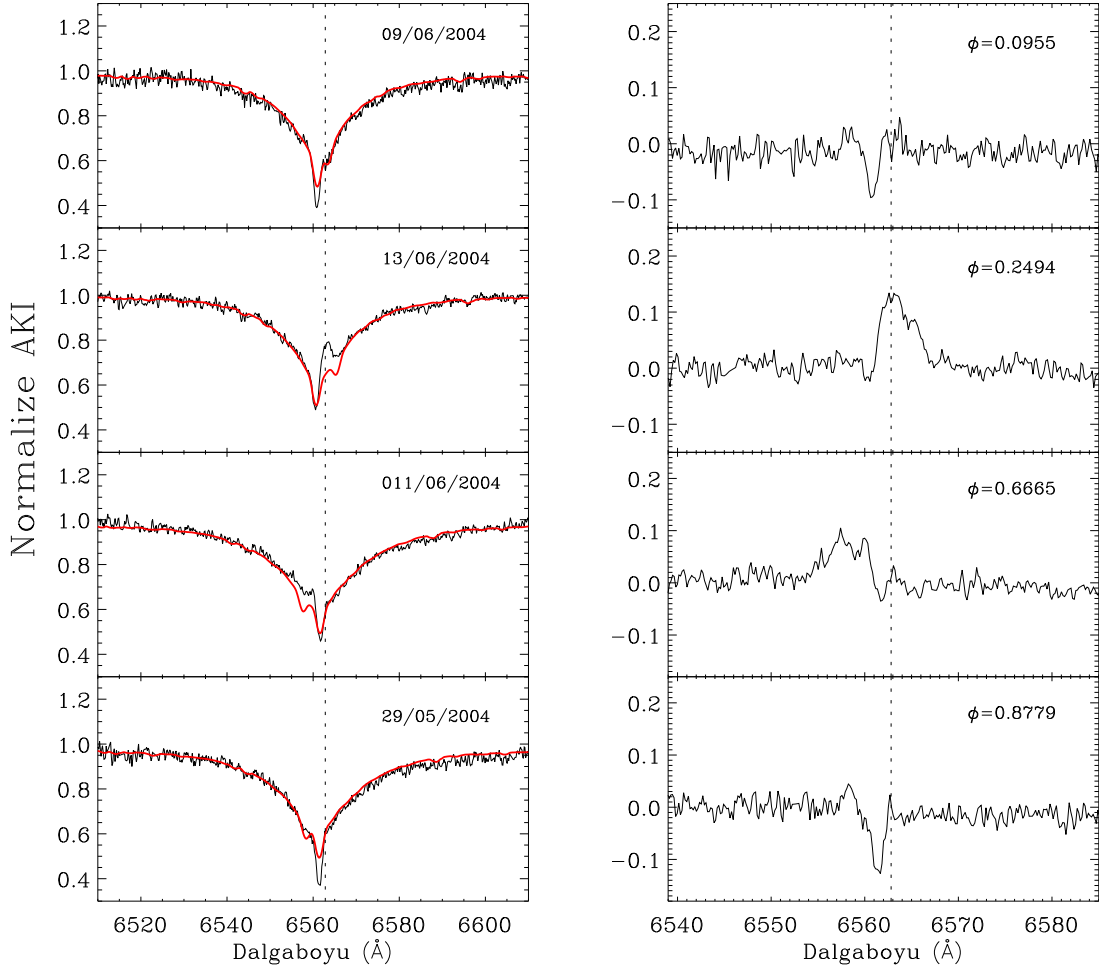
Şekil 5. S Equ için Çizelge 5’deki parametreler kullanılarak oluşturulan sentetik tayfin (kalın çizgi) gözlenen tayf (ince çizgi) ile uyumu.

S Equ’ya ilişkin $H\alpha$ fark tayfları incelendiğinde, ek salma ve soğurma özellikleri ile karşılaşılmıştır. $H\alpha$ fark tayflarında en belirgin özellikler, birinci minimum öncesi-sonrası ek soğurma ve tutulmadan uzaklaştıkça azalan bu ek soğurmanın yanında ortaya çıkan salma yapılarıdır. Tutulmalar dışında görülen fark tayfı, şiddet değişiklik gösterse de, genel olarak benzer yapısını korumaktadır. Bu fark kesiti, Şekil 7’de gösterildiği gibi, genellikle zayıf bir soğurma (A) ile iki pikli salma ($H\alpha$ ’nın merkez dalgaboyuna yakın olan-B, uzak olan-C) özelliği göstermektedir. Bu yapıda, bazen soğurma ve bazen de salmalardan biri tamamen ortadan kaybolmaktadır.

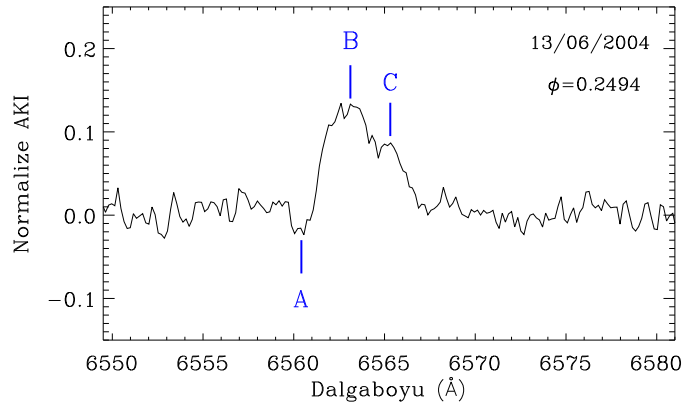
Algollerin $H\alpha$ fark tayflarında görülen ek salma-soğurma özelliklerinin iki ana kaynağı olduğu düşünülmektedir. Soğurmanın kaynağı için, kütle aktarımı ve sonucunda belirli bölgelerde oluşan yığılmalar gösterilebilir. Salmaların kaynağı ise, kütle aktarımı ve toplanması sürecinin yanında soğuk bileşenin manyetik etkinliği de olabilir. Bu nedenle, özellikle salma yapıları, kütle aktarımı ile manyetik etkinlik sürecinin ortaya çıkardığı bileşke yapılar şeklinde görülebilir.

