

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AYRIK ÇİFT SİSTEM MQ CENTAURİ VE CRUX OB1 OYMAK ÜYELİĞİ

Efecan TUNÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ ve TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AYRIK ÇİFT SİSTEM MQ CENTAURİ VE CRUX OB1 OYMAK ÜYELİĞİ

Efecan TUNÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ ve TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AYRIK ÇİFT SİSTEM MQ CENTAURİ VE CRUX OB1 OYMAK ÜYELİĞİ

Efecan TUNÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 09/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Volkan BAKIŞ

Prof. Dr. Zeki EKER

Doç. Dr. Hasan ESENOĞLU

ÖZET

AYRIK ÇİFT SİSTEM MQ CENTAURİ VE CRUX OB1 OYMAK ÜYELİĞİ

Efecan TUNÇ

Yüksek Lisans Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Volkan BAKIŞ
Haziran 2015, 47 sayfa

Bu tez çalışmasında Crux OB1 oymağı doğrultusunda konumlanmış MQ Cen örten çift sisteminin astrofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Analizlerde yüksek çözünürlüklü ($R \sim 48000$) Echelle tayfları ile Strömgen fotometrik bantlarında gözlenmiş ışık eğrileri kullanılmıştır. Işık ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümünden MQ Cen'in ilk defa mutlak parametreleri duyarlı bir şekilde elde edilmiştir. Bileşenlerin kütleleri $M_1 = 5.8 \pm 0.1 M_{\odot}$, $M_2 = 5.0 \pm 0.1 M_{\odot}$ ve yarıçapları $R_1 = 7.17 \pm 0.08 R_{\odot}$, $R_2 = 6.46 \pm 0.08 R_{\odot}$ olarak belirlenmiştir.

MQ Cen tayfları Fourier analizi ile ayıklanmıştır. KOREL kodu kullanılarak ayıklanmış tayflara Kurucz (1993) atmosfer modelleri fit edilerek bileşenlerin model atmosfer parametreleri elde edilmiştir. Model atmosfer sentetik tayfları ile gözlenen tayflar arasındaki en iyi uyum, $T_1 = 15000 \pm 600$ °K ve $T_2 = 13900 \pm 700$ °K etkin sıcaklıklarında sağlanmıştır. Aynı zamanda baş yıldızın senkronize dönme hızında, yoldaş yıldızın ise senkronize dönme hızından daha yavaş döndüğü tespit edilmiştir.

MQ Cen için ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen uzaklık $d = 2650 \pm 150$ pc'dir. Bu uzaklık literatürde Crux OB1 için verilen 2729 pc uzaklık ile uyum içindedir. Bu durum, MQ Cen'in uzay hızı bileşenlerinin hata sınırları içinde oymağın uzay hızı bileşenleri ile uyumlu olduğu da dikkate alındığında, MQ Cen sisteminin Crux OB1 oymağına üye olabileceğine dair güçlü bir delil olarak kabul edilmiştir.

Bileşen yıldızların H-R diyagramındaki konumları eş yaş eğrileri ile karşıtılarak sistemin yaşı 75 ± 3 Myıl olarak hesaplanmıştır. Crux oymağına üye olduğu önceden bilinen yıldızların ortalama yaşları (8 ± 10 Myıl) göz önüne alındığında MQ Cen'in çok daha yaşlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu da çift sistemin yıldız oluşumunun farklı dönemlerde tetiklendiği alt gruplardan birine üye olabileceği fikrini akla getirmektedir.

MQ Cen'in baş ve yoldaş yıldızlarının H-R diyagramındaki konumlarına göre anakol ömürlerini tamamladıkları ve devler koluna doğru ilerlemekte oldukları görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Cru OB1, Mutlak parametreler, MQ Cen, Oymaklar, Örten çift yıldızlar, Tayfsal ayıklama.

JÜRİ: Doç. Dr. Volkan BAKIŞ (Danışman)
Prof. Dr. Zeki EKER
Doç. Dr. Hasan ESENOĞLU

ABSTRACT

DETACHED BINARY SYSTEM MQ CENTAURI AND ITS RELATION WITH CRUX OB1 ASSOCIATION

Efecan TUNÇ

MSc Thesis in Space Science and Technologies

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

June 2015, 47 pages

In this thesis, the astrophysical characteristics of eclipsing binary system MQ Cen which is located in the direction of Crux OB1 association were obtained. Observed high resolution ($R \sim 48000$) spectra and light curves in Strömgren bands were analysed. From the simultaneous light and radial velocity curve solutions, the absolute parameters of the components were determined with high precision for the first time. Component masses and radii were derived as $M_1 = 5.8 \pm 0.1 M_{\odot}$, $M_2 = 5.0 \pm 0.1 M_{\odot}$ and $R_1 = 7.17 \pm 0.08 R_{\odot}$, $R_2 = 6.46 \pm 0.08 R_{\odot}$.

The Fourier disentangling method was applied to the composite spectra of MQ Cen to obtain reconstructed component spectra. Then Kurucz (1993) atmosphere models were fitted to the component spectra and the temperatures of components were determined as $T_1 = 15000 \pm 600$ °K and $T_2 = 13900 \pm 700$ °K for primary and secondary stars, respectively. The modeling of the high resolution spectra revealed that the secondary component of MQ Cen rotates slower than the synchronous rotation velocity unlike the primary star which is in synchronous rotation.

The photometric distance of 2650 ± 150 pc was found to be consistent with the distance given for Crux OB1 association (2729 pc) by Kaltcheva and Georgiev (1993). Space velocity of the system support the membership MQ Cen to the Crux OB1 association as well as the derived distance.

Age estimation was made by comparing the positions of components on H-R diagram with isochrone curves. Derived age of 75 ± 3 Myr for MQ Cen is older than the age determined for Crux OB1 association (8 ± 10 Myr). This result implies that MQ Cen may belong to one of the older subgroups in the Crux OB1 association complex and the stellar formation in the complex started long ago then previously predicted.

The positions of the components of MQ Cen on H-R diagram show that both components have reached the final stage of their Main Sequence lifetime and proceed to the Giant Branch.

KEYWORDS: Absolute parameters, Cru OB1, Eclipsing binaries, MQ Cen, OB associations, Spectral disentangling.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Volkan BAKIŞ (Supervisor)

Prof. Dr. Zeki EKER

Assoc. Prof. Dr. Hasan ESENOĞLU

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar yol göstericiliğini benden bir an bile eksik etmeyen, değerli görüş ve önerileri ile beni cesaretlendiren, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum kıymetli hocam, danışmanım Doç. Dr. Volkan BAKIŞ’a teşekkürlerimi sunarım. Yine kendi yoğun çalışmaları arasında bana yardımcı olan Doç. Dr. Hicran BAKIŞ’a değerli katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamda kullandığım yüksek çözünürlüklü FEROS tayfları 109T449 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında elde edilmiş olduğundan TÜBİTAK ARDEB’e teşekkür ederim.

Antalya’da göreve başladığım ilk günden beri, hiç tanımadığım bu şehre alışmamda yardımcı olan, yalnız olmadığımı her an hissettiren, gerek aldığım dersler gerekse tez çalışmamda gösterdiği desteğinden dolayı, aynı yolda yürüdüğüm sevgili meslektaşım Özlem TAŞPINAR’a minnettarım. Lisans yıllarında uzun süre birlikte gözlem yaptığım Doğan Tekay KÖSEOĞLU’na, kendi tezinden vakit ayırıp yaptığımız fikir alışverişleri için teşekkür ederim.

Çanakkale’de yüksek lisans eğitimi sırasında tanıdığım, sevincimi ve hüznümü paylaştığım, manevi desteklerini hep hissettiğim doktora öğrencileri Çağlayan NEHİR ve Tunç ŞENYÜZ’e çok teşekkür ederim.

Hep hayatımda oldukları için kendimi şanslı saydığım, bu günlere gelmemde büyük payları olan, başta ben daha çocukken ilk teleskobumu hediye eden teyzem Bengü UMUT’a olmak üzere eşi Mustafa UMUT, sevgili kuzenlerim Sinem UMUT ve Gizem UMUT DOĞAN ile eşi Tunca DOĞAN’a ve dayım Tolgay ELÇİOĞLU’na en derin teşekkürlerimi sunarım.

Sadece tez çalışmam süresince değil, tüm hayatım boyunca bana inanan, beni yüreklendiren ve her yolda benimle beraber yürüyen, maddi ve manevi her türlü desteklerini, sevgilerini üzerimden eksik etmeyen ve bu tez çalışmasının başarıya ulaşmasını sağlayan en kıymetli varlığım “Annecim” Betül TUNÇ’a, tüm kalbimle sonsuz teşekkür ediyorum.

Eğitim hayatımın ilk yıllarından itibaren bilime olan ilgimi farkedip beni bu doğrultuda bilinçlendiren ve teşvik eden babam Osman TUNÇ’a ithafen...

Efecan TUNÇ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI	2
2.1. Çift Yıldızlar	2
2.1.1. MQ Centauri	3
2.2. Oymaklar	4
2.2.1. Crux OB1	8
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Kullanılan Veriler	11
3.1.1. Fotometrik veriler	11
3.1.2. Tayfsal veriler	12
3.2. Kullanılan Yöntemler	16
3.2.1. Dikine hız ölçümleri	17
3.2.2. Işık eğrisi analizi	18
3.2.3. Tayfın bileşenlerine ayrılması	20
3.2.4. Model atmosfer uygulamaları	29
3.2.5. Yaş, uzaklık ve kinematik parametrelerin tayini	31
3.2.5.1. Yaş tayini ve evrim yolları	31
3.2.5.2. Uzaklık	31
3.2.5.3. Uzay hızları	32
4. BULGULAR	34
5. TARTIŞMA	38
6. SONUÇ	40
7. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Bileşenler arasındaki uzaklık
A_v	Johnson V bandında yıldızlararası sönümlemeden kaynaklanan, yıldız ışığındaki kadir cinsinden azalma miktarı
$A_{1,2}$	Bileşenlerin yansıtma oranları, Albedo
$\text{\AA}$	Angstrom
α	Sağ açıklık
b	Galaktik enlem
BC	Bolometrik düzeltme
B-V	Yıldızın kızıllaşma etkisinden arındırılmamış rengi
$(B-V)_0$	Yıldızın kızıllaşma etkisinden arındırılmış rengi
β	Hidrojen Beta çizgi şiddeti indisi
c	Işık hızı
C	Santigrat
cm	Santimetre
c_1	Balmer süreksizlik şiddetinin ölçüsü
d	Uzaklık
δ	Dik açıklık
e	Dışmerkezlik
E	Çevrim sayısı
E(B-V)	Johnson renk ölçeği
E(b-y)	Strömgren renk ölçeği
F	Akı
$F_{1,2}$	Dönme faktörü
$f(m)$	Kütle fonksiyonu
$g_{1,2}$	Bileşenlerin çekim kararmaları
H	Hidrojen
He	Helyum
H_α	Hidrojen Alfa, Balmer serisinin birinci çizgisi
H_β	Hidrojen Beta, Balmer serisinin ikinci çizgisi
H_γ	Hidrojen Gama, Balmer serisinin üçüncü çizgisi
H_δ	Hidrojen Delta, Balmer serisinin dördüncü çizgisi
i	Yörünge eğimi
K	Kelvin
km	Kilometre
kpc	Kiloparsek
$K_{1,2}$	Bileşenlerin dikine hız genlikleri
L	Işınım gücü
$L_\odot$	Güneş ışınım gücü
$\log g_{1,2}$	Bileşenlerin yüzey çekim ivmelerinin logaritması
ℓ	Galaktik boylam
λ	Dalgaboyu
λ_0	Referans dalgaboyu
m	Metre
mas	Milyaysaniye

Mg	Magnezyum
Myıl	Milyon yıl
m_1	Çizgi sıklığı etkisinin ölçüsü
$m_{1,2}$	Bileşenlerin kütleleri
M_{bol}	Bolometrik parlaklık
M_v	Johnson V bandındaki mutlak parlaklık
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi
m	Kadir
μm	Mikrometre
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	Öz hareketin sağ açıklık bileşeni
μ_{δ}	Öz hareketin dik açıklık bileşeni
η	Eta
$^{\circ}$	Derece
φ	Evre
$\Omega_{1,2}$	Bileşenlerin yüzey potansiyelleri
P	Yörünge dönemi
pc	Parsek
q	Kütle oranı
$r_{1,2}$	Bileşenlerin kesirsel yarıçapları
$R_{1,2}$	Bileşenlerin mutlak yarıçapları
R	Tayfsal ayırma gücü
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı
Si	Silisyum
sn	Saniye
Sp	Tayf türü
T_{eff}	Etkin sıcaklık
T_0	Referans minimum zamanı
$T_{1,2}$	Bileşenlerin etkin sıcaklıkları
U, V, W	Yıldızın Güneş'e göre uzay hızı bileşenleri
$V_{dönme}$	Ekvator dönme hızı
V_{senk}	Senkronize dönme hızı
V_0	Atmosfer dışı V bandı parlaklığı
V_{γ}	Kütle merkezinin dikine hızı
w	Yörüngenin düğümler doğrultusu ile enberi noktası arasındaki açısı
χ	Ki
$\sim$	Yaklaşık
"	Yay saniyesi
'	Yay dakikası

Kısaltmalar

BKF	Başlangıç kütle fonksiyonu
CCD	Charge Coupled Device
ESO	Avrupa Güney Gözlemevi
FEROS	The Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph
FFT	Hızlı Fourier dönüşümü
HD	Henry Draper Kataloğu
HJD	Güneş merkezli Jülyen günü
H-R	Hertzsprung-Russell Diyagramı
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility
IY	Işık yılı
LTE	Yerel termodinamik denge
NIST	National Institute of Standards and Technology
NOAO	National Optical Astronomy Observatories
O-C	Gözlenen ile hesaplanan minimum zamanı arasındaki fark
RV	Dikine hız
SAAO	Güney Afrika Astronomi Gözlemevi
SB2	Çift çizgili taysal çift yıldız
S/G	Sinyal / Gürültü oranı
TYC	Tycho Kataloğu
UCAC4	4. US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog
WD	Wilson-Devinney
2D CCF	2 Boyutlu çapraz korelasyon fonksiyonu
LSR	Yerel Durgunluk Standartı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Güneş'ten 3000 parsek uzaklık içinde bilinen oymakların galaktik düzlem üzerindeki dağılımı (Bakış vd 2015)	7
Şekil 2.2. Bilinen oymaklardan 15 parsekten daha geniş olanların galaksi düzlemi üzerindeki izdüşümü (Mel'nik ve Efremov 1995)	8
Şekil 2.3. 15 parsekten daha geniş oymakların tespit edilen alt gruplarının galaksi düzlemi üzerindeki izdüşümleri (Mel'nik ve Efremov 1995).....	9
Şekil 2.4. Crux OB1 oymağı ile alt gruplarının ALADIN programı (Bonnarel vd 2000) kullanılarak çizdirilmiş galaktik konum ve sınırları.....	10
Şekil 3.1. MQ Cen'in fotometrik gözlemlerinden örnek bir CCD görüntüsü.....	11
Şekil 3.2. MQ Cen'in v, b ve y fotometrik bantlarında elde edilmiş ışık eğrileri.....	12
Şekil 3.3. MQ Cen sisteminin 4471Å (He I) ve 4481Å (Mg II) çizgilerine ait 0 ile 0.5 arasında evreye göre sıralı tayfları (solda), 0.5 ile 1.0 arasında evreye göre sıralı tayfları (sağda), tayfların gözlemlendiği evreler panellerin sağ kenarlarına yerleştirilmiştir	14
Şekil 3.4. MQ Cen sisteminin 5876Å (He I) çizgisine ait 0 ile 0.5 arasında evreye göre sıralı tayfları (solda), 0.5 ile 1.0 arasında evreye göre sıralı tayfları (sağda), tayfların gözlemlendiği evreler panellerin sağ kenarlarına yerleştirilmiştir	15
Şekil 3.5. MQ Cen tayflarının farklı dalgaboyu bölgelerindeki Sinyal/Gürültü oranları.....	16
Şekil 3.6. MQ Cen sisteminin bileşenlerinin evreye göre sıralanmış dikine hızları.....	17
Şekil 3.7. MQ Cen sisteminin gözlenmiş v, b, ve y fotometrik bantlarındaki ışık eğrileri (renkli) ve bu bantlarda ışık eğrisi çözümünden elde edilmiş sentetik eğriler (siyah)	20
Şekil 3.8. KOREL'de tayfin bileşenlerine ayrılması yönteminin uygulandığı farklı evrelerde gözlenmiş tayflar (mavi), bu tayflara çözüm sonunda geçirilen fitler (kırmızı), baş bileşenin ayıklanmış tayfı (yeşil, üstte), yoldaş bileşenin ayıklanmış tayfı (yeşil, altta), He I (5015Å ve 5047Å) ile Si II (5041Å ve 5055Å) çizgilerini içeren tayf bölümü (sol panel), Si II (6347Å) çizgisini içeren tayf bölümü (sağ panel)	21
Şekil 3.9. MQ Cen sistemini oluşturan yıldızların bileşke tayflarının ayrıştırılması yoluyla elde edilmiş dikine hızları	22

Şekil 3.10. MQ Cen sisteminin baş ve yoldaş bileşenlerinin ayıklanmış tayf çizgileri.....	22
Şekil 3.11. MQ Cen sisteminin ayıklanmış Helyum ($5876\text{\AA}$) çizgileri (gri) ve bu çizgiler ile en iyi uyum içerisinde olan model atmosfer uygulaması ile elde edilmiş sentetik tayflar (siyah).....	30
Şekil 3.12. MQ Cen sisteminin ayıklanmış Helyum ($6677\text{\AA}$) çizgileri (gri) ve bu çizgiler ile en iyi uyum içerisinde olan model atmosfer uygulaması ile elde edilmiş sentetik tayflar (siyah).....	30
Şekil 4.1. MQ Centauri sistemini oluşturan yıldızların H-R diyagramındaki hata payları ile birlikte konumları, evrim yolları (siyah), 74 Myıl (kırmızı) ve 77 Myıl (mavi) eş yaş eğrileri	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. MQ Cen sisteminin tayfsal gözlem kütüğü.....	13
Çizelge 4.1. MQ Cen sisteminin ilk adımda belirlenen tayfsal yörünge parametreleri	34
Çizelge 4.2. MQ Cen sisteminin ışık eğrilerinin eę zamanlı WD çözümünden elde edilen görelı parametreleri	34
Çizelge 4.3. MQ Cen sisteminin KOREL çözümlerinden elde edilen tayfsal yörünge parametreleri.....	35
Çizelge 4.4. MQ Cen sisteminin elde edilen mutlak parametreleri	36

1. GİRİŞ

Yıldızlara ait elde edilen bilgilerin büyük çoğunluğuna uygun şartlar altında örtme-örtülme gösteren çift yıldız sistemlerinin analizleri sonucunda ulaşılabilmektedir. Tek yıldızlara göre çift yıldızların astrofizik açısından daha çok önem arz etmesinin sebeplerinden bir tanesi, yıldızların fiziksel özelliklerinden belki de en önemlisi olan kütlelerin ancak iki yıldızın birbirine uyguladıkları kütleçekimsel etkileşimin tespit edilmesiyle hesaplanabilir olmasıdır. Çift yıldızların kütleye duyarlı bir şekilde ulaşılmasını sağlayan yegâne sistemler olması onları bu denli önemli kılmaktadır. Ayrıca kütle oranı, yarıçaplar ve ısıtma güçleri gibi temel fiziksel parametreler de yine çift yıldız incelemeleri sayesinde mümkün olmaktadır. Bunun yanında galaksimizdeki yıldızların büyük bir kısmının çift veya çoklu sistemlere üye olmasının, yıldız temel parametreleri ile ilgilenen astronomlar için büyük bir şans olduğunu söylemek mümkündür.

Oymaklar yıldız oluşumunun halen devam ettiği ya da kısa süre önce sonlandığı yıldız doğumevleridir. Dolayısı ile bu bölgelerden elde edilebilecek bilgiler yıldız evrimi ve daha büyük ölekte galaksimizin yapısı ile evrimi hakkındaki teorilerin test edilebilmesine olanak sağlayabilir. Yıldızların neredeyse tamamının oymaklarda yaşamlarına başlamış oldukları (Blaauw 1958) düşünüldüğünde Başlangıç Kütle Fonksiyonu'nu (BKF) belirleme çalışmalarına da doğrudan kaynaklık etmeleri beklenmektedir. Bunların yanı sıra Brown vd (1999) oymakların şu temel sorulara ışık tutabileceğine değinmişlerdir: Çift yıldız popülasyonunun karakteristiği nedir? Yıldız oluşum oranı ve verimliliği nedir? Bir gruptaki yıldızların tamamı aynı zamanda mı oluşur? Bir yıldız grubunu saran yıldızlararası maddenin dinamik evrimi nasıl bir yol izler? OB oymaklarının özellikleri ve bunların galaksimizin yapısı ve evrimi ile ne gibi bir ilişkisi vardır? Üyeleri birbirine kütle çekimsel olarak bağlı açık kümeler ve bağlı olmayan oymakların oluşumu arasındaki bu fark neden kaynaklanmaktadır? Yıldız oluşumları sırasında açısal momentum üyeler arasında nasıl bir dağılım sergilemektedir? Oymak çalışmalarından bu sorulara cevap alabilmek için ilk önce üyelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü bu bölgelerde oluşan yıldızların bulundukları ortamın koşullarını yansıtmaları beklenmektedir. Bu sebeple üye yıldızların fiziksel, kimyasal, kinematik, dinamik ve yaş gibi özelliklerinin duyarlı bir şekilde elde edilmesi hem literatürde mutlak parametreleri belirlenmiş sistemlerin sayıca azlığı hem de yıldız oluşum bölgelerinin karakteristiklerinin belirlenmesi ve galaksi evrimiyle olan ilişkisinin anlaşılması açısından büyük öneme sahiptir. Bu amaca ulaşmak için en iyi yolun örten çift yıldızları dikkate almak olduğu görülmektedir. Özellikle anakoldan ayrılmamış ve tayfında her iki bileşenin de soğurma çizgileri görülebilen ayrık çift sistemler, bileşenlerin duyarlı fiziksel parametrelerine ve buradan da hem çiftin hem de içinde bulunduğu oymağın yaş ve uzaklıkla ilgili bilgilerine ulaşmamızı sağlayacaktır.

Bu bilgilerden yola çıkarak güney yarım kürede Crux OB1 yıldız oluşum bölgesi doğrultusunda konumlanmış MQ Centauri çift yıldız sistemini oluşturan bileşenlerin fiziksel parametrelerini fotometrik ve tayfsal analizleri birlikte kullanarak belirlemek ve sistemin Crux OB1 oymağı ile ilişkisini incelemek bu tezin temel amacını oluşturmaktadır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Çift Yıldızlar

Kütle çekimiyle birbirine bağlı olan, ortak kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına uygun şekilde yörünge hareketi yapan yıldızlara çift yıldızlar denir. Bu sistemlere çekim kuvvetleriyle fiziksel olarak bağlı olan bir ya da daha fazla yıldız var ise bunlar çoklu sistemler olarak adlandırılırlar. Evrendeki yıldızların yarısından fazlası da çift ya da çoklu sistemlere üyedirler (Hilditch 2001).