Bu durumda, çizgi fark kesitlerinde ortaya çıkan bu salma ve soğurmaların kaynağı ne olmalıdır? Eğer dizgede kütle aktarımı ve manyetik etkinlik birlikte varsa, bu süreçlerin varlığı fark tayflarından nasıl anlaşılabilir? Bu soruların cevabını verebilecek ana parametrelerden ikisi, ek salma-soğurma özelliklerinin eşdeğer genişlikleri (EW) ve onların merkez dalga boylarına karşılık gelen dikine hız (V_r) değerleridir.

A,B ve C soğurma ve salma yapılarına ilişkin EW ve V_r değerlerinin yörünge evresine göre değişimleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Buradaki ek soğurma ve salma yapılarının özellikle V_r değerlerinin değişimi bize onların kaynakları ile ilgili bilgi vermektedir.

S Equ – H α 

Şekil 6. S Equ'nun gözlenen H α tayfı (sol panel, ince çizgi), sentetik tayf (sol panel, kalın çizgi) ve fark kesitleri (sağ panel) gösterilmektedir. Dikey noktali çizgi ise, H α 'nın laboratuvar dalgaboyunu (6562.8 Å) göstermektedir.



Şekil 7. S Equ'nun tutulmalar dışındaki H α fark tayflarında çoğunlukla karşılaşılan yapı.

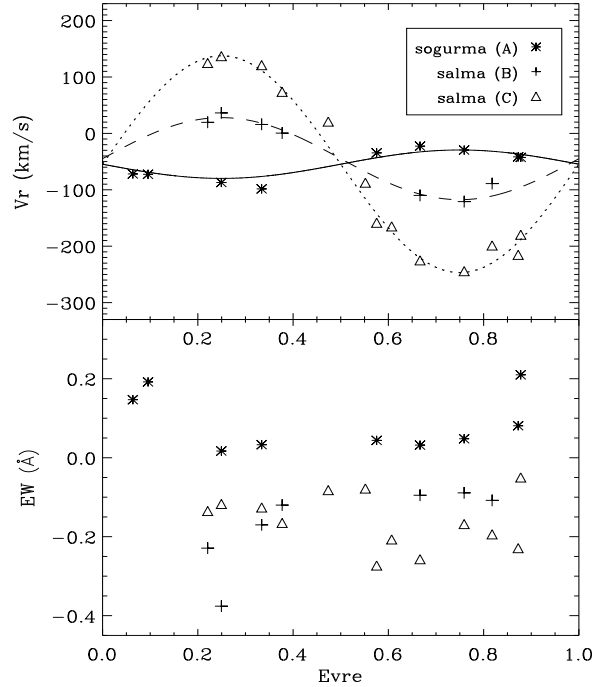
Ek soğurma yapısı (A): Bu yapının V_r değerleri, dizgedeki sıcak bileşenin dikine hız değişimini izlemektedir. Bu da, ek soğurma kaynağının sıcak bileşen üzerinden veya ona çok yakın bir bölgeden geldiğinin kanıtıdır. Eş-zamanlı olarak, EW değerlerinin değişimi de izlenirse, özellikle birinci tutulma öncesi ve sonrası ek soğurma yapısının EW değerlerinin büyük, tutulmalardan uzaklaştıkça ise oldukça küçük olduğu söylenebilir. Bu durumda,

tutulmadan hemen önce ve sonra bu ek soğurmayı üreten bölge, diğer evrelere göre daha yoğundur. Kısa dönemli Algollerde, akan maddenin sıcak bileşen ile çarpıştığı ve daha sonra onun etrafında dağılımlar gösterdiği daha önce açıklanmıştı. Akan maddenin sıcak yıldızla çarpıştığı bölge, en açık şekilde birinci tutulmadan önce ve sonra görülür. A yapısının da burada büyük EW değerler göstermesi, akan maddenin sıcak yıldızla karşılaştığı yerde yığılmasının kanıtı olabilir.

Ek salma yapısı (B): Bu yapıya ilişkin V_r değerleri ise, soğuk ve sıcak bileşenin dikine hız değerlerinden farklı bir değişim göstermektedir. Fakat bu dağılımının da evreye göre dönemli bir değişim gösterdiği söylenebilir. Bu durumda, V_r değişimi bir sinüs ile temsil edildiğinde, ≈ 73 km/s'lik bir genlik değeri elde edilir. Bu değer kullanılarak, B salma yapısının dizgenin kütle merkezinden ne kadar uzakta olduğu aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilebilir.

$$a_B = a_2 \left(\frac{K_B}{K_2} \right) \quad (2)$$

Burada, a_2 , soğuk bileşenin kütle merkezine uzaklığı ve K_2 'de yine soğuk bileşenin dikine hız yarı-genliği olup bu değerler Çizelge 1'den alındığında, B salma yapısının kütle merkezine olan uzaklığı (a_B) yaklaşık olarak 3×10^6 km bulunur. Fakat bu salma, bileşenleri birleştiren doğrultunun biraz üzerinden gelmektedir. Çünkü dikine hız değişiminde sıfır evreye karşılık gelen hız (çift için $V_0 = -54.5$ km/s), -45 km/s'dir ki bu çiftin uzay hızından yaklaşık 10 km/s daha büyüktür. Soğuk bileşenden akan maddenin, yörünge hareketi nedeniyle ortaya çıkan koriolis kuvveti nedeniyle bileşenleri birleştiren doğrultunun biraz üzerinde bir akış yoluna sahip olduğu düşünülürse, B salması, bileşenler arası bölgede akan maddenin ürettiği salmadır. Bu salmanın özellikle maksimum evrelerde görülmesi de bunu doğrulamaktadır.



Şekil 8. S Equ'nun $H\alpha$ fark tayflarında görülen salma ve soğurma yapılarına ilişkin EW ve V_r değerlerinin yörünge evresine göre değişimi. Üst panelde görülen sürekli çizgi sıcak bileşenin, noktalı çizgi ise soğuk bileşenin dikine hız değişimini temsil etmektedir. Kesikli çizgi ise, ek salma yapısının (B) dikine hız değerlerine yapılan sinüs temsilini göstermektedir.

Ek salma yapısı (C): Bu yapının V_r değerleri incelendiğinde, soğuk bileşenin dikine hız değişimini izlediği görülür. Bu da, C salma yapısının soğuk bileşenden kaynaklandığını gösterir. Algollerde, soğuk bileşenlerin manyetik etkinlik göstermeleri beklenmekte olup bu şekildeki bir salmanın da S Equ'nun soğuk bileşenin manyetik etkinliğinin sonucu olduğu önerilebilir. C salmasına ilişkin EW değerleri ise, 0.1-0.3 Å aralığında değişim göstermektedir.

4.3.2 KO Aql'nın H α Fark Tayfları

KO Aql için bugüne kadar kütle aktarımı ve toplanmasına ilişkin ayrıntılı tayf çalışması yapılmamıştır. Sadece, maksimum evrede alınan bir tayfin H α çizgisi incelenmiş ve kütle aktarımının kanıtı olabilecek ek salma-soğurma yapısı ile karşılaştırılmıştır [2].

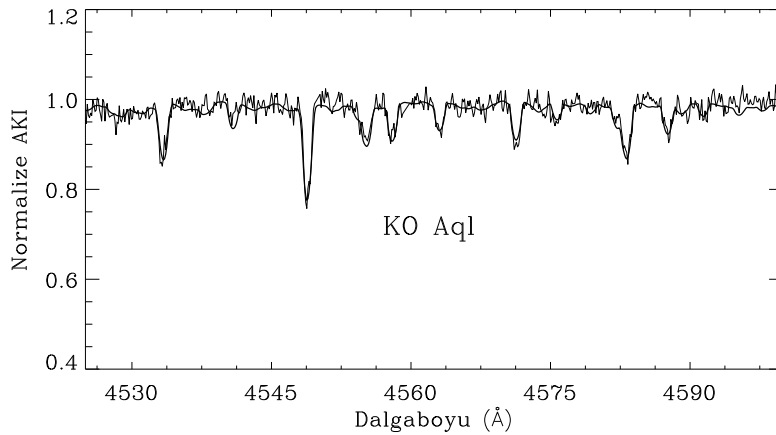
Bu çalışmada, KO Aql'nın H α fark tayfları oluşturularak değişimleri ilk kez ayrıntılı olarak incelenecek ve kütle aktarımı - toplanmasına ilişkin kanıtlar aranacaktır. H α fark kesitlerini oluşturmak için ilk olarak, S Equ için yapıldığı gibi, sentetik tayfların oluşturulması gerekmektedir. Bu amaç için kullanılan parametreler ve soğuk bileşen için seçilen standart yıldız ve özellikleri Çizelge 6'da verilmektedir.

KO Aql'nın sentetik tayfları oluşturulmadan önce, S Equ'da yapılan analize benzer olarak sıcak bileşenin T ve log g değerleri denetlenmiş ve bu değerlerin Çizelge 6'da verilenlerle yakın olduğu görülmüştür. Daha sonra çizelgedeki bu parametreler kullanılarak çiftin sentetik tayfi oluşturulmuştur. Sentetik tayfin, gözlem ile uyumu Şekil 9'da gösterilmektedir.

KO Aql'nın sentetik tayfları yukarıda verilen parametreler yardımıyla oluşturuldu ve gözlenen tayf ile oluşturulan sentetik tayfların farkları alındı. Şekil 10'da, gözlenen H α tayfi (sol panel, ince çizgi), sentetik tayf (sol panel, kalın çizgi) ve fark tayflarına (sağ panel) ilişkin örnekler gösterilmektedir.

Çizelge 6. KO Aql'nın sentetik tayfi oluşturulurken bileşenlerine ilişkin kullanılan parametreler.