Bileşenler arası uzaklık yarıçaplar ile karşılaştırılabilir düzeyde (kesirsel yarıçaplar toplamı $r_1+r_2 \approx 0.1$) ise bu tür sistemlere yakın çift yıldızlar denir ve birbirlerine olan yakınlıkları sebebiyle bileşenler küresellikten saparak birbirlerinin evrimsel gelişimini etkilerler. Etkileşen çift yıldızlar olarak da bilinen bu sistemler aynı kütledeki tek yıldızlara göre bazı özel durumlarda farklı evrim yolu izlerler.

Hızla gelişen teknolojinin getirdiği büyük atılımlara rağmen, açısal ayırma gücü çok yüksek teleskoplarla bile yakın çift yıldızlar, bize olan uzaklıklarından dolayı, ayrı ayrı gözlenemezler. Çift yıldız sistemlerinden bazılarının yörünge düzlemleri bakış doğrultumuza öyle uygun bir açıda yönelmiştir ki yıldızlardan biri diğerini periyodik aralıklarla örter. Bu da sistemin bize ulaşan toplam ışığında periyodik azalmalara sebep olur. Örtlen çift yıldızlar olarak anılan bu sistemlerin toplam ışıklarındaki dönemli azalmalar yörünge dönemine göre evrelendirildiğinde ışık eğrileri elde edilir. Daha sıcak olan yıldızın örtüldüğü evredeki ışık azalmasına baş minimum, daha sönük olan yıldızın örtülmesiyle gözlenen ışık azalmasına da yan minimum denir. Işık eğrilerinin analizleri ile yörünge ve yıldızların parametrelerine ulaşmak mümkündür. Örtlen çiftlerin en önemli ayrıcalıklarından biri çok büyük uzaklıklardan bile yıldızlar hakkında bilgi edinmemizi sağlayabilmeleridir. Örneğin bir örtlen çift yıldızın minimum çukurları yeterli derinlikteyse, sistem başka bir galakside olsa bile bu değişimler belirlenebilir ve o sistemin fiziksel parametrelerine ulaşılabilir (Clausen vd 2003). Örtlen çiftleri ön plana çıkaran diğer önemli özellik ise bu sistemler sayesinde iki yıldızın da kütlelerinin hesaplanabilir olmasıdır. Kütle ve kimyasal kompozisyon (metalsite) bir yıldızın iç yapısını ve evrimini belirleyen yegâne fiziksel parametreler oldukları için elde edilmeleri oldukça önemlidir.

Örtme örtülme gösterse de göstermese de göze tek yıldızmış gibi görünen bir yıldızın çift yıldız olup olmadığı anlaşılabilir. Eğer yörünge düzlemi bakış doğrultumuza dik değilse, yani yörünge eğim açısı sıfırdan farklı ise, yıldızlar yörünge hareketleri sebebiyle sürekli gözlemciye yaklaşıp uzaklaşacaktır. Dolayısı ile bileşenlerin tayftaki soğurma çizgileri, Doppler etkisi nedeniyle, mavi ve kırmızı dalgaboyuna doğru kaymalar gösterir. Böylece aynı elemente ait bir tayf çizgisi artık iki çizgi şeklinde görülecek ve bu iki çizginin elementin laboratuvar dalgaboyu etrafında dönemli olarak salınarak yer değiştirmesi iki bileşenin kütle merkezi etrafında dolanıyor olması ile açıklanabilecektir. Bu yolla keşfedilen sistemlere tayfsal çiftler denir. Bu bağlamda şunu da söyleyebiliriz ki bütün tayfsal çiftler aslında birer potansiyel örtlen çift adaydır. Tayf çizgilerindeki kaymaların ölçülmesiyle elde edilen evrelendirilmiş dikine hız (RV) eğrileri yardımıyla sistemin tayfsal yörünge parametreleri hesaplanabilir (Hilditch 2001). Ancak iki bileşenin de çizgilerinin tayfta ayrı ayrı

görülebilmesi için toplam ışığa olan katkıları birbirine yakın olması gerekmektedir. Böyle olunca iki yıldızın da dikine hız eğrileri belirlenebilir ve kütle oranı hesaplanabilir. Eğer ışık katkıları oranı arasında büyük farklılık varsa sadece bir bileşenin çizgileri gözlenebilir ve ancak kütle fonksiyonu elde edilebilir. Kütle fonksiyonu ise bize tayf çizgisi görünmeyen bileşenin kütlelerinin alt sınırı hakkında bilgi verir. Baş ve yoldaş yıldızın kütleleri sırasıyla m_1 ve m_2 , yörünge eğimi de i olmak üzere kütle fonksiyonu Denklem 2.1’de verilmiştir.

$$f(m) = \frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2} \quad (2.1)$$

Yıldızların mutlak parametrelerinin elde edilmesi için fotometrik veya tayfsal analizler tek başlarına yeterli olmamaktadır. Ancak bu iki yöntemin birlikte kullanılması ile gerekli fiziksel niceliklere ulaşılabilir. Dolayısı ile yıldızlara ilişkin edindiğimiz bilgilere örten çift yıldız sistemleri sayesinde sahip olduğumuz söylenebilir. Çünkü tek yıldızlardan elde edilen bilgiler yıldız evriminin teorik modellerle test edilmesine olanak sağlayacak düzeyde duyarlı değildir. Günümüzde uzay teleskopları (KEPLER, GAIA vb.) ile yapılan yıldız gözlemlerinin yer tabanlı tayfsal gözlemler ile birleştirilmesi sayesinde çift yıldızlardan elde edilen kütle, sıcaklık, yarıçap ve yüzey çekim ivmesi gibi astrofiziksel bilgiler % 0.1 ve daha alt mertebelerinde hassasiyete kadar inmiştir (Debosscher vd 2013). Yer tabanlı fotometrik ve tayfsal gözlemlerle yıldız parametrelerinden elde edilen hassasiyet % 1 mertebesinde. Oysa tek yıldızlardan elde edindiğimiz bilgilerin duyarlılığı % 5’in üzerinde kalmaktadır (Bakış vd 2011).

2.1.1. MQ Centauri

MQ Cen (HD 309074, α (2000) = $11^{\text{sa}} 44^{\text{dk}} 16^{\text{sn}}$, δ (2000) = $-61^\circ 42' 59''$) yakın çift yıldız sisteminin fotometrik değişimleri ilk defa Gutchnik ve Prager (1934) tarafından sisteme ait fotoğraf plaklarındaki 0.4 kadirlik ($9^{\text{m}}.8 - 10^{\text{m}}.2$) değişimlerden keşfedilmiştir. Keşfinden bu yana az sayıda tutulum zamanlarının elde edildiği çalışma (örneğin Ogloza ve Zakrzewski 2004) yapılmıştır. Wolf ve Kern (1983) MQ Cen’in de aralarında bulunduğu, güney yarı küre yıldızlarının uvby- β fotometrik incelemesini yapmışlardır. Bu çalışmada sistemlerin elde edilen Strömgren renk indislerine yer verilmiştir. Tovmassian vd (1996) MIR Uzay İstasyonu’ndaki GLAZAR moröte teleskobu ile gözlenen Crux takımyıldızındaki oymakların verilerini kullanarak ön tayf türündeki yıldızların (O, B, A) dağılımlarını incelemişlerdir. Fotometrik V bandındaki maksimum parlaklığı $10^{\text{m}}.16$ olan (Tycho-2 Kataloğu’ndan alınmıştır) MQ Cen yine gözlenen 217 yıldız arasında yer alsa da sistemin çift yıldız doğasına ilişkin herhangi bir bilgi verilmemiştir. Sistemin şimdiye kadar fotometrik ışık eğrisi ve dikine hız eğrisi incelenmediğinden literatürde fiziksel özellikleri hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere elde edilen fotometrik ve tayfsal verilere göre MQ Cen’i, ışık eğrisinin biçimine göre Algol türü bir çift sistem olarak tanımlamak mümkündür. Çünkü minimum başlangıç ve bitişleri net bir şekilde ayırt edilmektedir ve minimumlar dışında toplam ışıktaki değişim göz ardı edilebilecek

niteliktedir. Buna rağmen maksimum ışığın aldığı evrelerdeki eğiklik bileşenlerden en az birinin küresellikten sapmış olabileceğine işaret etmektedir. MQ Cen'in literatürde 7 adet minimum zamanı vardır (Dvorak 2004, Ogloza ve Zakrzewski 2004). Bu sebeple O-C (gözlenen minimum zamanı ile hesaplanan minimum zamanı arasındaki fark) analizi yapmaya yetecek miktarda veri bulunmamaktadır. Dolayısı ile sistemin döneminin değişip değişmediği bu yolla belirlenememektedir. Ancak sistemin ışık eğrisi ve tayflarında da dönem değişiminin varlığına işaret edecek herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Bunların yanında sistemin bileşenlerine ait soğurma çizgileri tayflarda ayrı ayrı gözlenebildiğinden çift çizgili tayfsal çift (SB2) olarak kategorize edilebilir.

2.2. Oymaklar

Güneş komşuluğundaki parlak yıldızlar gökyüzünde ağırlıklı olarak iki ana disk grubunda toplanmışlardır. Bunlardan ilki galaksimizin düzlemi, diğeri de bu düzleme göre 18° 'lik eğime sahip olan kuşak yapısıdır (Gould 1879). Daha önce Herschel (1847) tarafından güney yarım kürede çıplak gözle yapılmış olan gözlemler sonucunda varlığına işaret edilmiş olsa da bu oluşum Gould Kuşağı olarak bilinmektedir. Bir süre sonra da bu oluşumun bol miktarda yıldızlararası madde kaynaklı olduğu ortaya konmuştur (Lindblad 1967, Sandquist Tamboulidas ve Lindblad 1988, Pöppel 1997). Halen doğası ve kökeni tam olarak anlaşılamamasına rağmen gözlemsel veriler Gould Kuşağı'nın Güneş'e en yakın yıldız oluşum kompleksi olduğuna işaret etmektedir (Sánchez vd 2007).

1900'lü yılların başlarında tayf çalışmalarının yaygınlaşmasıyla beraber yıldızların gökyüzündeki konumları incelendiğinde O ve B erken tayf türünden parlak yıldızların homojen bir dağılım sergilemediği, bunun yerine seyrek gruplar halinde bulundukları göze çarpmıştır. Kapteyn (1914, 1918a, 1918b, 1918c), Rasmuson (1921, 1927) ve Pannekoek'un (1929) sunmuş olduğu bu çalışmalara Cannon ve Pickering'in, temelleri 1870'lere dayanan, 1918 ile 1924 yılları arasında yayınladıkları yaklaşık 225.000 yıldızın ayrıntılı tayfsal sınıflamasını içeren katalog öncülük etmiştir. Henry Draper Kataloğu (HD) olarak literatüre kazandırılan bu çalışma daha sonra 1925-1936 ve 1937-1949 yılları arasında yayınlanan eklentiler ile birlikte parlaklıkları 9 kadire kadar inen 360.000 yıldızın tayfsal analizini kapsamaktadır. Gökyüzünün tamamına yakın bir bölümünün taranmış olması da yıldızların tayf türlerine göre uzayda nerede konumlandıkları hakkında istatistiksel veriye ulaşılmasına olanak sağlamıştır.

Ambartsumian (1947) ilk defa "association" (oymak) terimini kullanarak çok sayıda O ve B tayf türünden yıldız içeren bu grupların kütle yoğunluğunun $0.1 M_\odot \text{pc}^{-3}$ 'ten daha az olduğuna kanaat getirmiştir. Bu denli düşük yoğunluktaki yıldız topluluklarının ise galaktik çekimsel ivmelenmelere dayanıklı olamayacağı, kısa sürede dağılması gerektiği öne sürülmüştür (Bok 1934). Buna göre 2 pc çapında toplam kütlesi $500 M_\odot$ olan bir sistemin kurtulma hızı 1 km sn^{-1} mertebesinde olmalıdır (Ambartsumian 1954). Yani uzay hızı birkaç km sn^{-1} olan yıldızlar bile kurtulma hızına erişmiş olacak ve oymaktan uzaklaşmaya başlayacaktır. Hem bu hem de O türü yıldızların kütleleri gereği ömürlerinin çok kısa olması ve bu bölgelerde bolca bulunmaları sebebiyle oymakların genç oluşumlar (birkaç 10^7 yıl mertebesinde) olması gerektiği fikri ortaya çıkmıştır. Bu düşüncenin doğruluğu daha sonra renk-parlaklık diyagramlarından elde edilen yaşlar ile büyük kütleli yıldızların yaşlarıyla uyumlu

olması nedeniyle güç kazanmıştır. Ayrıca bir oymağın genç olması da ön tayf türü yıldızların kendilerini oluşturan yıldızlararası maddeden çok fazla uzaklaşmamış olması gerektiğini akla getirmektedir. Bunun üzerine Blaauw (1964) OB oymaklarının yıldızlararası madde ile ilişkisini ortaya koyan bir çalışma yayınlamıştır. Büyük moleküler bulutların gözlemleri de gerçekten bu grupların genellikle yıldız oluşum bölgelerinde veya yakın komşuluğunda bulunduklarını göstermektedir (Zuckerman ve Palmer 1974, Blitz 1980). McKee ve Williams (1997) moleküler bulutların ve oymakların boyutlarının fiziksel bir üst sınırı olduğuna işaret etmişlerdir ki bu da oymakların gözlenen karakteristik boyutlarının (~10-50 pc) oluştukları moleküler bulutun büyüklüğünün bir yansıması olduğu fikrini desteklemektedir. Yine de grupların fiziksel sınırları hakkında keskin sınırlar çekmek pek doğru olmayabilir çünkü oymakların yaşlandıkça genişleyip dağılmaya devam etmeleri ve gökyüzünde daha büyük hacimler kaplamaları beklenmektedir. Bu da oymak sınırlarının net bir şekilde belirlenmesi istendiğinde karşılaşılan zorluklardan biridir.

Tanımlayabildiği bütün oymakların sınırlarını, parlak üyeleri ile onların uzaklıklarını liste halinde sunan Ruprecht'in (1966) çalışması oymaklar üzerine oluşturulan katalogların ilklerindendir. Kullandığı terminolojinin Uluslararası Astronomi Birliği tarafından kabul gördüğü bu çalışma daha sonra yapılan eklentilerle "Yıldız Kümeleri ve Oymakları Kataloğu" (1981) ismiyle kitap haline getirilmiştir.

Galaksimizdeki oymak dağılımları üzerine yapılan çalışmalar galaktik spiral kolların yapısını ortaya koymuştur (Morgan vd 1953). Ayrıca galaksimizdeki yıldızlararası madde, yıldız rüzgarları ve süpernova patlamalarıyla kimyasal element yönünden hiç durmadan zenginleşmektedir. Oymaklar çoğunlukla moleküler bulutların komşuluğunda bulunduklarından Samanyolu'nda süregelen kimyasal evrim süreçlerinin araştırılması için ideal kaynaklardır (Brown vd 1999).

Mel'nik ve Efremov (1995) Güneş'in 3 kpc komşuluğundaki OB oymaklarının yeni bir kataloğunu oluşturmuşlardır. Buna göre bize en yakın oymağın yaklaşık 400 IY uzaktaki Scorpius-Centaurus grubu olduğu belirlenmiştir. Listelenen oymakların çaplarının ortalama 40 pc olarak hesaplandığı ve bunun da büyük moleküler bulutlarının ortalama boyutlarıyla iyi bir uyum sergilediği gösterilmiştir. Yine de erken tayf türünden yıldızların uzaklık tayini duyarlılıklarının yüksek olmaması nedeniyle katalogtaki grupların bakış doğrultumuzda olması gerekenden daha geniş alanlar kaplayabileceği de eklenmiştir. Parametrelerinin güvenilir olduğu düşünülen oymakların hız dağılımları 5.5 km sn^{-1} olarak bulunmuştur. Ulaştıkları sonuçlardan belki de en önemlisi oymakların yaşı ve boyutları arasında bir ilişkinin bulunmuş olmasıdır. Böylece kütle çekimiyle bağlı olmayan oymakların zamanla genişleyeceği savını güçlendiren bir delil ortaya konmuştur.

Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramı temel alınarak yapılan çalışmalar göstermiştir ki oymaklar alt gruplara ayrılabilirler (Blaauw 1964). Buna üyelerin yaşları ve bölgedeki yıldızların yıldızlararası madde ile olan etkileşimleri sebep olmaktadır (Blaauw 1964, Warren ve Hesser 1977, de Geus vd 1989). Ayrıca oymakların daha önce belirtildiği üzere açık kümeler ve birbirinden bağımsız yaygın bulutsular içerebildikleri bilinmektedir (Ambartsumian 1954). Açık küme ve oymak tanımları arasında keskin bir farklılık olmasa da oymakların daha kısa yaşam sürelerine sahip oldukları bilinmektedir.

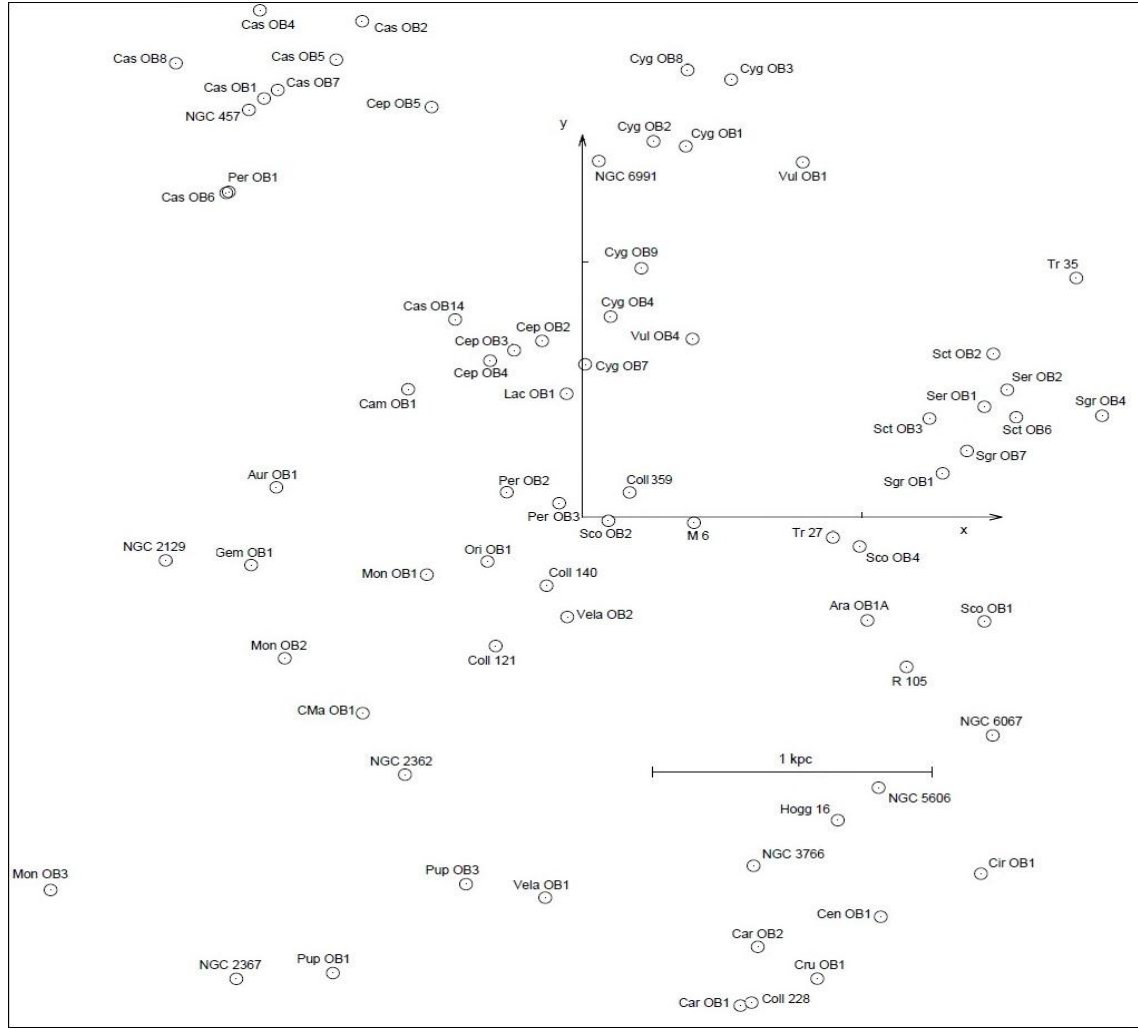
Yıldız kümelerinin daha kararlı yapılar oluşturması onların kökenlerinin oymaklarınkinden farklı olduğu anlamına gelmemektedir. Yalnızca oymakların zengin merkezi bölgelerinin birer kalıntıları olabilirler (Blaauw 1956).

OB oymakları sadece O ve B yıldızlarından oluşmazlar, aksine küçük ve orta kütleli çok sayıda yıldız da barındırmaktadırlar. Ancak bu tür yıldızların büyük kütleli yıldızlara göre çok daha sönük olmaları onların tespit edilmelerini zorlaştırmaktadır. Ambartsumian (1947) OB oymaklarının yanında yıldızların özelliklerine göre değerlendirme yaptığında bir de T oymaklarının varlığından bahsetmiştir. T oymakları çok sayıda H-R diyagramında henüz ana kola oturmamış, hidrostatik dengeye ulaşma yolunda ilerleyen T-Tauri tipi yıldızlar içermektedir. Bu oymaklar nadiren de olsa O veya B türü yıldızlar içerebilir. Bilinen en yakın örneklerinden biri Güneş'ten yaklaşık 140 pc uzaklıktaki Taurus-Auriga oymağıdır (Frink vd 1997). T oymaklarının ilgi çeken özelliklerinden biri bu gruplardaki T-Tauri yıldızlarının anakola oturmuş çift ve çoklu sistemlerden neredeyse iki kat daha fazla çoklu bileşene sahip olmalarıdır (Leinert vd 1993, Ghez vd 1993). Eğer durum böyle ise yıldızların yaşamlarına çift veya çoklu sistemlerde mi başladıkları sorusunun cevabına bu türden oymakların daha ayrıntılı araştırılmasıyla ulaşılabilir.

van den Bergh (1966) yansıma nebulalarındaki yıldızların bir kataloğunu oluşturmuş ve bu yıldız gruplarına R oymakları adını vermiştir. Racine (1968) bu katalogtaki yıldızların UBV fotometrelerini ve tayf türlerini incelemiş, elde ettiği verilerle de R oymaklarının varlığını kanıtlamayı başarmıştır. Bu oymaklardaki yıldızların OB oymaklarındaki yıldızlar kadar büyük kütleli olmaması ve dolayısı ile de onlar kadar yüksek ışınım basınçlarına sahip olmamaları sebebiyle etraflarındaki gaz ve tozu sistemden uzaklaştıramazlar. Bunun sonucu olarak çevrelerini sarmalayan yıldızlararsı maddeyi aydınlatırlar. Racine ve van den Bergh'e (1970) göre R oymakları galaktik spiral kolların belirlenmesi açısından OB oymaklarına göre daha fazla yarar sağlamaktadırlar. Çünkü galaktik düzlemdeki izdüşümün birim alanında sayıca bir hayli fazladır ve yerel sarmal kolların belirlenmesinde önemli rol oynamaktadırlar.