Sıcak Bileşen			Soğuk Bileşen	
T (K)	log g	$v \text{ sini}$ (km/s)	Standart	$v \text{ sini}$ (km/s)
9900	4.34	41	α Boo (K1.5 III)	60

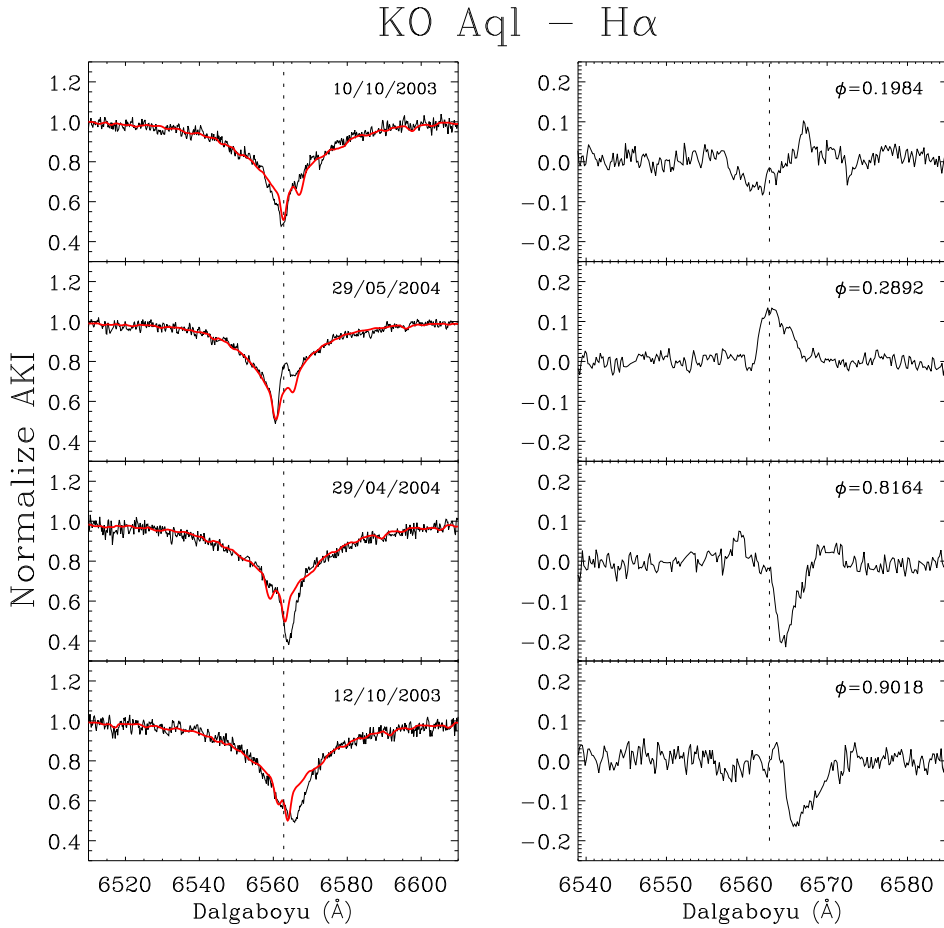


Şekil 9. KO Aql için Çizelge 6'daki parametreler kullanılarak oluşturulan sentetik tayfin (kalın çizgi) gözlenen tayf (ince çizgi) ile uyumu.

Şekil 10’da gösterilen $H\alpha$ fark tayfları, KO Aql dizgesinde farklı süreçlerin neden olabileceği ek salma-soğurma özellikleri göstermektedir. $H\alpha$ fark tayflarında, S Equ’ya benzer olarak, birinci minimumdan önce ve sonra soğurma, tutulmadan uzaklaştıkça ise salmalar daha etkin şekilde görülmektedir. Salma yapıları oldukça karmaşık olup, birinci tutulmadan önce görülen soğurma ise S Equ’ya göre oldukça güçlüdür. Fark tayflarının tümü incelendiğinde, genellikle her birinde bir soğurma ve salma yapısı ile karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, tekrarlayan bu soğurma yapısı A ve salma yapısı B ile isimlendirilmiştir.

Ek salma ve soğurmaları oluşturan kaynakları ve süreçleri belirlenmek üzere A ve B yapılarının EW ve Vr değerlerinin çiftin yörünge evresine göre değişimleri Şekil 11’de gösterilmektedir.

A soğurma yapısının dikine hız değerleri, bazı evreler için birinci bileşenle uyumlu olsa da (örneğin 0.25-0.35 evre aralığında), genellikle çok daha büyüktür. Özellikle, birinci minimumdan önce ve sonra dikine hız değerleri ± 200 km/s değerine yaklaşmaktadır. Eş zamanlı olarak EW değerlerinin de değişimi incelenirse, maksimum evrelerde çok küçük iken baş minimuma yaklaşırken sistematik olarak büyümekte ve tutulmadan sonra da sistematik olarak azalmaktadır. Bu da soğurmayı oluşturan maddenin, baş minimumdan önce ve sonra görülen evrelerde yığılma gösterdiğini ve oldukça yoğun olduğunu kanıtlar. Madde etkisini özellikle, 0.8-0.2 evre aralıklarında göstermektedir.



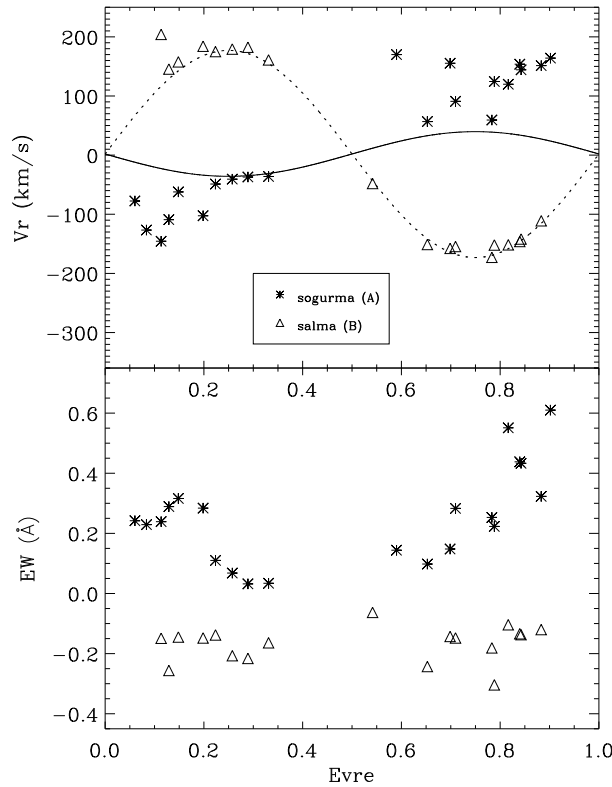
Şekil 10. KO Aql’nın gözlenen $H\alpha$ tayfı (sol panel, ince çizgi), sentetik tayf (sol panel, kalın çizgi) ve fark kesitleri (sağ panel) gösterilmektedir. Dikey noktalı çizgi ise, $H\alpha$ ’nın laboratuvar dalgaboyunu (6562.8 \AA) göstermektedir.

Soğurmayı oluşturan madde, akan maddenin sıcak bileşen ile karşılaştığı bölge ve onun yöresi olarak düşünülebilir. Ancak, S Equ ile karşılaştığımızda, soğurucu madde çok daha geniş alana yayılmıştır ve oldukça yoğundur. Yüksek dikine hızlar göstermesi de bu tür kısa dönemli Algollerde karşılaşılabilen bir durumdur. Çünkü akan maddenin bir kısmı sıcak yıldız ile çarpışmasından sonra geriye yansıyabilir ve sıcak bileşen etrafında yüksek hızlarla rasgele hareket edebilir. Bu hareket, bazen alıcı bileşenle eş-yönlü, bazen de zıt yönlü olabilir.

B salma yapısının dikine hız değerlerinin soğuk bileşenin dikine hız değişimini izlediği Şekil 11'den açıkça görülmektedir. Bu da, salmanın soğuk bileşenin manyetik etkinliğinden kaynaklanabileceğini ortaya koyar. Bugüne kadar yapılan ışık eğrisi çözümlere göre soğuk bileşenin sıcaklığı, onun K1–4 tayf türünde olabileceğini göstermektedir. Bu bileşenin eş-dönme hızının da yaklaşık 60 km/s olduğu düşünülürse, bu tür bir manyetik etkinlik göstermesi beklenebilir.

5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında seçilen dizgelerden S Equ ve KO Aql'nın şu ana kadar sadece baş bileşenlerine ilişkin yeterince duyarlı olmayan dikine hız değişimleri yayınlanmıştır. Bu nedenle, her iki dizgenin bileşenlerinin salt öğeleri duyarlı olarak bilinmemektedir. Tayf analizlerinde bileşenlerin salt öğelerinin iyi bilinmemesi, yanlış modellerin yapılmasına ve gerçekçi olmayan fark tayflarına ulaşılmasına neden olacağından ilk olarak bu dizgelerin dikine hız değişimleri çıkarılmıştır.



Şekil 11. KO Aql'nın H α fark tayflarındaki salma ve soğurma yapılarının EW ve Vr değerlerinin yörünge evresine göre değişimi. Üst panelde görülen sürekli çizgi sıcak bileşenin, noktalı çizgi ise soğuk bileşenin dikine hız değişimini temsil etmektedir.

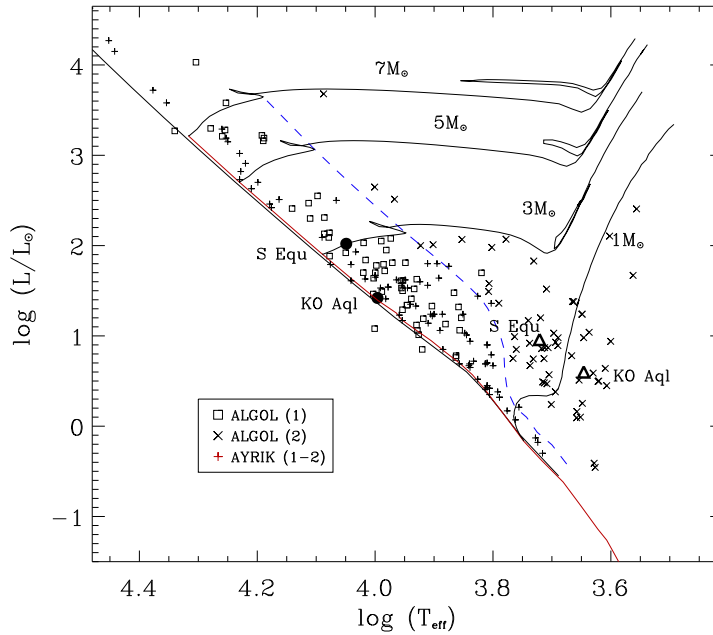
S Equ ve KO Aql'nın sıcak bileşenlerinin oldukça duyarlı dikine hız değişimleri çıkarılırken, soğuk bileşenlerinin ilk kez bu çalışmada dikine hız değişimleri elde