Oymaklardaki yıldızlar yaklaşık olarak aynı uzay hareketine sahiptirler ve aralarındaki hız dağılımları saniyede yalnızca birkaç kilometre mertebesindedir (Mathieu 1986, Tian vd 1996). Bu da hız uzayında uyumlu yapılar göstermeleri şeklinde kendini göstermektedir (de Zeeuw vd 1999). Üyelerin bu ortak hareketi, öz hareket vektörlerinin gökyüzü düzleminde tek bir noktaya doğru yöneldikleri şeklinde görülür (Blaauw 1946, Bertiau 1958). Böylece yıldızların öz hareketleri gözlenerek üyelerin belirlenmesini mümkün kılar. de Zeeuw vd (1999) yakınsak nokta metodu (de Bruijne 1999) olarak adlandırılan bu yöntemi duyarlı Hipparcos konum, öz hareket ve paralaks verilerine uygulayarak yakın oymakları kataloglamıştır. Bilinen oymakların galaktik düzlemdeki izdüşümleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Yıldız oluşum bölgelerindeki yıldızların neredeyse tamamının çift ve çoklu sistemlere üye olmasının rastlantı olmadığı, aksine yıldız oluşum sürecinin bir özelliği olduğu yönünde sonuca varan çalışmalara Brown (2001), Bouy vd (2006) ve Kouwenhoven vd (2007) yaptıkları araştırmalar örnek olarak gösterilebilir. Hensberge vd (2007) ile Bakış vd (2007) tarafından ön tayf türündeki yıldızların analizi sonucunda ulaşılan bilgiler bu teoriyi destekler niteliktedir.



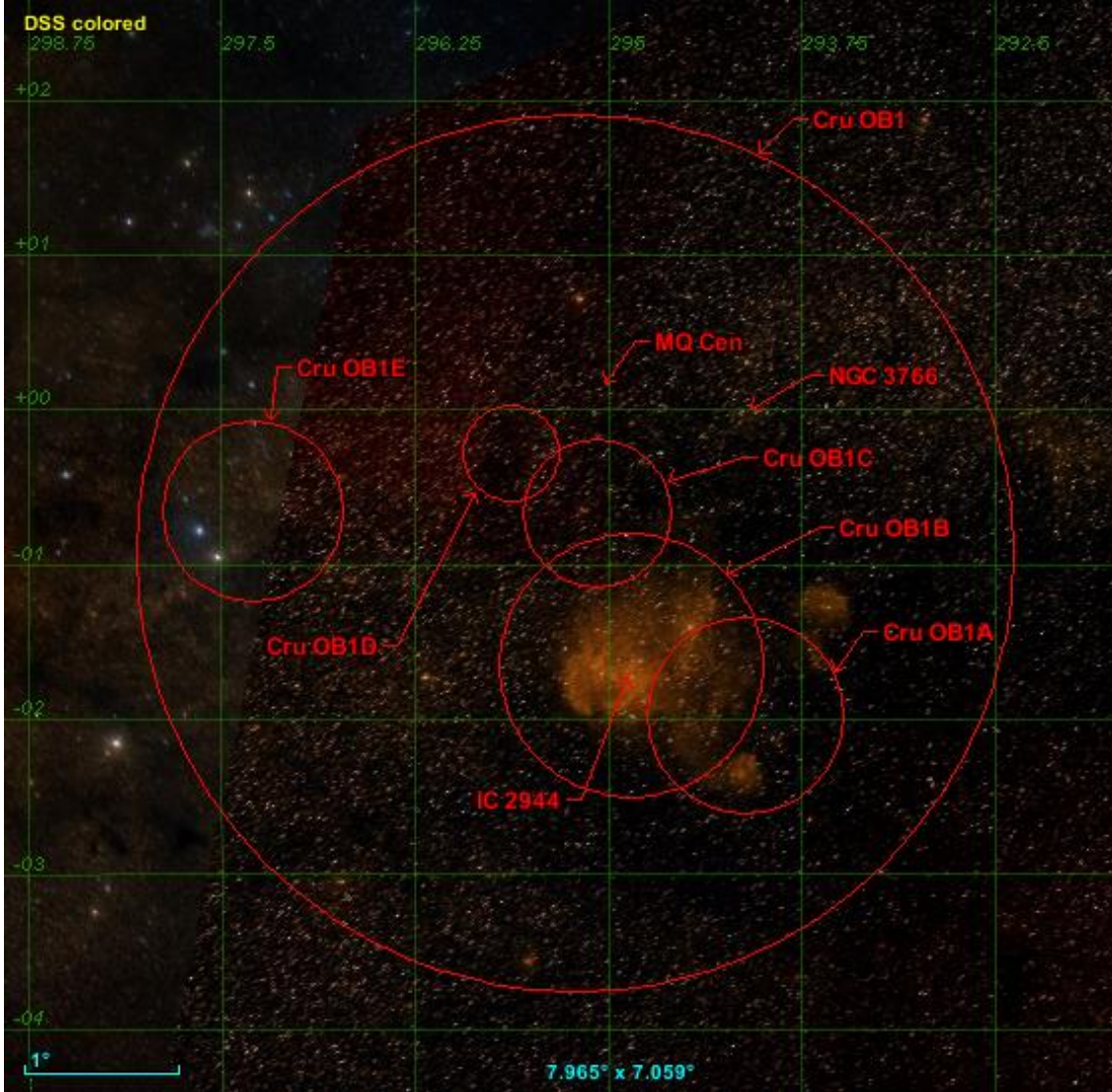
Şekil 2.1. Güneş'ten 3000 parsek uzaklık içinde bilinen oymakların galaktik düzlem üzerindeki dağılımı (Bakış vd 2015)

Nitschelm (2003) Sco-Cen yıldız oluşum bölgesindeki tüm çift ve çoklu sistemlerin kataloğunu oluşturmuş ve ön tayf türünden belirlediği yıldızların tayfsal gözlemlerini yaparak yeni çoklu sistemlerin belirlenmesine devam etmiştir. Hensberge vd (2007) yine aynı bölgede biri çift (V883 Centauri) diğeri çoklu (η Muscae) olan iki sistemi tayfsal ve fotometrik olarak incelemişlerdir. Bakış vd 2007'de yayınlanan çalışmalarında η Mus'un ayrıntılı fotometrik ve tayfsal analizini yaparak sistemde o zamana kadar keşfedilmemiş bir diğer bileşenin varlığını ortaya koymuş ve sistemin bulunduğu yıldız oluşum bölgesinin özellikleriyle uyumluluğunu kinematik olarak incelemişlerdir. Bu tezde kullanılacak yöntemlere en iyi referans olarak Bakış vd'nin (2011, 2012, 2013, 2014) yukarıda bahsedilen çalışmada uyguladıkları analiz teknikleri gösterilebilir. Yine V. BAKIŞ (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada¹ V410 Pup isimli çoklu sistemine ait uzak bir bileşenin varlığına ilk kez işaret edilmiştir. Hatta bu bileşenin de tek bir yıldız olmadığı, aslında onun da bir çift sistem olduğu

¹ Özel sözlü iletişim (2015). Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi B-Blok Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü Zemin Kat Oda:BZ4 Kampüs/ANTALYA

Tovmassian vd (1996) Cru OB1 doğrultusunda Glazar Uzay Teleskobu ile gerçekleştirilen, gökyüzünde 12° karelik bir alandaki 217 yıldızın 1640 Å dalgaboyundaki gözlemlerini kullanarak bu bölgede hatırı sayılır bir oymak varlığı belirlemişlerdir. 1200, 1500, 2600, 2700, 4000 pc uzaklıklarda beş adet O oymağı (Ambartsumian 1954) ve 140, 400, 600, 850 pc uzaklıklarda dört adet B oymağı (Tovmassian 1991) tespit edilmiştir. Bu alt gruplardan 600 ve 800 pc uzaklıkta olanlar ile 1200 ve 1500 pc uzakta olanların aslında sırasıyla ortalama 700 ve 1300 pc uzaklıkta bulunan iki oymaktan oluşuyor olabileceğine değinilmiştir. Oymak sınırları içinde

yıldızlararası tozun görece küçük moleküler bulutlar oluşturduklarına, gruplar arasındaki bölgelerde ise yıldızlararası tozun neredeyse hiç bulunmadığına dikkat çekilmiştir. Oymağın uzay hız bileşenleri ise Tetzlaff vd (2010) tarafından sırasıyla $(U, V, W) = (-43.7 \pm 1.6, -16.6 \pm 1.9, -6.2 \pm 0.8)$ km/sn olarak belirlenmiştir. Crux oymağının alt grupları ile MQ Cen çift sisteminin uzaydaki konumları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Crux OB1 oymağı ile alt gruplarının ALADIN programı (Bonnarel vd 2000) kullanılarak çizdirilmiş galaktik konum ve sınırları

3. MATERYAL VE METOT

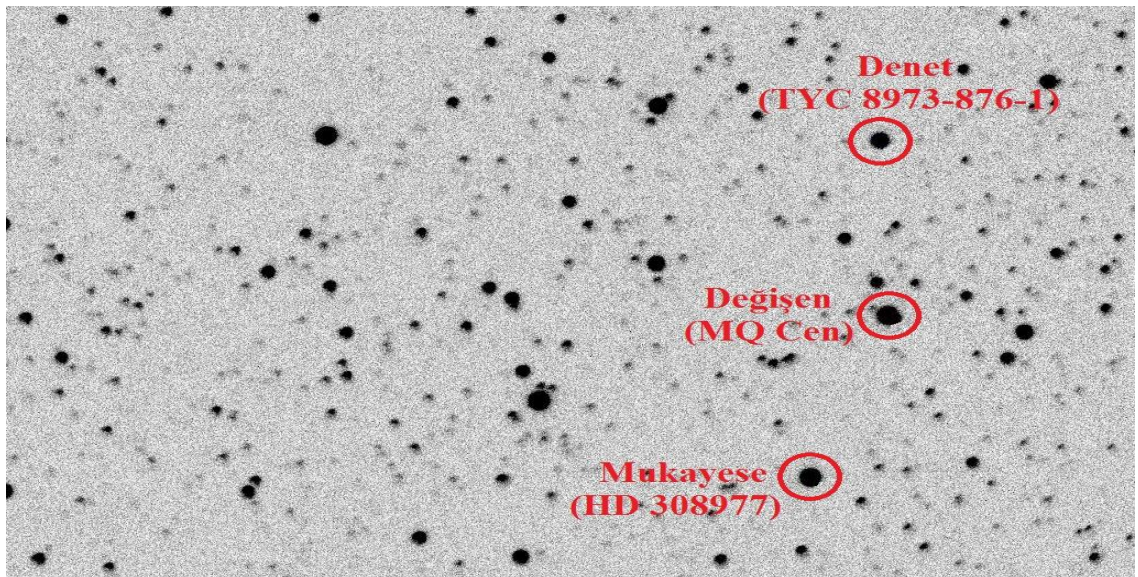
3.1. Kullanılan Veriler

Bu tez çalışmasında kullanılacak olan materyaller fotometrik ve tayfsal veriler olarak ikiye ayrılmıştır. MQ Cen'e ait fotometrik veriler Güney Afrika Astronomi Gözlemevi'nde (SAAO), tayflar ise Avrupa Güney Gözlemevi'nde (ESO) yapılmış gözlemlerden elde edilmiştir. Bu gözlemlerinde kullanılan teleskop ve dedektörlere ait bilgiler analizleri yapılacak verilerin özellikleri ile birlikte ilgili alt başlıklarda verilmiştir.

3.1.1. Fotometrik veriler

MQ Cen çift sisteminin literatürde fotometrik çalışması yoktur. Bu sebeple analizler için Güney Afrika'nın Sutherland şehrinden yaklaşık 15 km uzaklıkta ($32^{\circ}23'14''$ Güney, $20^{\circ}48'42''$ Doğu) 1798 m rakımda konumlanmış SAAO'daki 50 cm çaplı aynalı teleskop ve ona bağlı Strömgren vby filtreli Moravian Instruments G2-400 model CCD (Charge Coupled Device) kamera ile yapılan çok bantlı gözlemlerden yararlanılmıştır. MQ Cen burada Dr. Miloslav ZEJDA tarafından Mayıs 2011 ile Mart 2012 gözlem dönemlerinin her ikisinde de 9 gün olmak üzere toplam 18 gece gözlenmiştir. Sistemin ışık eğrileri Strömgren v, b, y bantlarında 3.7 günlük yörünge dönemi boyunca uygun bir dağılımla elde edilmiştir.

Fotometrik verilerin indirgenmesinde Motl (2007) tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu C-MUNIWIN isimli program kullanılarak açıklık (aperture) fotometrisi yapılmıştır. Mukayese yıldızı olarak HD 308977 (α (2000) = $11^{\text{sa}} 44^{\text{dk}} 11^{\text{sn}}$, δ (2000) = $-61^{\circ} 45' 22''$), denet yıldızı olarak da TYC 8973-876-1 (α (2000) = $11^{\text{sa}} 44^{\text{dk}} 13^{\text{sn}}$, δ (2000) = $-61^{\circ} 40' 32''$) seçilmiştir ve MQ Cen'in diferansiyel parlaklıkları bu yıldızlara göre belirlenmiştir. Seçilen yıldızların SAAO'da yapılan gözlemlerinden örnek bir CCD görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.

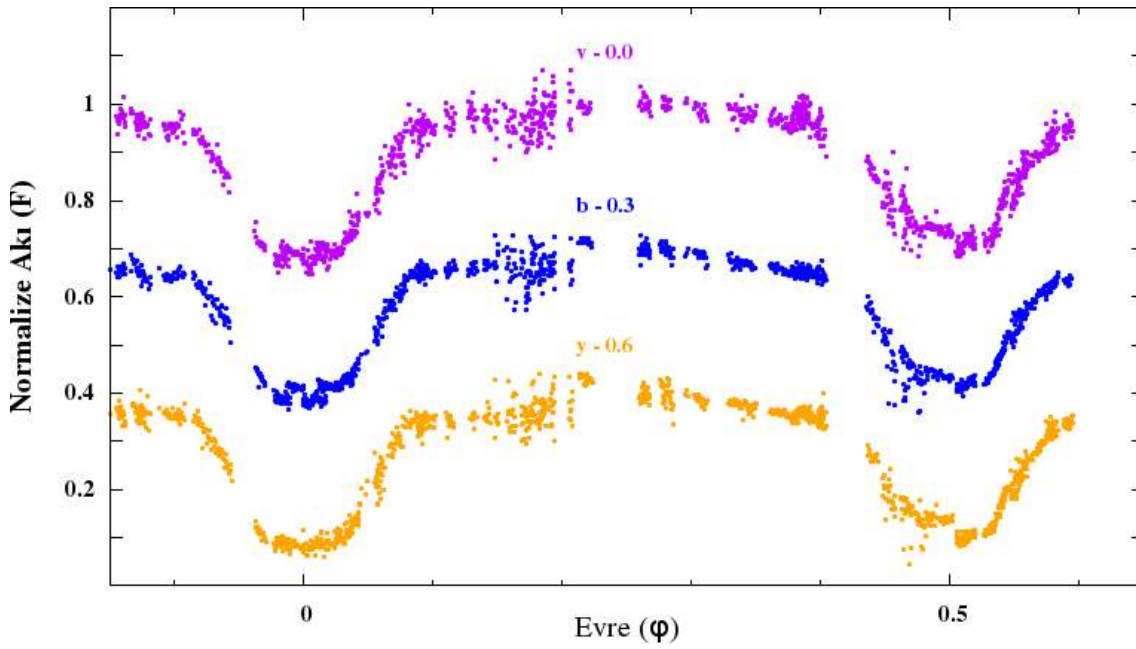


Şekil 3.1. MQ Cen'in fotometrik gözlemlerinden örnek bir CCD görüntüsü

MQ Cen'e ait güncel doğrusal ışık elemanları Kreiner Veritabanı'ndan (Kreiner 2004) alınmıştır. Sistemin Strömgren v filtesiyle 1436, b filtesiyle 1473 ve y filtesiyle elde edilmiş 1453 gözlem verisi Denklem 3.1'de verilen efemerise göre evrelendirilmiştir. Buna göre üç farklı fotometrik banttan oluşturulan ışık eğrileri Şekil 3.2'de sunulmuştur.

$$\text{Min } I (\text{HJD}) = T_0 + P \times E = 2452503.541(2) + 3.686961(4) \times E \quad (3.1)$$

Burada T_0 referans minimum zamanını, P gün biriminde sistemin yörünge dönemini, E referans minimum zamanından geçen çevrim sayısını ve parantez içindeki değerler en son hanedeki hata payını temsil etmektedir.



Şekil 3.2. MQ Cen'in v, b ve y fotometrik bantlarında elde edilmiş ışık eğrileri

Şekilde, minimum derinliklerinin birbirine yakın, maksimumların neredeyse düz olduğu ve bazı evrelerde ise gözlem yapılamadığı görülmektedir. Işık eğrilerindeki bu boşluklar analizi etkileyebilecek kritik evrelerde bulunmadığından çözüm sırasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

3.1.2. Tayfsal veriler

MQ Cen'in tayfsal verileri Şili'de bulunan ESO'nun La Silla Gözlemevi'nin kaynaklarından yararlanılarak elde edilmiştir. Atacama çölünün güneyindeki La Serena şehrinin yaklaşık 160 km yakınında bulunan gözlemevi (29°15'15" Güney, 70°44'22" Batı) deniz seviyesinden 2400 m yükseğe konumlanmıştır. Dünya'nın en kurak bölgelerinden birinde inşa edilmiş bu gözlemevi aynı zamanda şehir ışıklarından çok uzaktır. Astronomların baş düşmanı olan tozun da neredeyse hiç olmaması gözlem kalitesini oldukça arttırmaktadır. 1964'te kurulmasına onay verilen ESO'nun en önemli gözlem bölgesinde şu an 18 adet teleskop bulunmaktadır.

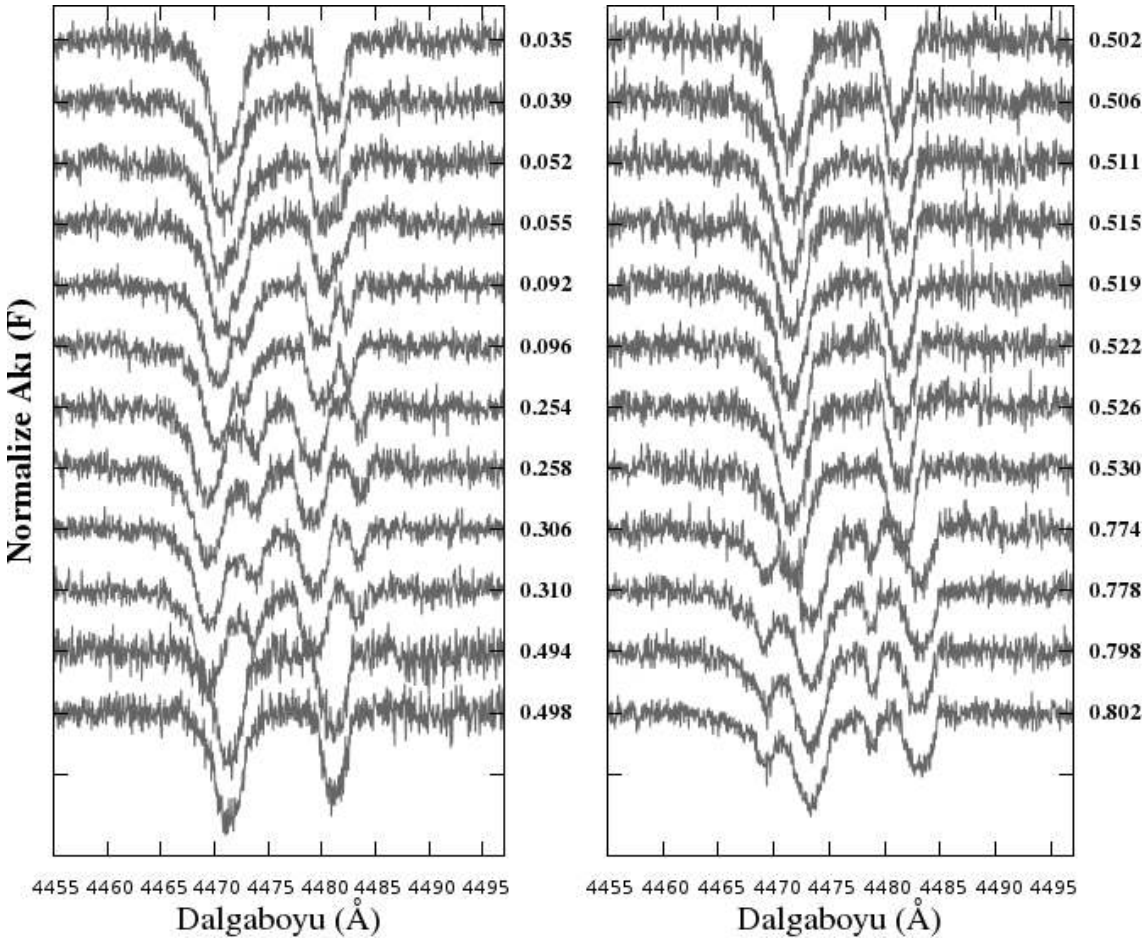
Gözlemlerde ESO ve Max Plank Enstitüsü'nün ortak kullanımında olan MPG/ESO teleskobu kullanılmıştır. 1984'ten bu yana faaliyette olan ekvatoryal çatal montajlı teleskop 2.2 m çaplı aynaya sahiptir. Teleskobun odak oranı $f/8.0$ olup görüş alanı 33 yay dakika kareyi kapsamaktadır. MQ Cen'in tayf gözlemleri bu teleskoba bağlı FEROS tayfçeker (The Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph) ile yapılmıştır. Elektromanyetik spektrumun $3500\text{\AA} - 9200\text{\AA}$ dalgaboyları aralığında 39 Echelle dizisinde veri toplayan tayfçekerin çözünürlüğü $R \sim 48000$ 'dir. Dedektör olarak kullanılan CCD fonksiyonel çalışma sıcaklığı $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan $15\text{ }\mu\text{m}$ piksel boyutlu inceltirilmiş 2048×4096 ($2k \times 4k$) pikseli EEV kamerasıdır. Pozisyonu sabitlenmiş ve ısı kontrolü sağlanmış bir odada bulunan tayfçeker gökyüzündeki izdüşümleri $2''$ ve aralarında $2.9'$ ayrıklık olan iki fiber kablo ile beslenmektedir. Aynı pozlama süresince Yıldız-Gök veya Yıldız-Kalibrasyon tayflarını gözlemeye olanak sağlayan FEROS'un dikine hız ölçüm hassasiyeti $\sim 30\text{ m/sn}$ civarındadır. 2010 yılının Nisan ayında Dr. Christian Nitschelm tarafından gerçekleştirilen gözlemlerde sisteme ait toplam 25 adet yüksek çözünürlüklü tayf elde edilmiştir. Ardışık ikiyeşerli görüntü şeklinde alınan tayflardan bir tanesi (f086010000) çok gürültülü olduğu için kullanılmamıştır. Sisteme ait gözlem kütüğü Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. MQ Cen sisteminin tayfsal gözlem kütüğü