edilmiş ve dizgelerin yörünge çözümleri yapılmıştır. Bu çözümler, S Equ ve KO Aql için sırasıyla daha önce yayınlanan ışık eğrisi çözümleri [8,18] kullanılarak dizgelere ilişkin bileşenlerin ilk kez duyarlı salt ögeleri belirlenmiştir (Çizelge 7). Klasik Algollerin ve ayrık dizgelerin HR diyagramındaki konumları, S Equ ve KO Aql'nın da bu çalışma da belirlenen salt ögeleri kullanılarak noktalandığı Şekil 12'de gösterilmektedir. Şekildeki Güneş kimyasal bolluğu için hesaplanan ZAMS, TAMS kolları ve farklı kütleli yıldızlar için evrim yolları, Girardi ve ark. [24]'den alınmıştır. Yine Güneş bolluğu için hesaplanan orta ve büyük kütleli yıldızlar için çizilen diğer ZAMS kolu da Claret & Gimenez [25]'den alınmıştır. Şekilde yer alan ayrık dizgelerin bileşenlerinin salt ögeleri Andersen [26]'dan alınırken, klasik Algollere ilişkin veriler de en son yayınlanan katalogdan derlenmiştir [27]. Şekilden görüldüğü gibi, ayrık dizgelerin bileşenlerinin tümü anakolda yer almaktadır. Klasik Algollerin de baş bileşenlerinin büyük bir kısmının ayrık dizgelere benzer olarak anakol ömürlerini henüz tamamlamadıkları görülür. Algollerin yoldaş bileşenlerinin ise hemen hemen tamamı, anakoldan ayrılmış ve alt-devler veya devler bölgesine yerleşmiştir. Bu çalışmada yer alan S Equ ve KO Aql'nın baş bileşenleri de henüz anakol da yer almakta olup evrimleşmemişlerdir. Yoldaş bileşenlerinin ise, Algollerin diğer yoldaş bileşenleri gibi, evrimleşip anakoldan ayrılmış oldukları açıkça görülmektedir.

Çizelge 7. S Equ ve KO Aql'nın bileşenlerinin salt ögeleri.

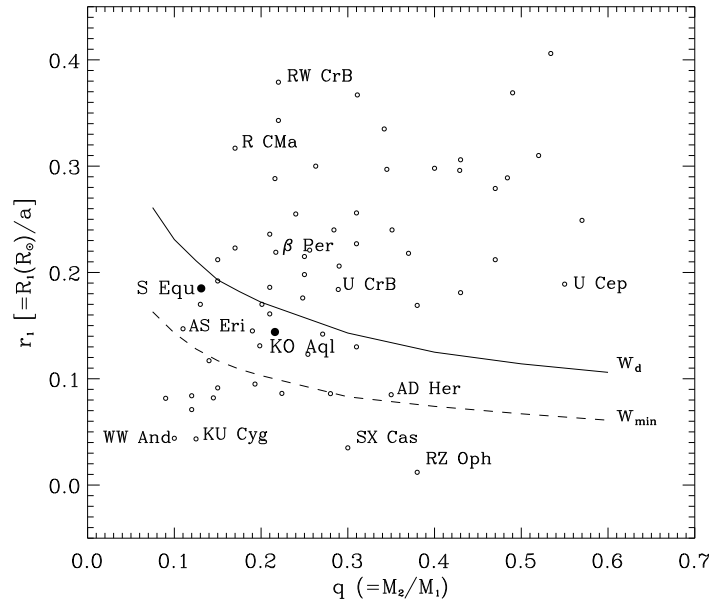
Parametre/Dizge	S Equ		KO Aql	
	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
M (M_{\odot})	3.23 ± 0.06	0.42 ± 0.01	2.52 ± 0.05	0.54 ± 0.01
R (R_{\odot})	2.73 ± 0.04	3.63 ± 0.04	1.77 ± 0.02	3.41 ± 0.03
T (K)	11200 ^a	5255 ± 42^a	9900 ^b	4430 ^b
Log L (L_{\odot})	2.02 ± 0.04	0.96 ± 0.08	1.42 ± 0.04	0.60 ± 0.07
log g	4.07 ± 0.04	3.04 ± 0.04	4.34 ± 0.03	3.11 ± 0.03

^a Zola [8], ^b Mader & Angione [18]



Şekil 12. Algoller ve ayrık dizgeler için HR diyagramı. Algollerin baş bileşenleri “□” sembolü ile, yoldaş bileşenleri ise “×” ile gösterilmiştir. Ayrıca, “+” sembolü, ayrık dizgelerin bileşenlerini temsil etmektedir. S Equ ve KO Aql'nın baş ve yoldaş bileşenleri ise sırası ile, “●” ve “Δ” ile gösterilmiştir.

Kütle aktarımı gösteren dizgelerde, akan maddenin alıcı bileşen etrafında nasıl bir yapı oluşturacağı, o dizgelerin r_1 - q diyagramındaki yerine bağlıdır. ω_d ve ω_{min} eğrileri de bu diyagramda çizildiğinde [28], o dizgenin kuramsal olarak ne tür bir toplanma yapısı oluşturabileceği öngörülebilir. Şekil 13'de, bazı Algollerin bu diyagramdaki yerleri gösterilmektedir. Ayrıca, bu çalışmada salt öğeleri belirlenen S Equ ve KO Aql'nın da konumları belirlenmiştir. Bu durumda, S Equ ve KO Aql, ω_d ve ω_{min} arasındaki bölgede yer almaktadır ve oldukça değişken, bazen tek bazen de çift pikli salma yapısı ve toplanma bölgesine ilişkin soğurma yapısı göstermelidir. Bunun yanında, ani şekilde oluşan ve kaybolan toplanma halkası ile de karşılaşılabilir. Ayrıca, yapılan kuramsal hesaplamalar, farklı q değerleri için soğuk bileşenden sıcak bileşene doğru akacak maddenin akış yolunun hesaplanmasını olanaklı kılar [28]. S Equ ve KO Aql için bu akış yolları IDL programı yardımıyla hesaplandığında her iki dizgede de [29], akan madde baş bileşen ile çarpıştığı görülmektedir. KO Aql'da çarpışma daha üst enlemlerde gerçekleşmektedir. Bu durumda, bu dizgelerde kararlı disk yapısının oluşamayacağı açıktır.



Şekil 13. Algoller için r_1 - q diyagramı ve S Equ ile KO Aql'nın bu diyagramdaki konumları.