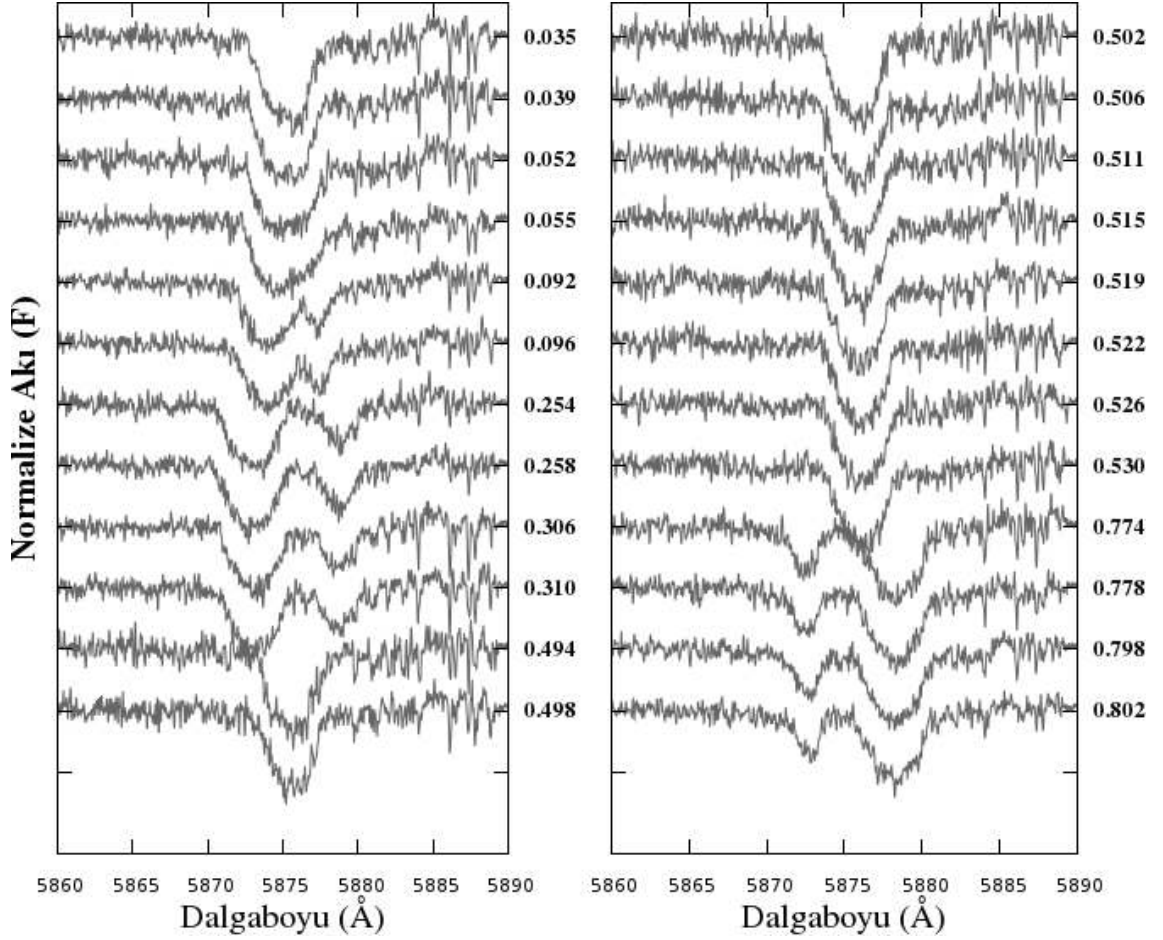
No	Dosya Adı	Poz Süresi (sn)	Gözlem Zamanı (HJD)	Evre (ϕ)
1	f032110000	1200	2455647.61319	0.2536
2	f032210000	1200	2455647.62770	0.2575
3	f044610000	1200	2455648.49829	0.4937
4	f044710000	1200	2455648.51279	0.4976
5	f044810000	1200	2455648.52731	0.5015
6	f044910000	1200	2455648.54182	0.5055
7	f045010000	1200	2455648.55802	0.5099
8	f045110000	1200	2455648.57254	0.5138
9	f045210000	1200	2455648.58706	0.5177
10	f045310000	1200	2455648.60157	0.5217
11	f045410000	1200	2455648.61623	0.5256
12	f045510000	1200	2455648.63075	0.5296
13	f058210000	1200	2455649.52897	0.7732
14	f058310000	1200	2455649.54348	0.7771
15	f058810000	1200	2455649.61886	0.7976
16	f058910000	1200	2455649.63335	0.8015
17	f071910000	1200	2455650.49191	0.0344
18	f072010000	1200	2455650.50641	0.0383
19	f072310000	1200	2455650.55217	0.0507
20	f072410000	1200	2455650.56668	0.0546
21	f073310000	1200	2455650.70303	0.0916
22	f073410000	1200	2455650.71755	0.0956
23	f085410000	1200	2455651.49197	0.3056
24	f085510000	1200	2455651.50648	0.3095
25	f086010000	1200	2455651.59586	0.3338

ESO halihazırda, FEROS'un özelliklerine göre, veriyi bilimsel çalışmalarda kullanılabilecek kalitede indirgeyen otomatik programlar (pipeline) geliştirmiştir. Hatta bu programlar gözlem esnasında bile gözlemcinin, ham verinin hızlı bir ön indirgemesini yaparak, kontrol etmesine imkân sağlamaktadır. Gözlem sonunda ise alınan veriler önce bu programlarla otomatik olarak indirgenmesi yapıldıktan sonra arşivlenmektedir. Ayrıca indirgeme sırasında dalgaboyu kalibrasyonu da uygulanmış olan tayflar için Güneş sisteminin kütle merkezine göre yapılması gereken düzeltmeler yine bu otomatik süreç sonunda dalgaboylarına eklenmektedir. Dolayısı ile bu tez çalışmasında elimizde bulunan tayflara gerçekleştirilmesi gereken herhangi bir indirgeme işlemi olmadığından, yalnızca süreklilik düzeltmesi yapılarak doğrudan analiz aşamalarına geçilmiştir.

MQ Cen'in tayfındaki bazı karakteristik çizgiler ve bunların yörünge çevrimi boyunca gösterdiği Doppler yer değişimleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te sunulmuştur.

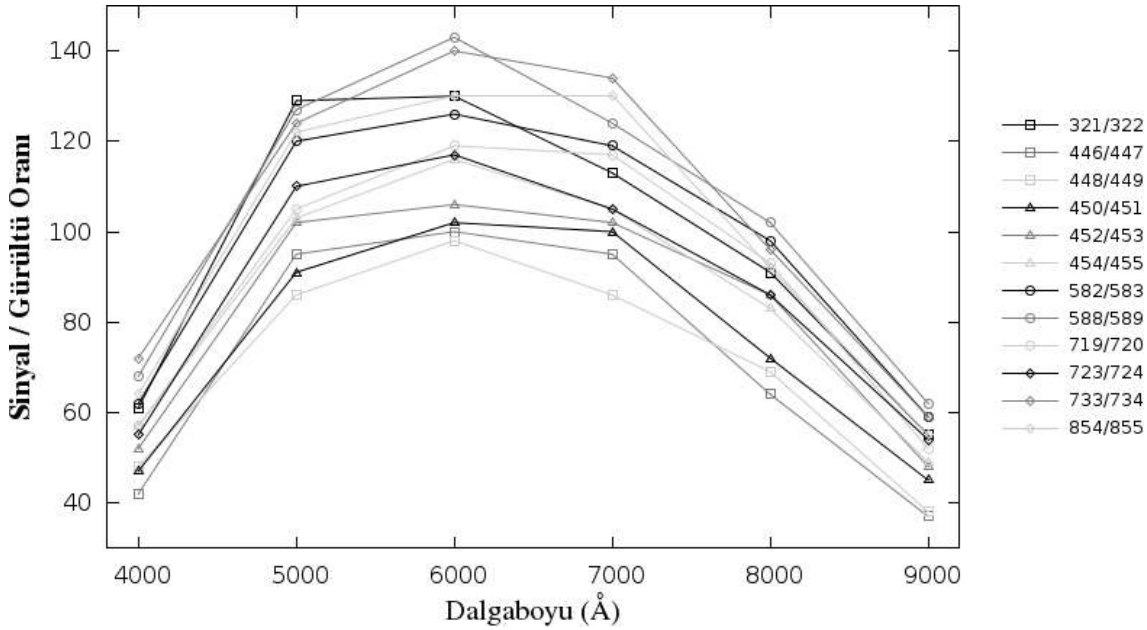


Şekil 3.3. MQ Cen sisteminin 4471Å (He I) ve 4481Å (Mg II) çizgilerine ait 0 ile 0.5 arasında evreye göre sıralı tayfları (solda), 0.5 ile 1.0 arasında evreye göre sıralı tayfları (sağda), tayfların gözleendiği evreler panellerin sağ kenarlarına yerleştirilmiştir



Şekil 3.4. MQ Cen sisteminin 5876Å (He I) çizgisine ait 0 ile 0.5 arasında evreye göre sıralı tayfları (solda), 0.5 ile 1.0 arasında evreye göre sıralı tayfları (sağda), tayfların gözlendiği evreler panellerin sağ kenarlarına yerleştirilmiştir

Tayfların Sinyal/Gürültü (S/G) oranları ardışık ikililer şeklinde gözlenen yıldız tayfları birbirine bölünerek ölçülmüştür. Birbirini takip edecek şekilde çok kısa zaman aralıklarında alınan iki tayf aralarındaki evre farkı çok küçük olacağından tayf çizgileri neredeyse konumlarını hiç değiştirmeyecektir. Böylece bölme işlemi sayesinde tayf çizgilerini yok etmek mümkündür. Bu sebeple bölümden kalan süreklilikten S/G oranını elde etmek amaçlanmıştır. Sistemin tayflarında farklı dalgaboylarından okunan S/G oranlarının nasıl bir dağılım sergilediğini gösteren grafik Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, örneğin H_{α} çizgisinin bulunduğu tayf dizilerinin S/G oranları yaklaşık 100 ile 140 arasında değişmektedir. Tayfların diğer bölgeleri için S/G grafiği bu şekilde yorumlanmalıdır.



Şekil 3.5. MQ Cen tayflarının farklı dalgaboyu bölgelerindeki Sinyal / Gürültü oranları

3.2. Kullanılan Yöntemler

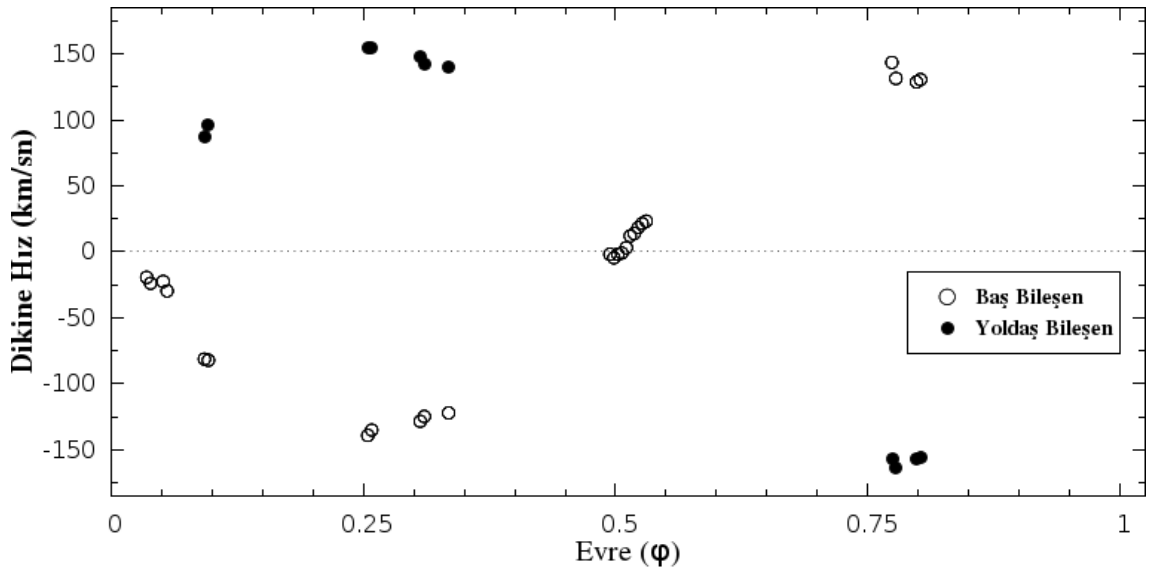
Bu bölümde indirgenmiş fotometrik ve tayfsal verilerin analizlerinde kullanılan yöntemlere değinilmiştir. MQ Cen'in mutlak parametrelerine ulaşmak için bu tez çalışmasında izlenen yol şu şekilde özetlenebilir: İlk aşamada süreklilik düzeltmesi yapılmamış halde bulunan tayfların normalizasyonu yapılmıştır. Dalgaboyu kalibrasyonu ve normalizasyonu yapılmış tayflardan dikine hızlar ölçülmüştür (Şekil 3.6). Evrelere göre oluşturulan dikine hız eğrileri yardımıyla tayfsal yörünge parametrelerine yaklaşık olarak ulaşılmıştır. Böylece gerekli başlangıç parametreleri belirlendiğinden bileşke tayfin bileşenlerine ayrıştırılması mümkün olmuştur (Bkz. Şekil 3.10). Sistemin tayflarına bir ön ayıklama çalışması yapıp yeni tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir. Ancak bu parametrelerin daha duyarlı bir şekilde hesaplanabilmesi için bileşenlerin ışık katkılarının da hesaba dahil edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple sistemin ışık eğrisi analizi yapılarak bileşenlerin hem göreceli parametreleri hem de v , b ve y bantlarında her evredeki ışık katkı oranları belirlenmiştir. Daha sonra bu ışık katkıları da hesaba katılarak bileşke tayflar yeniden ayıklanmıştır. Bu sayede hem çok daha duyarlı yörünge çözümüne hem de çift yıldız sistemindeki baş ve yoldaş yıldızın ayrı ayrı tayflarına erişilmiştir. Bu noktadan sonra ayrıştırılmış tayflarla, tayftaki çizgilere Kurucz (1993) model atmosferleri yardımıyla en iyi uyacak şekilde oluşturulan sentetik tayflar karşılaştırılmıştır. Dolayısı ile her iki yıldızın da sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve dönme hızlarının izdüşümü gibi önemli nicelikler belirlenmiştir. Fotometrik ve tayfsal analizlerden elde edilen tüm fiziksel özellikler birleştirilerek sistemin mutlak parametreleri türetilmiştir. Buna göre baş ve yoldaş yıldız H-R diyagramındaki konumlarına yerleştirilmiştir. Bileşenler için teorik evrim yolları belirlenmiş ve çizdirilen izokron eğrilerine göre yıldızların yaşı tayin edilmiştir. Sistemin hız bileşenleri de hesaplandıktan sonra artık elimizde bulunan MQ Cen'e ait bilgiler literatürde mevcut olan Crux OB1'in özellikleriyle karşılaştırılarak sistemin

oymakla olan ilişkisi ortaya konmuştur. İlerleyen bölümlerde bahsi geçen analiz aşamalarının detayları verilmiştir.

3.2.1. Dikine hız ölçümleri

Dikine hız eğrilerinin oluşturulmasından önce tayflarda süreklilik düzeltmesinin yapılması gerekmektedir. Bunun için National Optical Astronomy Observatories (NOAO) tarafından dağıtılan IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) yazılımı kullanılarak süreklilik üzerinde seçilen bölgelere ikinci ya da üçüncü dereceden polinom fitleri geçirilmiştir. Tayflar, sürekliliği en iyi temsil eden fonksiyonlara bölünmek suretiyle normalize edilmiştir.

Tayfların bileşenlerine ayrıştırılması yönteminde tayfsal yörünge parametrelerinin önceden yaklaşık olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple ilk önce sistemin dikine hız eğrisi elde edilmelidir. Elementlere ait tayf çizgilerinin National Institute of Standards and Technology (NIST) veritabanından alınan refereans dalga boylarına göre tayftaki çizgilerin Doppler kaymaları ölçülerek sistemin dikine hız eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 3.6). İlk etapta dikine hızların okunması için diğerine göre daha duyarlı sonuçlar veren iki boyutlu çapraz eşleme yöntemi (2D CCF) yerine tayf çizgilerine Voigt fonksiyonu fitlerinin geçirilmesi tercih edilmiştir. Bunun sebebi MQ Cen sistemindeki yıldızların tayf çizgilerinin bileşke tayfta kolaylıkla ayırt edilebilir olmasıdır. Buna ek olarak söylenebilir ki bu aşamadaki amaç nihai tayfsal yörünge parametrelerinin elde edilmesi değil, tayfın bileşenlerine ayrıştırılması yönteminde kullanılmak üzere gerekli başlangıç parametrelerinin elde edilmesidir.



Şekil 3.6. MQ Cen sisteminin bileşenlerinin evreye göre sıralanmış dikine hızları

MQ Cen SB2 türü bir tayfsal çift sistem olduğu için bileşenlerin ayrı ayrı gözlenebilen tayf çizgilerine Voigt fonksiyonu fit edilmiş ve çizgilerin merkezinin bulunduğu dalga boyu belirlenmiştir. Evreye göre birbirine yaklaşıp iç içe geçen tayf çizgilerinin merkezi dalga boyları IRAF'ın “deblend” fonksiyonu yardımıyla ölçülmüştür. Tayf çizgilerinin konumları belirlendikten sonra bu konumların,

Denklem 3.2’de gösterildiği üzere, ilgili çizgilerin NIST veritabanından alınmış laboratuvar dalgaboylarına göre değişimlerinden o evredeki dikine hızlara ulaşılmıştır.

$$RV = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times c \quad (3.2)$$

Burada λ ilgili tayf çizgisinin ölçülen dalgaboyu, λ_0 o çizginin laboratuvar dalgaboyu ve c de ışık hızıdır.

Helyum, Magnezyum ve Silisyum fotosferik çizgilerinden (4471Å He I, 4481Å Mg II, 5055Å Si II, 5876Å He I, 6678Å He I) yapılan ölçümlerle dikine hız eğrileri oluşturulmuş ve dikine hız eğrilerinden yörünge parametreleri elde edilmiştir. Çözümlerde Nelder ve Mead (1965) tarafından geliştirilen Downhill Simplex metodu kullanılmıştır. İlk bakışta MQ Cen’in ışık eğrisinde ve dikine hız eğrisinde yörünge basık olduğuna işaret eden bir bulgu dikkat çekmese de sistemin dışmerkezliği (e) araştırılmıştır. Bunun için beş ayrı çizgiden yapılan ölçümlerle oluşturulmuş dikine hız eğrileri hem $e = 0$ olacak şekilde sabit tutulup hem de serbest bırakılarak ikiye kez çözülmüştür. Bu yolla ayrı ayrı elde edilen parametrelerin ortalaması alınarak çözüme ulaşılmıştır. Ancak e ’nin serbest olduğu çözümlerde görülmektedir ki sistem için hesaplanan e değeri belirlenen hata payından daha küçüktür. Dolayısı ile sistemin çember yörüngeye sahip olduğu düşüncesi güçlenmiştir. Sonraki süreçte tayfların bileşenlerine ayrılması için gereken başlangıç parametreleri olarak çember yörünge için belirlenmiş nicelikler kullanılmıştır.

3.2.2. Işık eğrisi analizi

MQ Cen’in ışık eğrisi analizi Wilson-Devinney (WD) kodu ile gerçekleştirilmiştir (Wilson ve Devinney 1971, Wilson 1994). Örtün çift yıldızların yörünge çözümünde en çok kullanılan programlardan biri olan WD, Roche geometrisine göre ışık eğrilerini modellemektedir. Kopal (1955) tarafından literatüre kazandırılan Roche modeli yaklaşımı çift yıldız sistemindeki bileşen yıldızların eşpotansiyel yüzeyler halinde temsil edilmesine olanak verir. Bu temelde, programda gözlemsel veriler teorik eşpotansiyel yüzeylerle karşılaştırılarak bileşen yıldızlara ait fiziksel ve geometrik parametreler belirlenmektedir. Dolayısı ile çözüm uzayında parametreler iterasyonlarla (diferansiyel düzeltmeler) taranıp gözlemsel veriyi en iyi temsil eden model çözüm olarak seçilmektedir. Bu yolla bileşenlerin etkin sıcaklıkları ($T_{1,2}$), ışık katkıları ($L_{1,2}$), göreceli yarıçapları ($r_{1,2}$), yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$) ve yörünge eğimi (i) gibi nicelikler belirlenebilmektedir. WD bunun yanında aynı anda farklı fotometrik bantlarda elde edilmiş ışık eğrilerini analiz etmeye olanak sağlamaktadır. Böylece çok bantlı gözlemleri temsil eden ortak bir sonuç elde edilebilir.