Algollerde tayf verisi kullanılarak sıcak bileşenlere ilişkin yapılan dönme hızı ölçümleri, etrafında oluşan toplanma yapıları nedeniyle bu bileşenlere ilişkin gerçek $v \sin i$ değerlerini vermez. Fakat, bu değerler kütle aktarımı ve toplanma süreci açısından oldukça önemli bilgiler taşır.

Kısa dönemli Algollerde, toplanma yapısı zayıf ve bileşenler birbirine oldukça yakın olduğundan bileşenlerin dönme hızları eş-dönme değerinde veya ondan biraz büyüktür. Kütle aktarımı açısından aktivite arttıkça $v \sin i$ değerlerinin beklenenden oldukça büyük çıktığı görülür. Bu çalışmada yer alan S Equ ve KO Aql için de sıcak bileşenlerin dönme hızları tayf verisi kullanılarak ölçülmüş ve sırasıyla 52 ve 42 km/s değerleri elde edilmiştir. Eş-dönme değerleri ile karşılaştırma yapmak üzere, F değerleri hesaplandığında ise her ikisi için de yaklaşık 1.3 değeri bulunmuştur. Bu durumda, kütle aktarımının etkisi ile S Equ ve KO Aql'nın sıcak bileşenleri beklenenden %30 daha hızlı dönmektedir.

Kütle aktarımına ilişkin en önemli kanıtlar, bazı tayf çizgilerinde görülen zamana ve yörünge evresine bağlı değişimlerden çıkarılmaktadır. Optik bölgede alınan tayflarda, kütle aktarımı, etkisini en çok $H\alpha$ çizgisindeki değişimlerle belli eder. Bu çalışmada da, S Equ ve KO Aql'nın tayf verisi kullanılarak, $H\alpha$ çizgilerinde kütle aktarımının etkisi araştırılmıştır.

S Equ'nun özellikle H α fark tayfları kütle aktarımına ilişkin önemli kanıtlar sunmaktadır. H α fark tayflarında, tutulma öncesi ve sonrası soğurma yapıları görülürken, tutulmalardan uzaklaştıkça soğurmaların şiddeti azalmakla birlikte iki pikli salma yapılarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Soğurma yapısının, tutulma yakınında büyük EW göstermesi ve dikine hız değişiminin de baş bileşen ile uyumlu olması, bu yapıyı oluşturan maddenin sıcak bileşen yakınında akan maddenin çarptığı bölgede toplandığını göstermektedir. B ile gösterilen salma yapılarından biri ise, sadece tutulmalardan uzaklaşıldığında ortaya çıkmaktadır. Bu yapının EW değişimi yörünge evresine göre anlamlı bir değişim göstermezken, dikine hız değişimi ise soğuk bileşen ile aynı yönlü fakat daha küçük genlikli sinüs benzeri bir değişim göstermektedir. Bu değişimin genliğinden, B salmasının kaynağının, dizgenin kütle merkezinden yaklaşık olarak 3×10^6 km uzaktaki ve bileşenleri birleştiren doğrultunun üzerindeki bir bölgeden geldiğini göstermektedir. Bu da maddenin akış yoluna karşılık gelir. Akan madde, bu salmanın kaynağını oluşturmaktadır. Diğer salma yapısı C ise, dikine hız değişiminin soğuk bileşenle hemen hemen aynı olması nedeniyle, soğuk bileşen tarafından üretilmektedir. Soğuk bileşenin olası manyetik etkinliği bu salmanın kaynağını oluşturabilir. S Equ'nun daha önce oluşturulan Doppler görüntülerinde de buna benzer kanıtlar bulunmuştur [10].

KO Aql dizgesine ilişkin H α fark tayfları da kütle aktarımına ilişkin önemli kanıtlar sunmaktadır. Bu çalışma ile ilk kez ayrıntılı olarak KO Aql'nın kütle aktarımı özellikleri çalışılmıştır. Fark tayflarında genel olarak soğurma ve tek pikli salma yapısı ile karşılaşmıştır. Soğurma özellikle birinci tutulma öncesi ve sonrası oldukça güçlüdür. H α fark tayflarında ortaya çıkan soğurma ve salma yapılarının EW ve dikine hız değişimleri ölçülerek yorumlanmıştır.

Buna göre, soğurma yapısının EW değerleri birinci tutulma öncesi ve sonrası çok güçlüdür fakat özellikle tutulma öncesinde daha geniş evre aralığında görülebilmektedir. Dikine hız değişimi ise bazı evrelerde sıcak bileşen ile uyumlu olsa da genelde çok daha büyük hızlar göstermektedir. Kısa dönemli Algollerde gelen madde sıcak yıldız ile çarpıştığında, maddenin bir kısmı yıldızın fotosferine sızarken bir kısmı da geri yansır ve sıcak bileşen etrafında yayılarak yığılmalar oluşturur. Yansıyan maddenin ölçülen hızları birkaç yüz km/s yöresine çıkabilmektedir. Bu nedenle, KO Aql'da bu yüksek hızlar bu şekildeki bir sürecin sonucunda ortaya çıkabilir. Ayrıca, S Equ'ya göre çok daha yoğun bir madde çarpışma bölgesi etrafında çok daha geniş bir bölgeye yayılmıştır. Salma yapılarının dikine hız değişimleri ise, soğuk bileşenle oldukça benzerlik göstermektedir. Bu da KO Aql'nın soğuk bileşeninin manyetik etkinliğinin sonucu üretilen salmalar olabilir.