Işık eğrisi çözümü için önce programa girilecek başlangıç parametreleri belirlenmelidir. Özellikle baş bileşenin etkin sıcaklığının doğru belirlenmiş olması çok önemlidir. Çünkü WD baş bileşenin etkin sıcaklığına göre yoldaş bileşenin etkin sıcaklığını ışık eğrisindeki minimum derinliklerinden hesaplar. Baş yıldızın sıcaklığı T_1 ’i elde etmek için Wolf ve Kern (1983) tarafından MQ Cen için verilen $\phi = 0.762$ evresinde gözlenmiş Strömgren renk indislerinden (Strömgren 1956) yararlanılmıştır

(Denklem 3.3, 3.4, 3.5, 3.6). Bu hesaplama için açık kaynak kodlu R programlama dilinde¹ geliştirilmiş “uvbybeta” adlı program kodu kullanılmıştır. R projesinin resmi internet adresinden erişilebilen “astrolibR” kütüphanesinde bulunan program, Moon ve Dworetsky (1985) tarafından sunulan yöntemi kullanarak Strömngren renklerinden kızıllaşmadan arındırılmış renkleri, metal bolluğunu ve etkin sıcaklıkları hesaplamaktadır. Bu yolla renklerden elde edilen sıcaklık $T_1 = 17500$ °K’dir. Ancak ilerleyen bölümlerde de bahsedileceği üzere bu sıcaklık tayf modelleri ile elde edilen sıcaklıkla birebir uyum içerisinde değildir. Bu ayrım, sıcaklığın belirlendiği renk indislerinin her iki bileşenin de katkısını içermelerinden kaynaklanmış olabilir. Bu nedenle ilk başta belirlenen T_1 , tayflardan elde edilen sıcaklıkla değiştirilerek sistemin ışık eğrisi tekrar analiz edilmiştir. Bunların yanı sıra fotometrik analiz için kütle oranının ($q = m_2/m_1$) da önceden iyi hesaplanmış olması gereklidir. Bu oran çoğu zaman kütle taraması yöntemiyle belirlense de bu metotla hesaplanan q ’nun güvenilirliği tartışmaya açıktır. Ancak elimizde, kullanılan materyallerde belirtildiği üzere, bileşenlerin ikisinin de dikine hız eğrileri bulunduğundan, doğrudan daha duyarlı sonuç veren tayftan belirlenmiş kütle oranına ($q = K_1/K_2$) ulaşılmıştır (Bkz. Çizelge 4.4).

$$b - y = 0.183 \quad (3.3)$$

$$m_1 = (v - b) - (b - y) = 0.019 \quad (3.4)$$

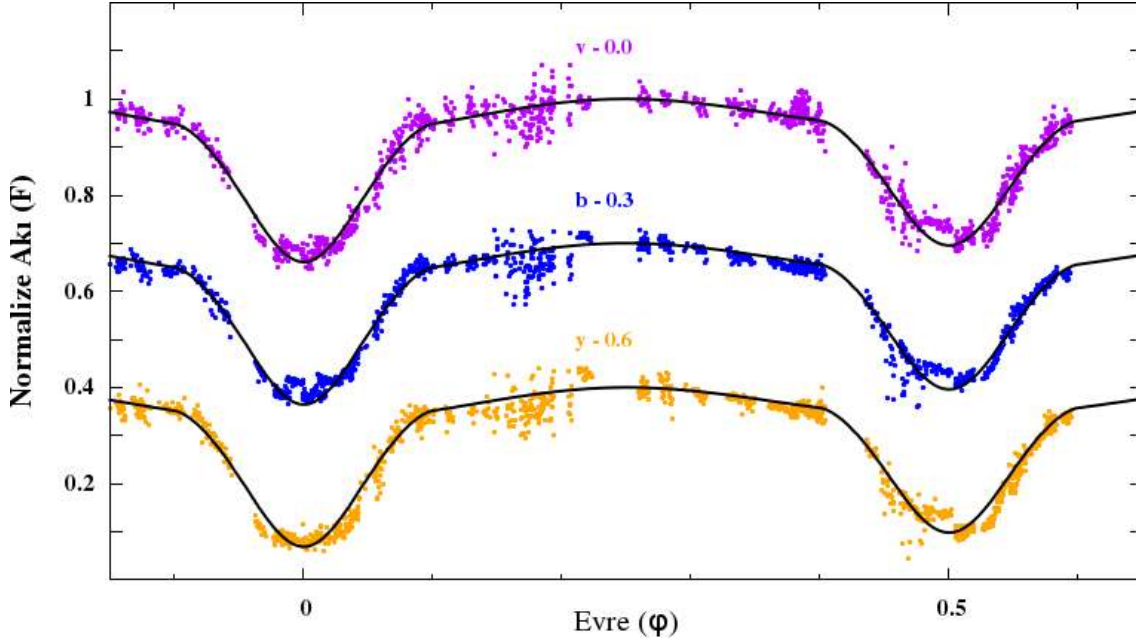
$$c_1 = (u - v) - (v - b) = 0.489 \quad (3.5)$$

$$\beta = \beta_{\text{dar}} - \beta_{\text{geniş}} \quad (3.6)$$

Buradaki bağıntılarda u , v , b ve y Strömngren fotometrik parlaklıkları, m_1 çizgi sıklığı etkisinin (line blanketing) ölçüsü, c_1 Balmer süreksizlik şiddetinin ölçüsü ve β da Hidrojen’in beta (H_β) çizgi şiddetinin indisidir (Strömngren 1956).

Işık eğrisi analizi için WD’de Algol türü ayrıntı örtün çift sistemlerin özelliklerine uygun olarak çözüm yapan MOD 2 kullanılmıştır. Strömngren v , b ve y fotometrik bantlarında gözlenmiş ışık eğrileri eş zamanlı çözülmüştür. Erken tayf türünden olan her iki bileşende manyetik etkinliğin baskın olması beklenmemektedir. Işık eğrilerinde de yıldız lekelerinin yol açtığı etkilere rastlanmaması sebebiyle leke modellemesi yapılmamıştır. Sabit tutulacak parametreler e , q ve T_1 iken i , T_2 , $\Omega_{1,2}$, L_1 serbest bırakılmıştır. Bunların yanında bileşenlerin sıcaklık ve yüzey çekim ivmelerine göre belirlenen Strömngren v, b, y filtreleri için kenar kararım katsayıları van Hamme (1993) tabloları kullanılarak belirlenmiştir. Bileşenlerin ikisinin de yüzey sıcaklıkları onların radyatif atmosferli yıldızlar olduğuna işaret etmektedir. Bu sebeple bileşenlerin çekim kararmaları $g_1 = g_2 = 1$ (Lucy 1967) ve yansıtma oranları $A_1 = A_2 = 1$ (Rucinski 1969) olarak belirlenip, analiz sırasında bu parametreler sabit tutulmuştur. En düşük χ^2 ’yi (fark karelerin toplamı) veren model çözüm olarak belirlenmiştir. Bu modellere göre üretilen sentetik ışık eğrileri ve gözlenmiş veriler Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

¹ <http://www.r-project.org/>



Şekil 3.7. MQ Cen sisteminin gözlenmiş v, b, ve y fotometrik bantlarındaki ışık eğrileri (renkli) ve bu bantlarda ışık eğrisi çözümünden elde edilmiş sentetik eğriler (siyah)

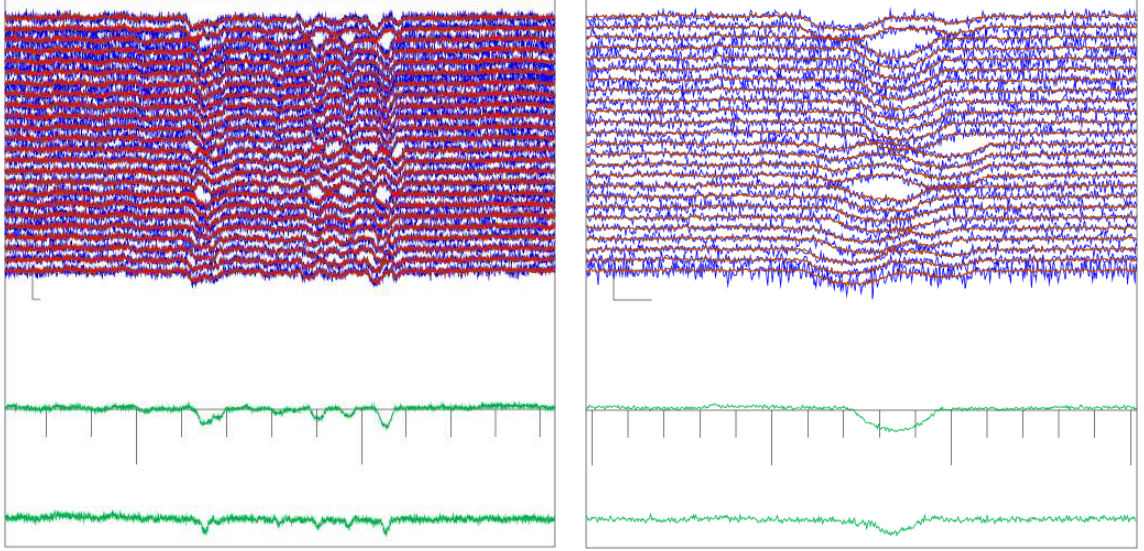
3.2.3. Tayfın bileşenlerine ayrılması

MQ Cen'in bileşke tayflarından bileşenlerin tayflarını ayıklayarak yıldızların ayrı ayrı tayflarını elde etmek için Hadrava'nın (1995, 2004) geliştirdiği yöntem ve program olan KOREL kullanılmıştır. Fourier analizi ile dalgaboyu uzayında çözüm arayan bu yazılım aynı zamanda tayfsal yörünge parametrelerini duyarlı bir şekilde belirlemede oldukça başarılıdır. Kodun çalıştırılması için WD'ye benzer şekilde başlangıç parametrelerinin belirlenmiş olması gereklidir. Bu sebeple Downhill Simplex yöntemi kullanılarak belirlenmiş yörünge elemanlarından KOREL'de kullanılmak üzere girdi parametresi olarak faydalanılmıştır.

KOREL aynı anda belli bir çift sisteme ait çok sayıda tayfı analiz edebilmektedir. Hatta programın daha hassas sonuçlar vermesi için mümkün olduğu kadar çok tayf örneğini işlemesi gerekmektedir. Ancak bu verilerin aynı evrede yığılmamış olmasına dikkat edilmelidir. Yani çok sayıda farklı evrede gözlenmiş tayf çözülmek üzere tanımlanırsa o denli başarılı çözümleme yapılmış olacaktır. Elimizde bulunan tayfsal veriler de dikine hız grafiğinde görüldüğü gibi buna imkan verecek şekilde bir tam yörünge dönemi boyunca uygun bir dağılım sergilemektedir.

Programda aynı yıldız sistemine ait çözülmek üzere tanımlanan tayfların veri sayısı ile ilgili bir sınırlama söz konusudur. Bunun sebebi verilerin analizinde Fast Fourier Transform (FFT) yöntemi ile çözüm yapılmış olmasıdır. Dolayısı ile her bir tayf girdisinin, n bir tam sayı olmak üzere 2^n adet veri noktasından oluşmuş olması gerekmektedir. Tayflar analize hazırlanırken şu iki işlem basamağı izlenmiştir: Önce MQ Cen'in tayfları IRAF'ın "scopy" fonksiyonu yardımıyla bölümlere ayrılmıştır. Daha sonra bu bölümlerin her biri, yalnızca bir ya da birkaç soğurma çizgisini kapsayan

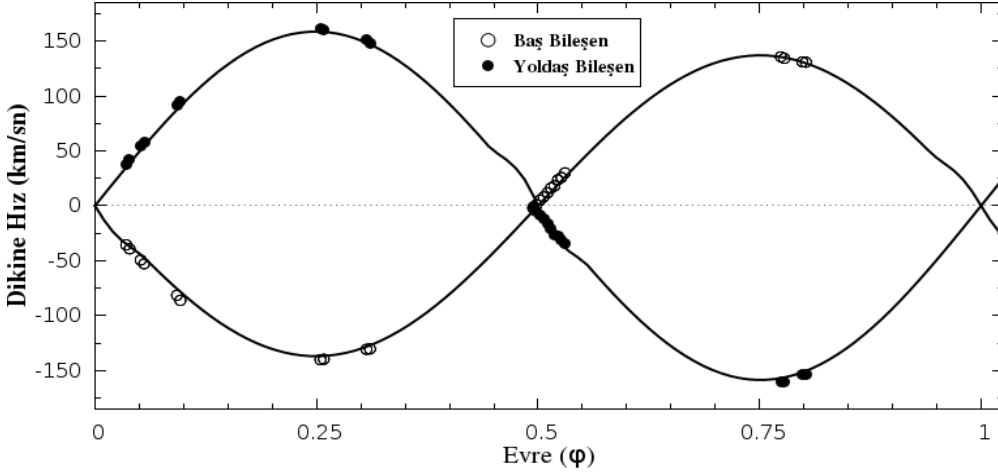
dalgaboyu aralıklarına sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Böylece hem incelenmek istenilen çizgilerin diğerlerinden bağımsız olarak ele alınması hem de bölümlerin veri sayısına getirilmiş sınıra göre düzenlenmesi daha kolay hale getirilmiştir. Örnek olarak analiz için KOREL'e girilen gözlenen tayf verileri ve baş ile yoldaş yıldızın ayıklanmış tayfları Şekil 3.8'de sunulmuştur.



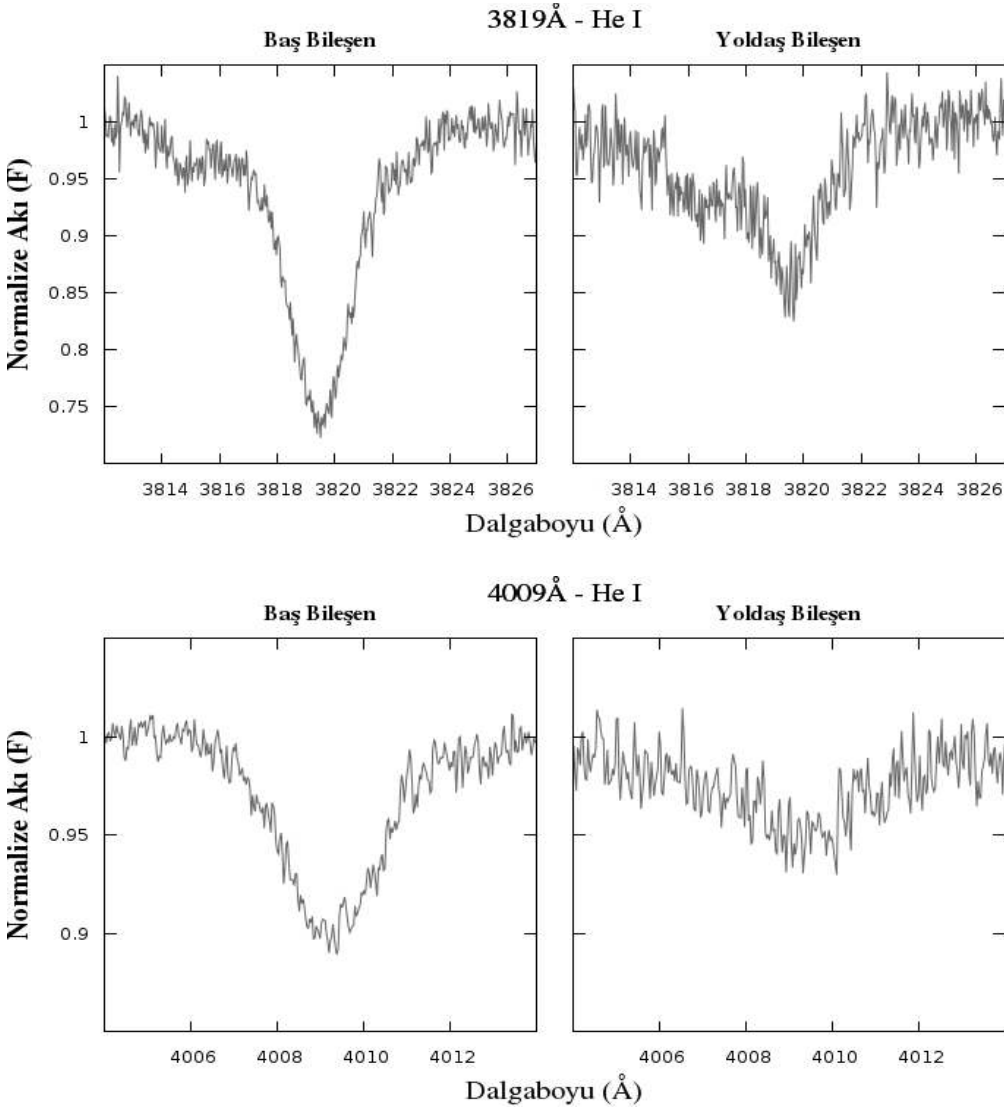
Şekil 3.8. KOREL'de tayfın bileşenlerine ayrılması yönteminin uygulandığı farklı evrelerde gözlenmiş tayflar (mavi), bu tayflara çözüm sonunda geçirilen fitler (kırmızı), baş bileşenin ayıklanmış tayfı (yeşil, üstte), yoldaş bileşenin ayıklanmış tayfı (yeşil, altta), He I (5015Å ve 5047Å) ile Si II (5041Å ve 5055Å) çizgilerini içeren tayf bölümü (sol panel), Si II (6347Å) çizgisini içeren tayf bölümü (sağ panel)

KOREL çözümleri, Downhill Simplex yöntemi ile yapılan incelemelerle desteklenen çember yörünge varsayımı ile yapılmıştır. Girdi parametrelerinden yörünge dönemi P , kütle oranı q ve dışmerkezlik e analizde sabit tutulmuş, tutulum zamanı T_0 ve dikine hız yarı genlikleri K_1 ile K_2 serbest parametreler olarak işleme tabi tutulmuştur. Yapılan bu ilk analizde MQ Cen'in tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir. Sonuç çıktısı olarak alınan dikine hız eğrisi Şekil 3.9'da sunulmuştur. Ancak KOREL kütle merkezinin hızını belirlemeyip ancak bileşenlerin dikine hızlarını kütle merkezinin hızına göre belirlemektedir (Bakış 2007).

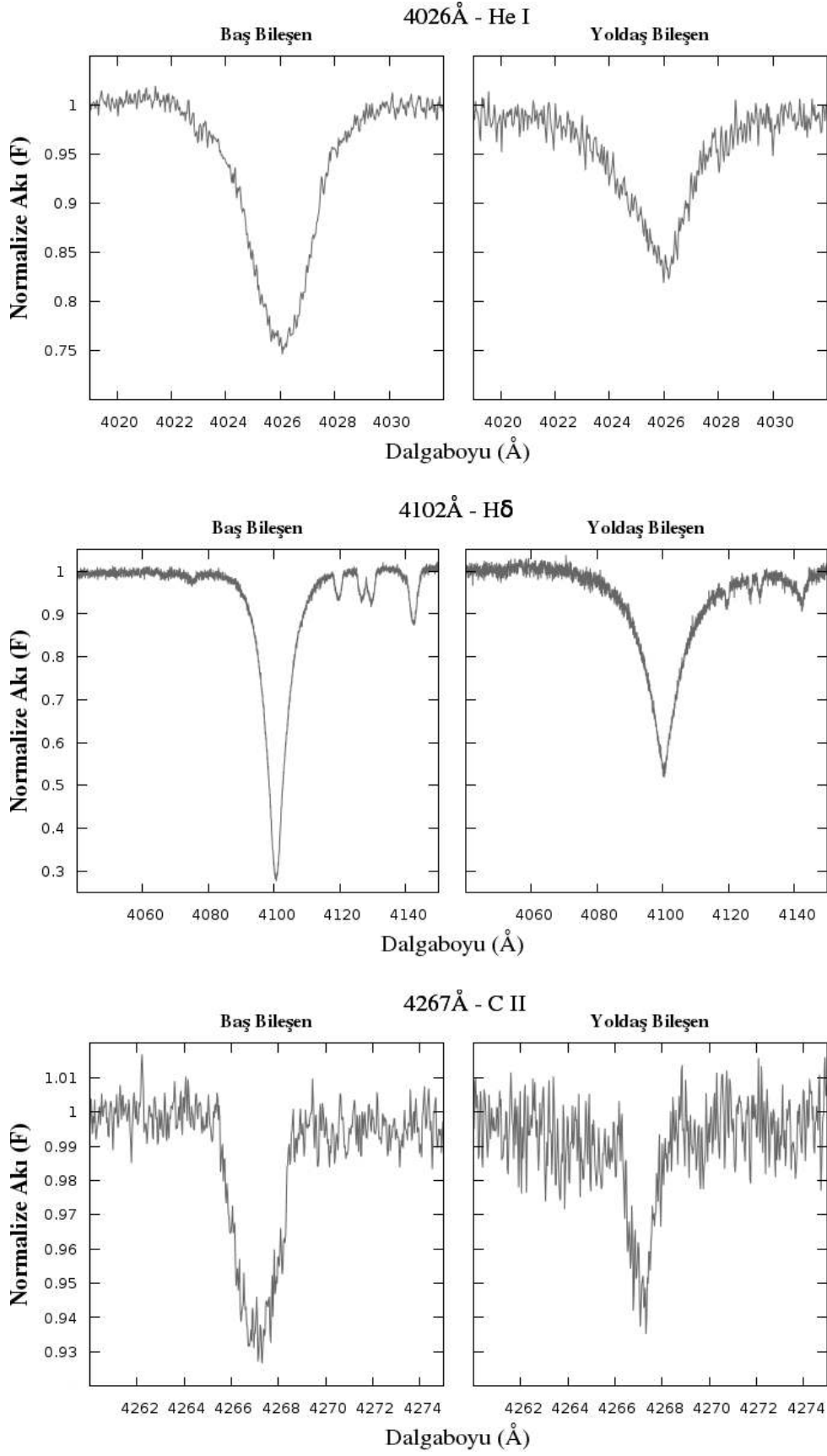
Çözüm hassasiyetini arttıracak yaklaşımlardan biri de ışık katkılarının da ayıklama işleminde kullanılmasıdır. Bu yüzden ilk çözümde elde edilen tayfsal yörünge parametreleri daha sonra girdi parametresi olarak kullanılmış ve bileşenlerin ışık katkıları da programa tanıtılarak yeniden çözüm yapılmıştır. Böylece nihai sonuca ulaşılmıştır. Tayfların gözlemlendiği evrelerde bileşenlerin sistemin toplam ışığına yaptığı oransal katkılar WD ile yapılan ışık eğrisi çözümünden elde edilmiştir. Bu yöntemle bileşke tayflardan ayıklanmış tüm tayf çizgileri Şekil 3.10'da verilmiştir.



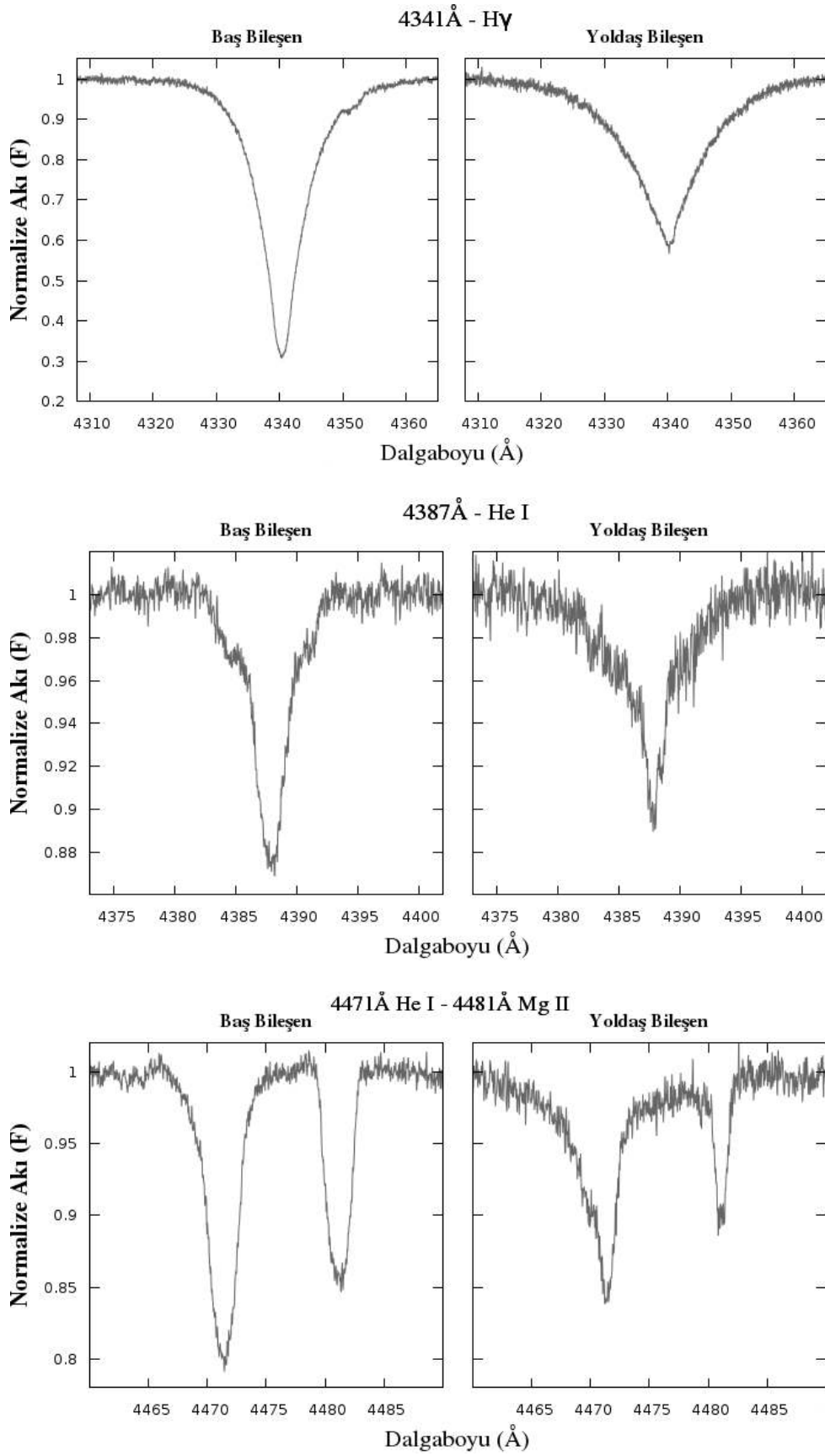
Şekil 3.9. MQ Cen sistemini oluşturan yıldızların bileşke tayflarının ayrıştırılması yoluyla elde edilmiş dikine hızları



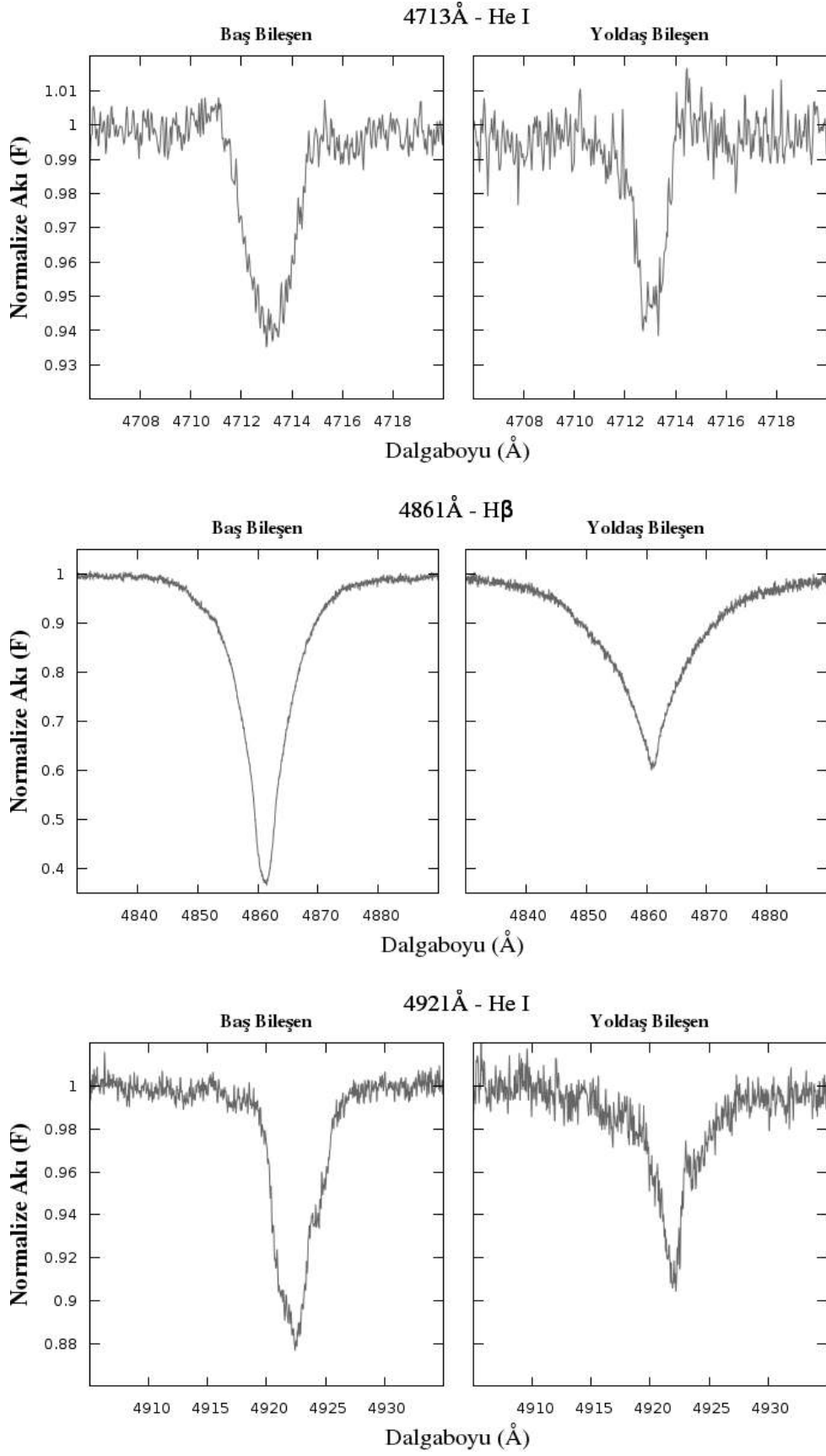
Şekil 3.10. MQ Cen sisteminin baş ve yoldaş bileşenlerinin ayıklanmış tayf çizgileri