S Equ ve KO Aql'nın optik bölgedeki tayf verisi kullanılarak kütle aktarımına ilişkin önemli kanıtlar ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, daha önce yapılan yörünge dönem değişimlerine ilişkin çalışmalar ve H α fark tayflarından soğuk bileşenlerinin manyetik akvite gösterdikleri önerilebilir. Bu çalışmadan sonra, özellikle kızılöte bölgede yapılacak gözlemler, bu dizgelerdeki kütle aktarımı, toplanması ve soğuk bileşeninin manyetik etkinliğine ilişkin önemli ek kanıtlar sunarken kütle aktarımı ve toplanması sürecini daha iyi açıklamamıza yardımcı olabilir.

Kaynaklar

- [1] Richards, M. T. and Albright, G.E. (1999), "Morphologies of Halpha Accretion Regions in Algol Binaries", *Astrophysical Journal Supplement Series*, 123, 537.
- [2] Vesper, D., Honeycutt, K. and Hunt, T. (2001), "Survey of Halpha Mass Transfer Structures in Classical Algol-Type Binaries", *Astronomical Journal*, 121, 2723.
- [3] Plavec, M.J. (1983), "Interacting binary stars - Freaks or rosetta Stones", *Royal Astronomical Society of Canada and Canadian Association of Physicists, Joint Plenary Session*, vol. 77, Dec. 1983, p. 283-304. NSF-NASA-supported research, 77, 283.
- [4] Cester, B., Giuricin, G., Mardirossian, F. et al. (1979), "Revised photometric elements of seven R CMa systems", *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 36, 273.

- [5] Catalano, S. & Rodono, M. (1968), "Photometric elements of the binary system S Equ", *Memorie della Societa Astronomia Italiana*, 39, 617
- [6] Plavec, M.J. (1966), "S Equulei, a new close binary with gaseous streams", *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, 17, 295
- [7] Plavec, M.J. & Polidan, R.S. (1976), "in IAU Symp. 73, Structure and Evolution of Close Binary Systems, eds. P. Eggleton, S. Mitton and J. Whelan", Dordrecht: Reidel, 289
- [8] Zola, S. (1992), "Photometric study of the binary system S Equ", *Acta Astronomica*, 42, 93
- [9] Richards, M. T. (2001), "in H.M.J. Boffin, D., Steedhs, J. Cuypers (eds.), *Astrommography – Indirect Imaging Methods in Observational Astronomy, Lecture Notes in Physics*", 573, 276 (Springer, Berlin).
- [10] Richards, M. T. (2004), "Doppler tomography of Algols", *Astronomische Nachrichten*, 325, 229
- [11] Kreiner, J.M. (1971), "Investigation of Changes in Periods of Eclipsing Variables", *Acta Astanomica*, 21, 365
- [12] Qian, S. B. & Zhu, L.Y. (2002), "S Equulei: A Low Mass Ratio Algol-Type Eclipsing Binary at the Active Phase of Mass Transfer", *Astrophysical Journal Supplement Series*, 142, 139
- [13] Soyduğan, F., Demircan, O., Soyduğan, E. and İbanoğlu, C. (2003), "Orbital Period Changes of Algol-type Binaries: S Equulei and AB Cassiopeiae", *Astronomical Journal*, 126, 393
- [14] Hoffmeister, C. (1930), "93 neue Veränderliche", *Astronomische Nachrichten*, 240, 193
- [15] Plaut, L. (1932), "Beobachtungen veränderlicher Sterne", 1932, *Astronomische Nachrichten*, 244, 289
- [16] Sahade, J. (1945), "Spectrographic Observations of the Eclipsing Variables W Ursae Minoris, XZ Sagittarii, and KO Aquilae", *Astrophysical Journal*, 102, 470
- [17] Blanco, C. & Cristaldi, S. (1974), "The Eclipsing Binary System KO Aquilae", *PASP*, 86, 187
- [18] Mader, J.A. & Angione, R.J. (1996), "A Photometric Analysis of the Binary System KO Aquilae", *PASP*, 108, 404
- [19] Tonry, J. & Davis, M. (1979), "A survey of galaxy redshifts. I - Data reduction techniques", *Astronomica Journal*, 84, 1511
- [20] Kreiner, M.J. (2004), "Up-to-Date Linear Elements of Eclipsing Binaries", *Acta Astanomica*, 54, 207
- [21] Etzel, P.B. & Olson, E.C. (1993), "New six-color intermediate-band photometry and photometric solutions for U Cephei", *Astronomical Journal*, 106, 1627
- [22] Kurucz, R.L. (1979), "Model atmospheres for G, F, A, B, and O stars", *Astrophysical Journal Supplement Series*, 40, 1
- [23] Soyduğan, F. (2005), "Algol Türü Örtün Çift Yıldızlarda Kütle Aktarımı", Ege Üni., Fen Bil. Enst., Doktora Tezi.
- [24] Girardi, L., Bressan, A., Berteli, G. and Chiosi, C. (2000), "Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7 M_{sun} , and from $Z=0.0004$ to 0.03", *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 141, 371
- [25] Claret, A. and Gimenez, A. (1989), "A detailed grid of evolutionary stellar models during hydrogen burning phases", *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 81, 1
- [26] Andersen, J. (1991), "Accurate masses and radii of normal stars", *Astronomy and Astrophysics Review*, 3, 91
- [27] Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Bulut, İ., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Bakış, V. and Demircan, O. (2004), "Catalogue of Algol type binary stars", *Astronomy & Astrophysics*, 417, 263
- [28] Lubow, S.H. and Shu, F.H. (1975), "Gas dynamics of semidetached binaries", *Astrophysical Journal*, 198, 383
- [29] Gies, D.R. (2004), özel iletişim.