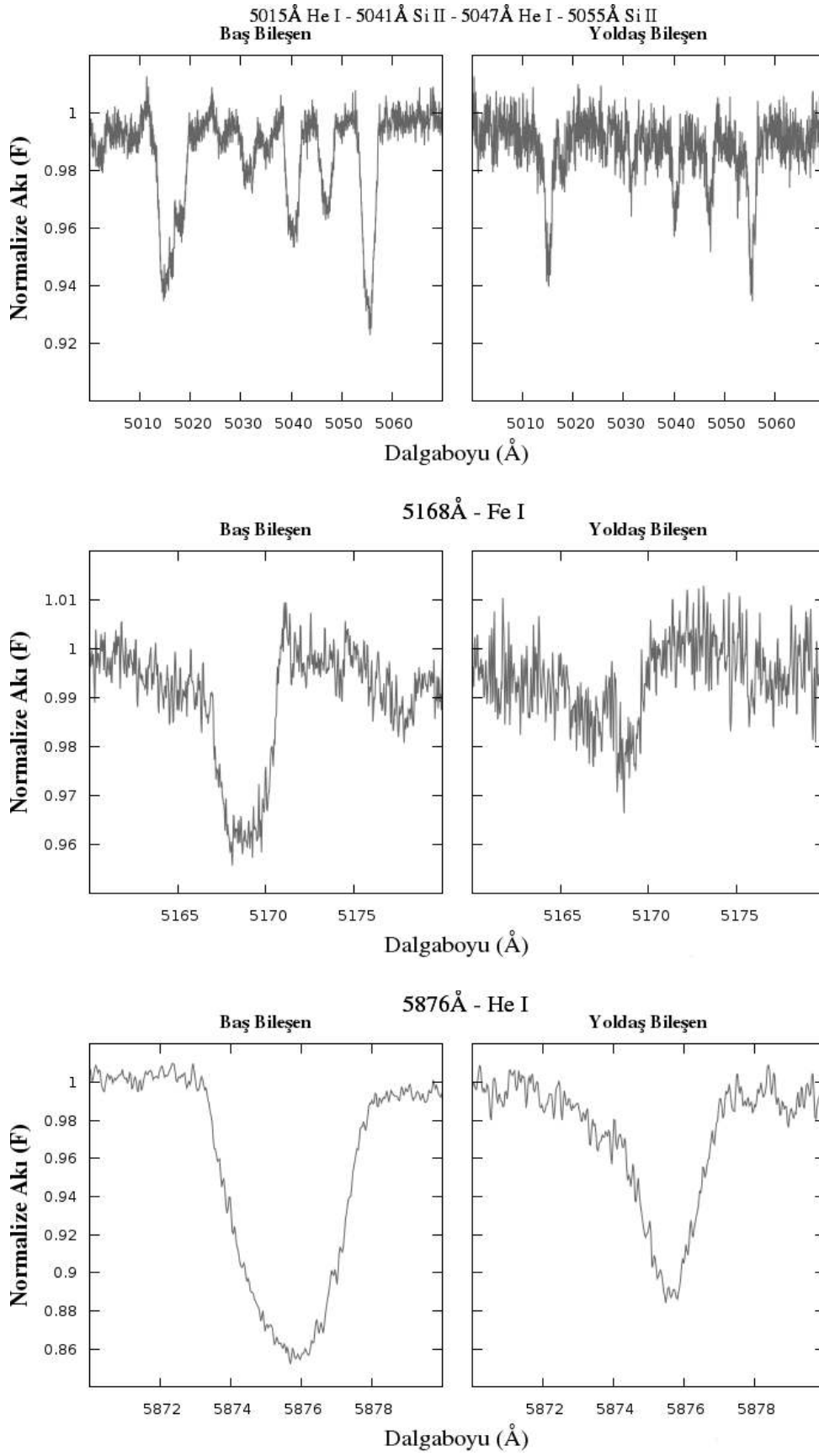
Şekil 3.10'un Devamı



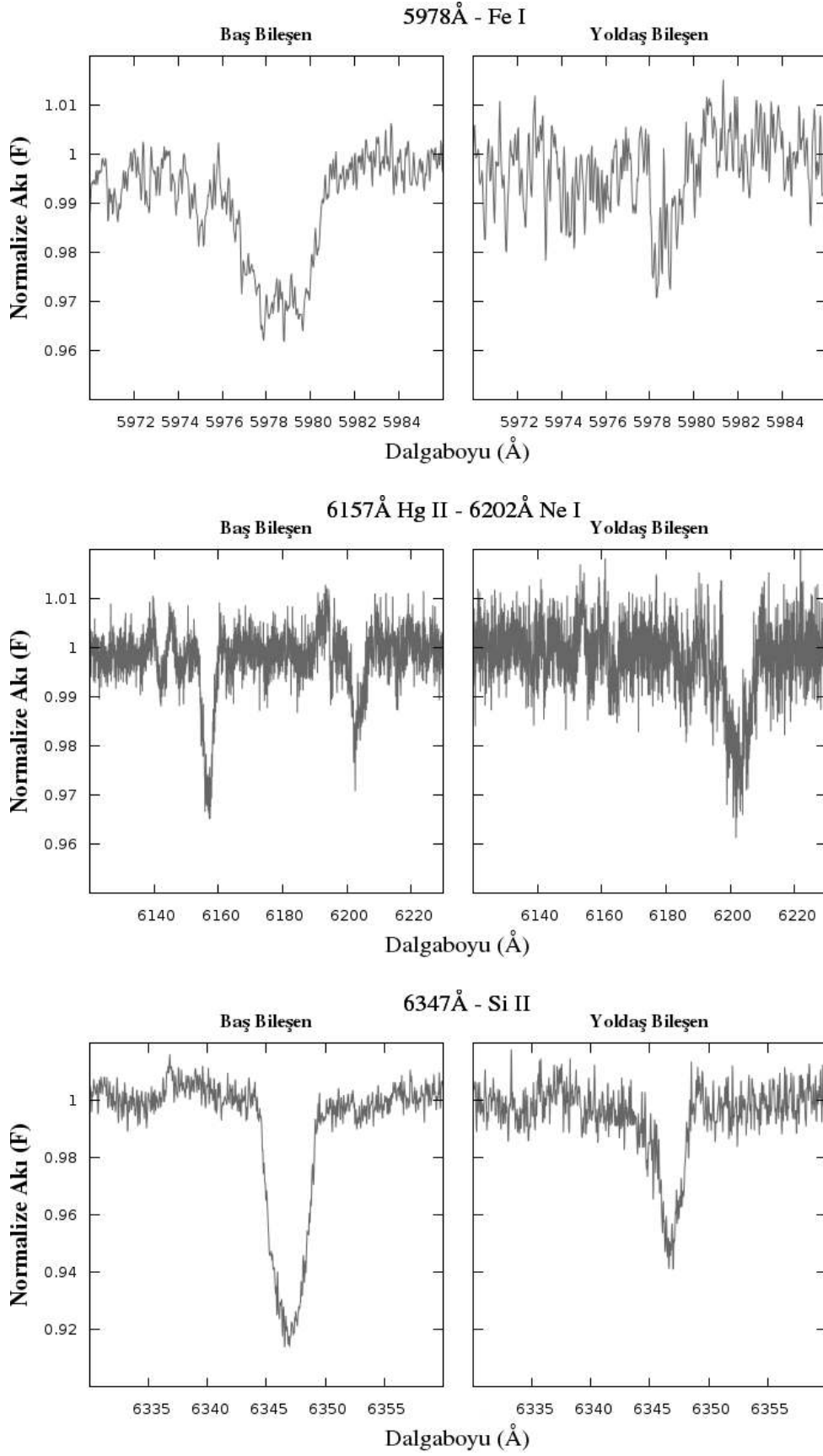
Şekil 3.10'un Devamı



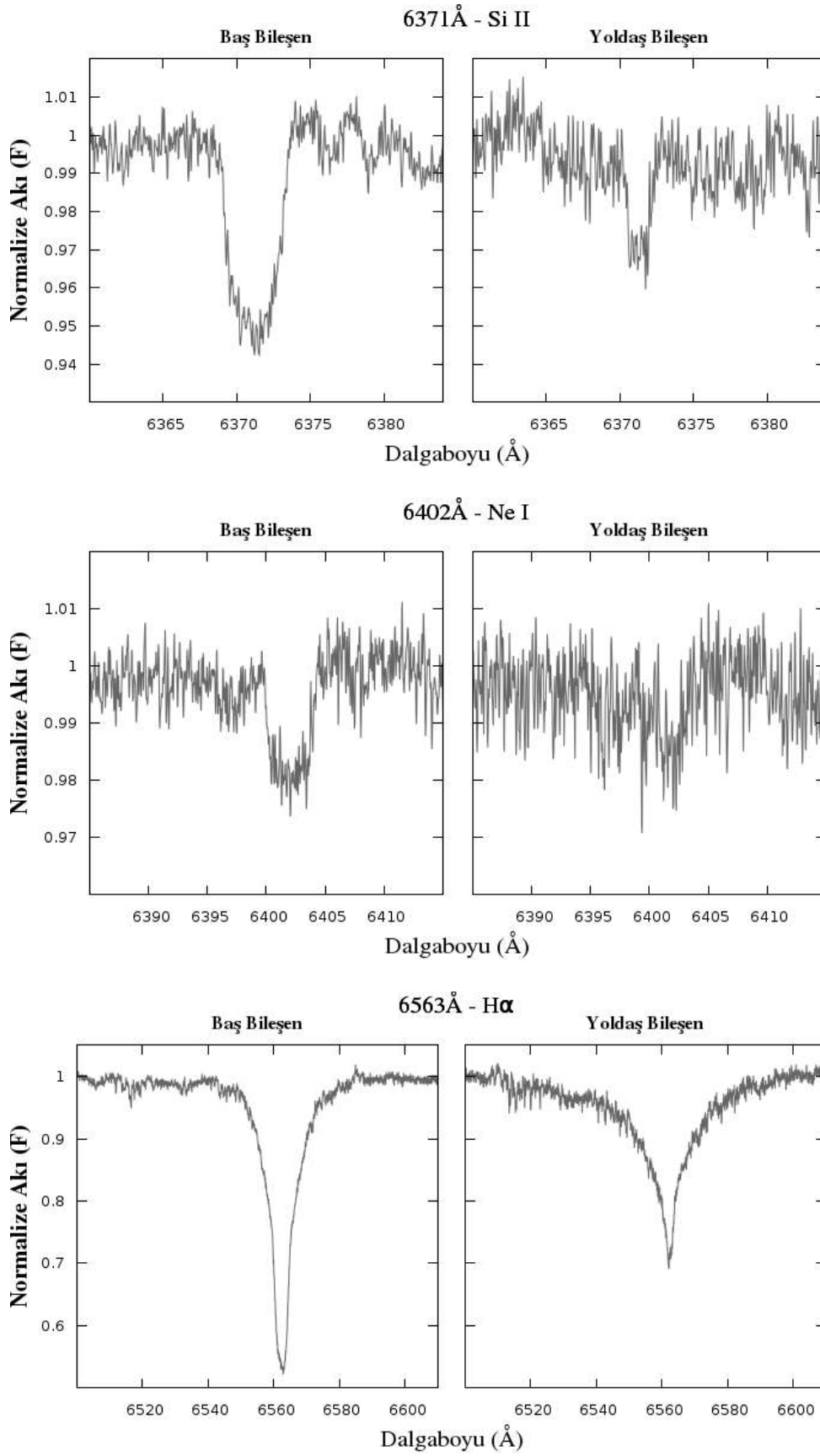
Şekil 3.10'un Devamı



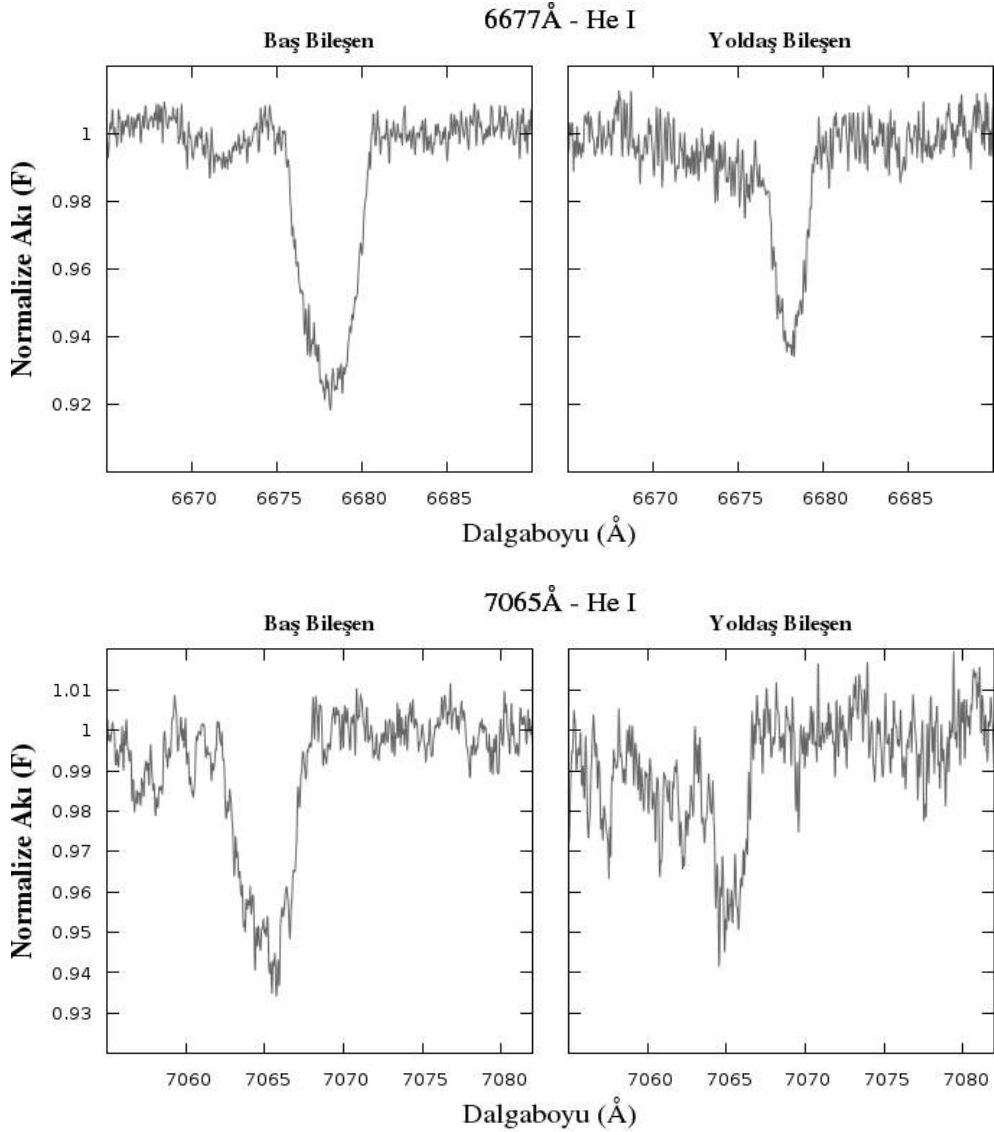
Şekil 3.10'un Devamı



Şekil 3.10'un Devamı



Şekil 3.10'un Devamı



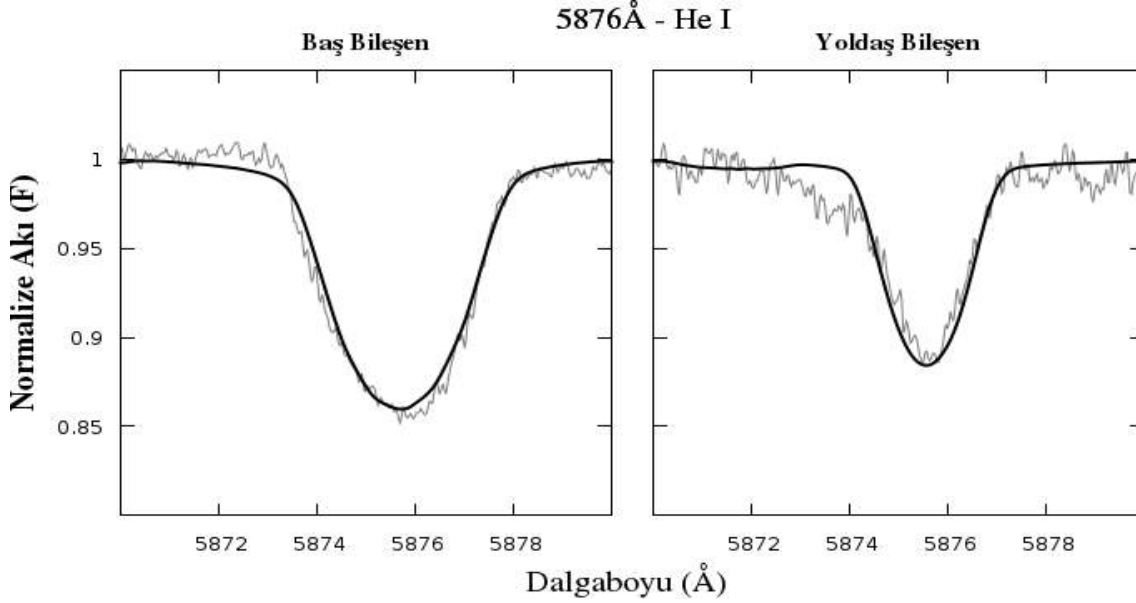
Şekil 3.10'un Devamı

3.2.4. Model atmosfer uygulamaları

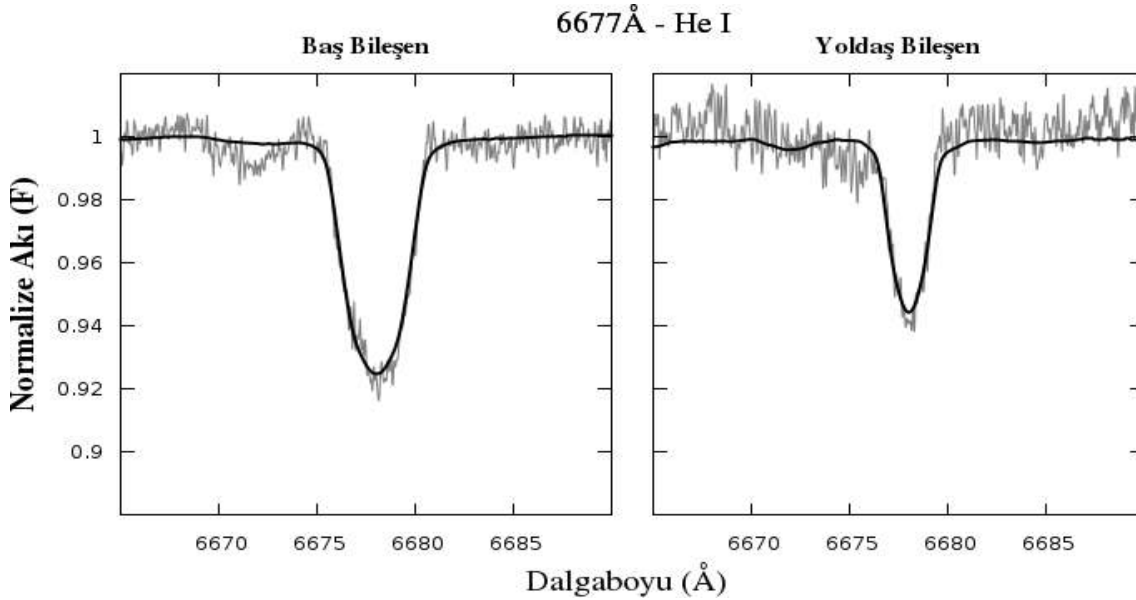
Baş ve yoldaş yıldızın tayf çizgilerinin üst üste bindiği bileşke tayfın KOREL ile bileşenlerine ayıklanmasından sonra yıldızların kendilerine ait tayflar ayrı ayrı elde edilmiş olur. Bu sayede tayfların yıldız atmosfer modelleriyle karşılaştırılıp incelenmesi mümkündür. Yıldız tayflarına en iyi uyum gösteren sentetik tayfları oluşturan model atmosfer parametrelerinin, o yıldızın yüzeyindeki koşulları temsil ettiği kabul edilecektir. Dolayısı ile her bir yıldızın etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, metal bollukları, ekvator dönme hızlarının izdüşümleri ve mikrotürbülans hızları doğrudan tayftan belirlenmiş olur. Tayflardan belirlenen sıcaklık ve parametrelerin, yıldız renklerinden elde edilmiş sıcaklıklardan daha güvenilir olması gibi, daha doğru ve güvenilir kabul edilmiştir.

Ayıklanmış tayfların modellenmesi için Kurucz'un (1993) ATLAS9 ve SYNTHE programları kullanılmıştır. Yerel termodinamik denge (LTE) varsayımı

altında ATLAS9 ile üretilen atmosfer modelleri kullanılarak SYNTHE programında sentetik tayflar oluşturulmuştur. Bu tayflar ile ilgili yıldızın ayrıştırılmış tayfı karşılaştırılmıştır. Atmosfer modelini oluşturan parametreler değiştirilerek sentetik tayf ile yıldızın tayfinin en iyi uyum sağladığı (χ^2 'nin en düşük olduğu) fiziksel özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Örnek olarak seçilen 5876Å (He I) ve 6677Å (He I) çizgilerine yapılan model fitleri sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. MQ Cen sisteminin ayıklanmış Helyum (5876Å) çizgileri (gri) ve bu çizgiler ile en iyi uyum içerisinde olan model atmosfer uygulaması ile elde edilmiş sentetik tayflar (siyah)



Şekil 3.12. MQ Cen sisteminin ayıklanmış Helyum (6677Å) çizgileri (gri) ve bu çizgiler ile en iyi uyum içerisinde olan model atmosfer uygulaması ile elde edilmiş sentetik tayflar (siyah)

3.2.5. Yaş, uzaklık ve kinematik parametrelerin tayini

3.2.5.1. Yaş tayini ve evrim yolları

MQ Cen sisteminin yaşını tahmin etmek için Bertelli vd'nin (2009) evrim modellerini kullanan YZVAR web arayüzünden¹ yararlanılarak eş yaş eğrileri (izokronlar) hesaplanmıştır. Daha sonra fiziksel özellikleri bilinen baş ve yoldaş yıldız H-R diyagramındaki konumlarına yerleştirilmiştir. İzokronların, çift veya çoklu sistemlere üye yıldızların aynı zamanda oluştukları düşünüldüğünde, her iki bileşenden de geçmesi beklenmektedir. Bu yüzden farklı eş yaş eğrileri yıldızların konumlarıyla karşılaştırılıp en iyi uyum sergileyen izokron belirlenerek sistemin yaşı hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Bileşen yıldızların hangi evrim aşamalarında olduklarını saptamak için bileşenlerin H-R diyagramındaki konumları teorik evrim yolları ile karşılaştırılmıştır. Teorik evrim modelleri Bertelli vd'den (2009) alınmıştır. Bileşen yıldızlar için bulunan kütle değerlerine göre aradeğer hesabı yapılarak her bir bileşene ait evrim yolu oluşturulmuştur.

3.2.5.2. Uzaklık

MQ Cen'in uzaklığını belirlemek için ilk etapta sistemi oluşturan üye yıldızların mutlak parametreleri belirlenmiştir. Etkin sıcaklık (T_{eff}) ve yarıçaplar (R) kullanarak bileşenlerin ayrı ayrı bolometrik parlaklıklarının (M_{bol}) hesaplanması mümkündür (Denklem 3.7). Ancak mutlak parametreler bilinmese de ışık eğrisi çözümünden herhangi bir bileşenin Güneş'e göre ışınım gücü elde edilebileceğinden ($L_*/L_{\odot}$) yine bolometrik parlaklığa ulaşılabilir (Denklem 3.8).

$$M_{\text{bol}*} = M_{\text{bol}\odot} + 10 \log T_{\odot} + 5 \log R_* - 10 \log T_* \quad (3.7)$$

$$M_{\text{bol}*} - M_{\text{bol}\odot} = -2.5 \log \frac{L_*}{L_{\odot}} \quad (3.8)$$

Burada L ışınım gücünü, $*$ indisi bileşen yıldızı, $\odot$ indisi de Güneş'i temsil etmektedir. Denklem 3.7'de yıldızın ışınım gücünün Güneş cinsinden değeri ışık eğrisi analizinden belirlenmiştir. Güneş'in bolometrik parlaklığı $+4^{\text{m}}.75$ 'tir.

Bolometrik düzeltme (BC) tablolarından (Flower 1996) elde edilen BC değerinden yararlanılarak Denklem 3.9 yardımıyla yıldızların görsel mutlak parlaklıklarına (M_v) ulaşılmıştır.

$$BC = M_{\text{bol}} - M_v \quad (3.9)$$

¹ <http://stev.oapd.inaf.it/YZVAR/cgi-bin/form>

Buradan BC ve M_{bol} bilindiğinden M_v elde edilmiştir. Daha sonra sistemin Stömgren parlaklıklarından daha önce bahsi geçen “uvbybeta” programı yardımıyla renk artışı $E(b-y)$ hesaplanmıştır. Buradan da Denklem 3.10 ile $E(B-V)$ 'ye geçmek mümkün olmuştur.

$$E(b - y) = 0.74 \times E(B - V) \quad (3.10)$$

Güneş ile MQ Cen arasındaki kızıllaşma miktarına (A_v) Galaksimiz için kabul edilen Denklem 3.11 ile erişildikten sonra, gerekli tüm nicelikler uzaklık modülünde Denklem 3.12’de yerlerine konarak sistemin uzaklığı elde edilmiştir.

$$A_v = 3.1 \times E(B - V) \quad (3.11)$$

$$m - M_v = 5 \log d - 5 + A_v \quad (3.12)$$

Burada m yıldızın görünür parlaklığı ve d sistemin parsek cinsinden uzaklığını temsil etmektedir.

3.2.5.3. Uzaklıklar

Bir yıldızın veya yıldız sisteminin oymaklarla olan fiziksel bağıllığını gösterebilmek için onun uzak hız bileşenlerinin duyarlı bir şekilde hesaplanabilmesi gerekmektedir. Çünkü o sistemin oymağa üye yıldızlarla birlikte hareket etmesi beklenmektedir. Yıldızların uzak hızlarını hesaplayabilmek için de ilgili sistemin koordinatlarının, uzaklığının, öz hareketinin ve dikine hızlarının önceden bilinmesi gerekmektedir. Uzaydaki konumu belli olan MQ Cen’in Güneş’e olan uzaklığı ve dikine hızı bu tez çalışmasında hesaplanmıştır. Sistemin öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ) 4. US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog’dan (UCAC4) alınmıştır.

Uzaklıklarını hesaplamak için Johnson ve Soderblom’un (1987) geliştirdiği algoritma kullanılmıştır. Bu yolla MQ Cen’in Güneş’e göre U , V ve W uzak hız bileşenleri belirlenmiştir. Johnson ve Soderblom, koordinat sisteminde kullanılan yönler için sağ el kuralını kabul etmişlerdir. Dolayısı ile pozitif yönler U için Galaktik merkez doğrultusu, V için Galaktik dönme yönü ve W için de Kuzey Galaktik Kutup yönü olarak seçilmiştir. Algoritma öz hareket, uzaklık ve dikine hızlardaki hata paylarının verilmesi halinde uzak hız bileşenlerinin de ayrı ayrı hatalarının hesaplanabilmesine olanak sağlamaktadır. Yöntem, sistemin uzak hız bileşenlerini Güneş’e göre hesaplar. Çünkü sistemin ölçülen dikine hızları, öz hareketi ve uzaklığı Güneş’e göre belirlenmiştir. Nitekim Güneş de bir yıldızdır ve onun da Galaksi içindeki konumuna göre belirli hareketleri vardır. Bunlardan ilki Güneş’in Galaksi merkezi etrafındaki dolanma hareketi, ikincisi de Güneş’in kendi yakın komşuluğunda bulunan yıldızlara göre yaptığı hareketidir. Galaksimizdeki yıldızlar diferansiyel dönme yapmaktadırlar, yani Galaktik merkezden ne kadar uzaklaşırsa yıldızların merkez etrafındaki açısal dönme hızları o kadar azalır. Diferansiyel dönme doğrudan gözlemlere yansır ve ilgilenilen yıldızların konumlarına göre radyal hızı bulunmak istenirse diferansiyel dönme düzeltmesinin yapılması gerekmektedir. Güneş komşuluğundaki yıldızların

referansı Yerel Durgunluk Standartı'dır (LSR). Yıldızların uzay hızı dağılımları LSR'ye göre incelenir. Bu sebeple MQ Cen'in Güneş'e ve LSR'ye göre uzay hızları hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

Literatürde Crux OB1 ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak MQ Cen hakkında birkaç bilgi bulunsa da bunlar sistemin Crux OB1 oymağına üyeliğini açıkça ortaya koyabilecek düzeyde değildir. Bu sebeple öncelikle MQ Cen çift sistemindeki yıldızların ayrı ayrı mutlak parametreleri ile yaş, uzaklık ve uzay hızı gibi üyelik belirteci bilgilerine ulaşmak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda tayf çizgilerine Voigt fonksiyonu fit edilerek sistemin dikine hız eğrilerine ulaşılmıştır. Gözlenen tayfları kullanılarak Çizelge 4.1’de listelenen tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. MQ Cen sisteminin ilk adımda belirlenen tayfsal yörünge parametreleri

Parametre	Birim	Değer	Hata
P	Gün	3.686961	0.000004
T_0	HJD	2455646.083	0.627
e	-	0	-
w	°	0	-
K_1	km/sn	137.3	1.9
K_2	km/sn	158.9	0.8
V_γ	km/sn	-1.2	4.8
$q (K_1/K_2)$	-	0.86	0.01
$a_1 \sin i$	km	6.95×10^6	1.02×10^5
$a_2 \sin i$	km	8.05×10^6	3.38×10^4
$m_1 \sin^3 i$	$M_\odot$	5.31	5.49×10^{-2}
$m_2 \sin^3 i$	$M_\odot$	4.58	1.18×10^{-1}

İlk adımda belirlenen bu parametreler tayfsal ayıklama işlemi için KOREL’de başlangıç parametresi olarak kullanılmıştır. Bu sırada eş zamanlı olarak MQ Cen’in ışık eğrisi analizi yapılmıştır. Baş bileşenin etkin sıcaklığı Strömgren renklerinden 17500 °K olarak elde edilmiş ve buna göre yoldaşın etkin sıcaklığı ile diğer parametreler belirlenmiştir. Ancak daha sonra görülmüştür ki atmosfer modelleri sistemin baş bileşenin sıcaklığının 15000 °K olduğuna işaret etmektedir. Dolayısı ile $T_1 = 15000$ °K olarak belirlenip buna göre işlem yapılmıştır. Işık eğrilerinin eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. MQ Cen sisteminin ışık eğrilerinin eş zamanlı WD çözümünden elde edilen görel parametreleri

Parametre	Birim	Değer	
		Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
P	Gün	3.686961 ± 0.000004	
T_0	HJD	2452503.541 ± 0.002	
i	°	76.7 ± 0.1	
e	-	0	
w	°	0	
$q (m_2/m_1)$	-	0.86	
T	K	15000	13900 ± 60

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.2'nin devamı

Parametre	Birim	Değer	
		Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Ω	-	4.026 ± 0.028	4.083 ± 0.032
$L / L_{\text{TOPLAM}} (v)$	-	0.58 ± 0.02	0.42 ± 0.02
$L / L_{\text{TOPLAM}} (b)$	-	0.57 ± 0.02	0.43 ± 0.02
$L / L_{\text{TOPLAM}} (y)$	-	0.57 ± 0.02	0.43 ± 0.02
r_{ort}	-	0.323 ± 0.002	0.291 ± 0.002
g	-	1	1
A	-	1	1
F	-	1	1

Işık eğrisi çözümüyle ulaşılan parametreler yardımıyla hesaplanan teorik ışık eğrilerinden, her bir tayfın gözlemlendiği evredeki ışık katkıları hesaplanarak KOREL'de girdi olarak kullanılmıştır. Tayfsal ayıklama sonucunda hem bileşen yıldızların tayfları ayrı ayrı elde edilmiş hem de duyarlı tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. MQ Cen sisteminin KOREL çözümlerinden elde edilen tayfsal yörünge parametreleri

Parametre	Birim	Değer	Hata
P	Gün	3.686961	0.000004
T_0	HJD	2455698.276	0.017
e	-	0	-
w	$^\circ$	0	-
K_1	km/sn	137.1	0.7
K_2	km/sn	159.4	0.8
$q (K_1/K_2)$	-	0.86	0.01

Bileşen yıldızların mutlak parametrelerine sistemin tayfsal ve fotometrik parametrelerinin birleştirilmesiyle ulaşılabilmektedir. Tek bir analiz yöntemiyle bu bilgilere ulaşmak mümkün değildir. Çünkü dikine hız eğrisi çözümlerinden yörünge eğim açısı (i) bulunamaz. Bu açı da ancak bir örten çift sistemin ışık eğrisi analizinden elde edilebilir. Yörünge eğimi bilinirse tayftan elde edilebilen yörünge izdüşümünden ($a \sin i$) gerçek yarı-büyük eksen uzunluğuna (a) ulaşılabılır. Eğer a bilinirse ışık eğrisinden elde edilebilen kesirsel yarıçaplardan ($r = R/a$) gerçek yarıçaplar hesaplanabilir. Yıldız astrofiziğinin en önemli parametresi kütleye ise yine i bilinirse ulaşılabılır. MQ Cen SB2 türü bir tayfsal çift sistem olduğu için bileşenlerin kütlesi için bir sınır değeri ($m_{1,2} \sin^3 i$) bulunabilir. Buradan da gerçek kütlelere geçiş yapılabilir. Bunların yanında bileşenlerin sıcaklığı sistemin rengi yerine tayflarından belirlenmiştir. Çünkü renk-sıcaklık ilişkisi deneysel bir ilişki olup, gözlemsel hataları da içinde barındırmaktadır. Ayrıca yıldız ile aramızdaki kızılşama miktarı duyarlı bir şekilde tespit edilemez ise gerçek renkler bulunamayacağından renk-sıcaklık ilişkisi de doğru sonuç vermeyecektir. Oysa, bir yıldızın tayfı onun gerçek sıcaklığına doğrudan ulaşabilmenin en iyi yoludur. Bileşenlerin ayrıştırılmış tayfları teorik modellerle en iyi şekilde temsil edilene kadar parametre uzayı taranarak yıldızların etkin sıcaklıklarına,

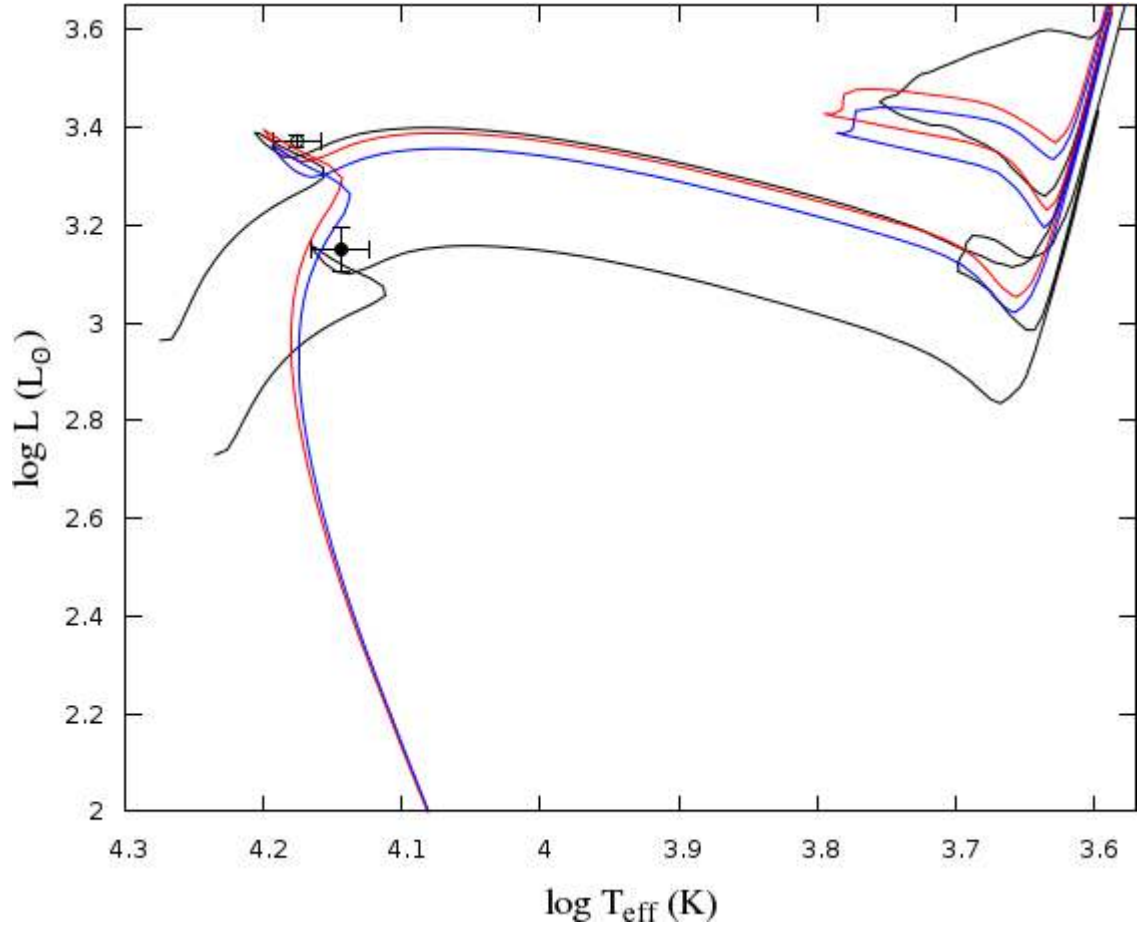
yüzey çekim ivmelerine ve dönme hızlarının izdüşümüne ulaşılmıştır. Yine sistemin yörünge eğimi bilindiğinden yıldızların gerçek dönme hızları hesaplanmıştır. Bu bağlamda bileşenlerin hesaplanan mutlak parametreleri Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. MQ Cen sisteminin elde edilen mutlak parametreleri

Parametre	Birim	Değer	
		Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Tayf Türü (Sp)	-	B4	B5
Kütle (m)	$M_{\odot}$	5.8 ± 0.1	5.0 ± 0.1
Yarıçap (R)	$R_{\odot}$	7.17 ± 0.08	6.46 ± 0.08
Yarı Büyük Eksen Uzunluğu (a)	$R_{\odot}$	22.2 ± 0.1	
Yörünge Eğimi (i)	$^{\circ}$	76.7 ± 0.1	
Basıklık (e)	-	0	
Kütle Oranı (q)	-	0.86 ± 0.01	
Yüzey Çekim İvmesi ($\log g$)	cgs	3.49 ± 0.02	3.52 ± 0.02
Sönümleme Miktarı (A_v)	Kadir	$1^m.06 \pm 0.06$	
Sıcaklık (T_{eff})	$^{\circ}\text{K}$	15000 ± 600	13900 ± 700
Işınım Gücü (L)	$\log L_{\odot}$	3.37 ± 0.08	3.15 ± 0.05
Bolometrik Parlaklık (M_{bol})	Kadir	$-3^m.7 \pm 0.2$	$-3^m.1 \pm 0.1$
Mutlak Parlaklık (M_v)	Kadir	$-2^m.4 \pm 0.3$	$-2^m.1 \pm 0.1$
Bolometrik Düzeltme (BC)	Kadir	$-1^m.24 \pm 0.09$	$-1^m.06 \pm 0.12$
Kütle Merkezi Hızı (V_{γ})	km/sn	-1.2 ± 4.8	
Dikine Hız Genliği (K)	km/sn	137.1 ± 0.7	159.4 ± 0.8
Senkronize Dönme Hızı (V_{senk})	km/sn	98 ± 1	89 ± 1
Gözlenen Dönme Hızı ($V_{\text{dönme}}$)	km/sn	100 ± 5	60 ± 5
Uzaklık (d)	pc	2650 ± 150	
Öz Hareket ($\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$)	mas/yıl	$(-2.7 \pm 1.9, 0.0 \pm 1.7)$	
Uzay Hızı (U, V, W)	km/sn	$(-29 \pm 21, -10 \pm 13, -14 \pm 20)$	

MQ Cen'in Güneş'e göre uzay hızı bileşenleri Johnson ve Soderblom'un (1987) geliştirdiği algoritma kullanılarak hesaplanmıştır. Dikine hızlar ve fotometrik uzaklık bu tez çalışmasında belirlenip sistemin öz hareket bileşenleri UCAC4 kataloğundan (Zacharias vd 2013) alınmıştır. $(\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}) = (-2.7 \pm 1.9, 0.0 \pm 1.7)$ mas/yıl değerlerini kullanarak uzay hız bileşenleri $(U, V, W) = (-29 \pm 21, -10 \pm 13, -14 \pm 20)$ olarak elde edilmiştir.

Bertelli vd'nin (2009) teorik modelleri kullanılarak bileşenlerin bu tez çalışmasında hesaplanan kütlelerine sahip yıldızların H-R diyagramında izleyecekleri evrim yolları çizdirilmiştir. Bu yolla elde ettiğimiz mutlak parametrelerin doğruluğunu test etme olanağına erişilmiştir. Ek olarak aynı diyagram üzerinde eş yaş eğrileri çizdirilmiştir (Şekil 4.1). Her iki bileşenden de geçen izokron eğrileri sistemin yaşına işaret etmektedir. Buna göre MQ Centauri çift sisteminin yaşı 75 ± 3 Myıl olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. MQ Centauri sistemini oluşturan yıldızların H-R diyagramındaki hata payları ile birlikte konumları, evrim yolları (siyah), 74 Myıl (kırmızı) ve 77 Myıl (mavi) eş yaş eğrileri

5. TARTIŞMA

MQ Cen'in astrofiziksel parametreleri (Bkz. Çizelge 4.4) teorik yıldız model parametreleri (Straizys ve Kuriliene 1981) ile karşılaştırıldığında baş ve yoldaş bileşenlerin kütlelerine göre tayf türleri sırasıyla B4 ve B5 sınıflarına karşılık gelmektedir. Bileşenlerin etkin sıcaklıkları göz önüne alındığında ise yine baş ve yoldaş yıldız için sırasıyla B5 ve B6 tayf türlerine işaret ettiği görülmüştür. Her iki bileşenin de yarıçaplarının, aynı kütledeki anakol yıldızlarının karakteristik yarıçaplarından (B4 tayf türü için $3.6 R_{\odot}$, B5 tayf türü için $3.2 R_{\odot}$) daha büyük (neredeyse iki katı) olduğu görülmektedir.

Bileşenler H-R diyagramında konumlandırıldığında her iki bileşenin de anakoldan ayrılmak üzere olduğu tespit edilmiştir. Kütle, etkin sıcaklık ve yarıçapların işaret ettiği tayf türleri arasındaki farkın sebebi bileşenlerin anakoldan ayrılmak üzere olmaları ve devler koluna doğru ilerleyen yola tam geçiş bölgesinde yer almalarından kaynaklanıyor olabilir. Yani her iki bileşen de merkezlerindeki Hidrojen'i tüketip nükleer reaksiyonların gerçekleştiği çekirdek bölgelerinin büzülme, dış bölgelerin yarıçaplarının ise genişlemeye başladığı evreye geçiş bölgesinde yer almaktadır.

Bileşenlerin tayf çizgilerinin model atmosfer ile modellenmesi neticesinde dönme hızlarının izdüşümleri ve ışık eğrisinden elde ettiğimiz yörünge eğimini de kullanarak ekvator dönme hızları $V_1 = 100 \pm 5$ km/s ve $V_2 = 60 \pm 5$ km/s olarak elde edilmiştir. Buna göre Çizelge 4.4'te verilen senkronize hızlar da dikkate alındığında baş bileşenin yörünge ile senkronize döndüğü, yoldaşın ise senkronize hızın yaklaşık 30 km/s altında bir hızla döndüğü görülmektedir.

Baş bileşenin tayf türü bilindiğinden (B4 V) bu tayf türüne karşılık gelen bünyesel renk ile $((B-V)_0 = -0.17)$ literatürde yer alan kızıllaşmış renk $(B-V = 0.17)$ dikkate alınarak sistemin renk artığı $(E(B-V) = 0.34)$ bulunmuştur. Galaksimiz için kabul edilen (Bkz. Denklem 3.11) bağıntı kullanılarak MQ Cen ile Güneş arasındaki V bandındaki sönmüleme miktarı $A_V = 1^{m.06}$ olarak saptanmıştır. Kızıllaşma miktarı da hesaba katılarak sistemin sönmülemeden arındırılmış parlaklığı $V = 9^{m.1}$ olarak belirlenmiştir. Bileşenlerin Çizelge 4.4'te verilen mutlak parlaklıklarını kullanarak sistemin uzaklığı 2650 ± 150 pc olarak bulunmuştur. Bu uzaklık Kaltcheva ve Georgiev (1994) tarafından belirlenen 2729 pc uzaklığı ile çok iyi uyuşması MQ Cen'in Crux OB1 oymağının üyesi olduğuna bir delildir. Bu delilin teyit edilebilmesi için sistemin metal bolluğu, yaşı ve kinematik özelliklerinin de oymağın özelliklerini yansıtması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında metal bolluğu analizi yapılmamış, sistemin yaş ve kinematik parametreleri belirlenmiştir.

Bileşenlerin H-R diyagramındaki konumlarının çizdirilmiş izokronlarla karşılaştırılması neticesinde sistem için elde edilen en uygun yaşı 75 ± 3 Myıl olduğuna karar verilmiştir.

MQ Cen'in gökyüzündeki konumu dikkate alındığında Cru OB1 oymağına üye olabileceği görülmektedir. Sistemin erken tayf türünden bileşen yıldızlara sahip oluşu (B4 V/IV + B5 V/IV) zaten bir oymağa üye olabileceğine işaret etmektedir. Tetzlaff vd (2010) Cru OB1 oymağı için uzay hız bileşenlerini $U = -43.7 \pm 1.6$, $V = -16.6 \pm 1.9$ ve

$W = -6.2 \pm 0.8$ km/s olarak vermiştir. Bu tez çalışmasında MQ Cen sistemi için hesaplanan uzay hız bileşenleri $U = -29 \pm 21$, $V = -10 \pm 13$ ve $W = -14 \pm 20$ km/s olup bu değerler, Cru OB1 oymağı için elde edilenler ile hata sınırları dahilinde uyum içerisinde olduğu söylenebilir. MQ Cen'in öz hareket bileşenleri ve uzaklığındaki belirsizlikler büyük olduğundan uzay hız bileşenlerine ait hatalar doğal olarak yüksek çıkmıştır. Gelecek nesil gözlem tarama programlarının (örneğin GAIA) devreye girmesiyle, yukarıda söz edilen parametreler yeterli hassasiyetle ölçülerek sistemin uzay hız bileşenleri daha büyük bir doğruluklarla belirlenebilecektir.

6. SONUÇ

Güney Yarım Küre takımyıldızı olan Centaurus'ta bulunan MQ Cen çift yıldızının tayfsal yörünge ve fotometrik ışık eğrisi öğeleri ilk defa ve duyarlı olarak belirlenmiştir. Ön tayf türündeki çift yıldızların nispeten daha az sayıda olması çift yıldızlarla ilgili yapılan istatistiksel çalışmalarda büyük kütleli yıldızlar tarafındaki istatistik duyarlılığı azaltmaktadır (örneğin Eker vd 2014). Bu sebeple parametreleri iyi bilinen ön tayf türündeki çift yıldızların sayılarının artması gerekmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan modern analiz yöntemi olan tayfin bileşenlerine ayrıştırılması yöntemi bileşenlerin hassas tayfsal yörünge parametrelerinin yanı sıra her bir bileşene ait tayfların elde edilmesine olanak sağlamıştır. Böylece bileşenler tek bir yıldız gibi ele alınarak fotosferik çizgileri ayrı ayrı incelenebilmiştir. Buradan baş bileşenin yörünge ile senkronize döndüğü, yoldaşın ise senkronize hızdan daha yavaş döndüğü görülmüştür.

Çok genç yıldızların sıfır yaş anakoluna yakın olmasından dolayı yaşlarının tayininde zorluklar yaşanmaktadır. Bu sebeple duyarlı yaş tayini için anakoldan ayrılma noktasına yakın yıldızlar her zaman büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple MQ Cen'in H-R diyagramındaki konumu dikkate alındığında astrofiziksel öneme sahip bir sistem olduğu kolayca anlaşılmaktadır. Çünkü bileşenler merkezlerindeki Hidrojen'i tüketip devler koluna doğru yönelmiştir. Ancak anakoldan henüz uzaklaşmamışlardır.

O ve B tayf türünden yıldızların barınakları olan oymaklar yıldız evriminin erken basamakları hakkında bizlere zengin bilgiler sunarlar. Bu nedenle oymak üyelerinin gözlenmesi ve astrofiziksel parametrelerinin duyarlı bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasına konu olan MQ Cen sisteminin yakınında bulunan Crux OB1 oymağı ile ilişkisi evrimsel ve kinematik açıdan ele alınmış ve oymağın muhtemel üyelerinden biri olduğu belirlenmiştir. Eğer üye ise, oymağın literatürde belirtilen yaşının 8 Myıl olduğu dikkate alındığında MQ Cen'in Crux OB1 oymak kompleksinde ilk yıldız oluşumunun başladığı alt gruplardan birine ait olabileceği düşünülebilir. Crux OB1 oymak bölgesindeki tüm O ve B yıldızlarının fotometrik ve tayfsal olarak gözlenip alt grupların evrimsel ve kinematik özelliklerinin belirlenmesi, MQ Cen'in hangi alt gruba üye olduğu sorusuna cevap verebilir.

7. KAYNAKLAR

- ALTER, G., BALAZS, B., RUPRECHT, J. and VANÝSEK, V. 1970. Catalogue of Star Clusters and Associations. *Akademiai Kiado 2nd edition*, Budapest, 75 p.
- AMBARTSUMIAN, V.A., 1947. In Stellar Evolution and Astrophysics. *Armenian Academy of Science*, 1: 133.
- AMBARTSUMIAN, V.A., 1954. On the Origin of Stars. *Les Processus Nucléaires dans les Astres, Communications présentées au cinquième Colloque International d'Astrophysique tenu à Liège les 10-12 Septembre*, 293 p.
- BAKIŞ, V., 2007. Güney Yarımkürede Seçilen Bölgelerde Kısa Dönemli Çift Yıldızların Tayfsal ve Fotometrik İncelenmesi. Doktora Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi. Çanakkale, 105 s.
- BAKIŞ, V., BAKIŞ, H., EKER, Z. and DEMİRCAN, O. 2007. η Muscae: A Young Detached Binary with Two Identical Components. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 382: 609-620.
- BAKIŞ, H., BAKIŞ V., BİLİR, S., MIKULÁŠEK Z., ZEJDA, M., YAZ, E., DEMİRCAN, O. and BULUT, İ. 2011. Study of Eclipsing Binary and Multiple Systems in OB Associations. I. Orion OB1a - IM Monocerotis. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 63: 1079-1091.
- BAKIŞ, V., HENSBERGE, H., ZEJDA, M., de CAT, P., YILMAZ, F., BLOEMEN, S., SVOBODA, P. and DEMİRCAN, O. 2012. Northern Binaries in the Evrena Project. *International Astronomical Union Symposium*, 282: 71-72.
- BAKIŞ, V., HENSBERGE, H., BİLİR, S., BAKIŞ, H., DEMİRCAN, O., ZEJDA, M. and MIKULÁŠEK Z. 2013. V2107 Cyg: A Young Cyg OB1 Member Binary System With A beta Cep Type Pulsating Component. *European Astronomical Society Publications Series*, 64: 377-378.
- BAKIŞ, V., HENSBERGE, H., BİLİR, S., BAKIŞ, H., YILMAZ, F., KIRAN, E., DEMİRCAN, O., ZEJDA, M. and MIKULÁŠEK, Z. 2014. Study of Eclipsing Binary and Multiple Systems in OB Associations. II. The Cygnus OB Region: V443 Cyg, V456 Cyg, and V2107 Cyg. *The Astronomical Journal*, 147: 13.
- BAKIŞ, V., HENSBERGE, H., DEMİRCAN, O., ZEJDA, M., BİLİR, S. and NITSCHHELM, C. 2015. Study of Eclipsing Binary and Multiple Systems in OB Associations. III. A Review. Basım aşamasında.
- BERTELLI, G., NASI, E., GIRARDI, L. and MARIGO, P. 2009. Scaled Solar Tracks and Isochrones in a Large Region of the Z-Y Plane. II. From 2.5-20 $M_{\odot}$ Stars. *Astronomy and Astrophysics*, 508: 355-369.

- BERTIAU, F.C. 1958. Absolute Magnitudes of Stars in the Scorpio-Centaurus Association. *Astrophysical Journal*, 128: 533-561.
- BLAAUW, A. 1946. A Study of the Scorpio-Centaurus Cluster. *Publications of the Kapteyn Astronomical Laboratory Groningen*, 52: 1-132.
- BLAAUW, A. 1956. Galactic Clusters and Associations. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 1: 159-163.
- BLAAUW, A. 1958. Stellar Associations. *New York: Interscience*, 105 p.
- BLAAUW, A. 1964. The O Associations in the Solar Neighborhood. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 2: 213-246.
- BLITZ, L. 1980. Giant Molecular Complexes and OB Associations. I - The Rosette Molecular Complex. *Astrophysical Journal*, 241: 676-696.
- BOK, B.J. 1934. The Stability of Moving Clusters. *Harvard College Observatory Circular*, 384: 1-41.
- BONNAREL, F., FERNIQUE, P., BIENAYMÉ, O., EGRET, D., GENOVA, F., LOUYS, M., OCHSENBEIN, F., WENGER, M. and BARTLETT, J.G. 2000. The ALADIN Interactive Sky Atlas. A Reference Tool for Identification of Astronomical Sources. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 143: 33-40.
- BOUY, H., MARTÍN, E.L., BRANDNER, W., ZAPATERO-OSORIO, M.R., BÉJAR, V.J.S., SCHIRMER, M., HUÉLAMO, N. and GHEZ, A.M. 2006. Multiplicity of Very Low-mass Objects in the Upper Scorpius OB Association: A Possible Wide Binary Population. *Astronomy and Astrophysics*, 451: 177-186.
- BROWN, A.G.A., BLAAUW, A., HOOGERWERF, R., de BRUIJNE, J.H.J. and de ZEEUW, P.T. 1999. OB Associations: The Origin of Stars and Planetary Systems. *Kluwer Academic Publishers*, pp. 411-440, Dordrecht.
- BROWN, A.G.A. 2001. Open Clusters and OB Associations: A Review. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 11: 89-96.
- CANNON, A.J. and PICKERING, E.C. 1918. The Henry Draper Catalogue 0h, 1h, 2h, and 3h. *Annals of Harvard College Observatory*, 91: 1-290.
- CANNON, A.J. and PICKERING, E.C. 1924. Henry Draper (HD) Catalog and HD Extension. *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, 99: 1-271.
- CANNON, A.J. and PICKERING, E.C. 1949. Henry Draper (HD) Catalog and HD Extension. *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, 112: 1-295.

- CLAUSEN, J.V., STORM, J., LARSEN, S.S. and GIMÉNEZ, A. 2003. Eclipsing Binaries in the Magellanic Clouds. uvby CCD Light Curves and Photometric Analyses for HV 982 (LMC), HV 12578 (LMC), HV 1433 (SMC), and HV 11284 (SMC). *Astronomy and Astrophysics*, 402: 509-530.
- de BRUIJNE, J.H.J. 1999. A Refurbished Convergent-point Method for Finding Moving Groups in the HIPPARCOS Catalogue. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 306: 381-393.
- de GEUS, E.J., de ZEEUW, P.T. and LUB, J. 1989. Physical Parameters of Stars in the Scorpio-Centaurus OB Association. *Astronomy & Astrophysics*, 216: 44-61.
- de ZEEUW, P.T., HOOGERWERF, R., de BRUIJNE, J.H.J., BROWN, A.G.A. and BLAUW, A. 1999. A HIPPARCOS Census of the Nearby OB Associations. *The Astronomical Journal*, 117: 354-399.
- DEBOSSCHER, J. et al. 2013. KIC 11285625: A Double-lined Spectroscopic Binary With a Gamma Doradus Pulsator Discovered from Kepler Space Photometry. *Astronomy & Astrophysics*, 556: 11.
- DVORAK, S.W. 2004. Updated Elements for Southern Eclipsing Binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5542: 1-4.
- EKER, Z., BİLİR, S., SOYDUGAN, F., YAZ GÖKÇE, E., SOYDUGAN, E., TÜYSÜZ, M., ŞENYÜZ, T. and DEMİRCAN, O. 2014. The Catalogue of Stellar Parameters from the Detached Double-Lined Eclipsing Binaries in the Milky Way. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31: 23.
- ESA, 1997. The Hipparcos and Tycho Catalogues. ESA SP-1200.
- FLOWER, P.J. 1996. Transformations from Theoretical Hertzsprung-Russell Diagrams to Color-Magnitude Diagrams: Effective Temperatures, B-V Colors, and Bolometric Corrections. *Astrophysical Journal*, 469: 355.
- FRINK, S., RÖSER, S., NEUHÄUSER, R. and STERZIK, M.F. 1997. New Proper Motions of Pre-main Sequence Stars in Taurus-Auriga. *Astronomy and Astrophysics*, 325: 613-622.
- GHEZ, A.M., NEUGEBAUER, G. and MATTHEWS, K. 1993. The Multiplicity of T Tauri Stars in the Star Forming Regions Taurus-Auriga and Ophiuchus-Scorpius: A 2.2 Micron Speckle Imaging Survey, *Astronomical Journal*, 106: 2005-2023.
- GOULD, B.A. 1879. Brightness and Position of Every Star, Down to the Seventh Magnitude, Within One Hundred Degrees of the South Pole. *Resultados del Observatorio Nacional Argentino*, 1: 1-387.

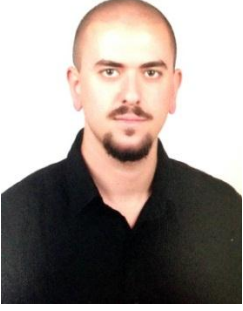
- GUTCHNIK, P. and PRAGER, R. 1934. Benennung von Veränderlichen Sternen. *Astronomische Nachrichten*, 251: 257-270.
- HADRAVA, P. 1995. Orbital Elements of Multiple Spectroscopic Stars *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 114: 393-396.
- HADRAVA, P. 2004. Disentangling of Spectra of Multiple Stars. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 318: 86-94.
- HENSBERGE, H. et al. 2007. The Eclipsing Double-lined Binaries V883 Cen and η Mus. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 379: 349-356.
- HERSCHEL, J.F.W. 1847. Results of Astronomical Observations Made During the Years 1834-1838 at the Cape of Good Hope. *Smith, Elder and co.*, London, 385 p.
- HILDITCH, R.W. 2001. An Introduction to Close Binary Stars. *Cambridge University Press*, Cambridge, 381 p.
- HUMPHREYS, R.M. 1978. Studies of Luminous Stars in Nearby Galaxies. I. Supergiants and O stars in the Milky Way. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 38: 309-350.
- JOHNSON, D.R.H. and SODERBLUM, D.R. 1987. Calculating Galactic Space Velocities and Their Uncertainties, with an Application to the Ursa Major Group, *Astronomical Journal*, 93: 864-867.
- KALTCHEVA, N.T. and GEORGIEV, L.N. 1994. Strömgren and H β Photometry of Associations and Open Clusters- III. Cen OB1 and Cru OB1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 269: 289-293.
- KAPTEYN, J.C. 1914. On the Individual Parallaxes of the Brighter Galactic Helium Stars in the Southern Hemisphere, Together with Considerations on the Parallax of Stars in General. *The Astrophysical Journal*, 40: 43-126.
- KAPTEYN, J.C. 1918a. On Parallaxes and Motion of the Brighter Galactic Helium Stars Between Galactic Longitudes 150° and 216°. *The Astrophysical Journal*, 47: 104-133.
- KAPTEYN, J.C. 1918b. On Parallaxes and Motion of the Brighter Galactic Helium Stars Between Galactic Longitudes 150° and 216°. *The Astrophysical Journal*, 47: 145-178.
- KAPTEYN, J.C. 1918c. On Parallaxes and Motion of the Brighter Galactic Helium Stars Between Galactic Longitudes 150° and 216°. *The Astrophysical Journal*, 47: 255-282.

- KAUFER, A., STAHL, O., TUBBESING, S., NØRREGAARD, P., AVILA, G., FRANCOIS, P., PASQUINI, L. and PIZZELLA, A. 1999. Commissioning FEROS, The New High-resolution Spectrograph at La-Silla. *The Messenger*, 95: 8-12.
- KOPAL, Z. 1955. The Classification of Close Binary Systems. *Annales d'Astrophysique*, 18: 379-428.
- KOPYLOV, I.M. 1958. On the Question of the Spatial Distribution of Hot-Star Groupings. *Astronomicheskii Zhurnal*, 35: 390.
- KOUWENHOVEN, M.B.N., BROWN, A.G.A., PORTEGIES ZWART, S.F. and KAPER, L. 2007. The Primordial Binary Population. II. Recovering the Binary Population for Intermediate Mass Stars in Scorpius OB2. *Astronomy and Astrophysics*, 474: 77-104.
- KREINER, J.M. 2004. Up-to-Date Linear Elements of Eclipsing Binaries. *Acta Astronomica*, 54: 207-210.
- KURUCZ, R.L. 1993. SYNTHE Spectrum Synthesis Programs and Line Data, Kurucz CD-ROM. MA: *Smithsonian Astrophysical Observatory*, Cambridge.
- LEINERT, C., ZINNECKER, H., WEITZEL, N., CHRISTOU, J., RIDGWAY, S.T., JAMESON, R., HAAS, M. and LENZEN, R. 1993. A Systematic Approach for Young Binaries in Taurus. *Astronomy and Astrophysics*, 278: 129-149.
- LINDBLAD, P.O. 1967. 21-cm Observations in the Region of the Galactic Anti-centre. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 19: 34.
- LUCY, L.B. 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, 65: 89.
- MATHIEU, R.D. 1986. The Dynamical Evolution of Young Clusters and Associations. *IN: Highlights of Astronomy*, 7: 481-488.
- McKEE, C.F. and WILLIAMS, J.P. 1997. The Luminosity Function of OB Associations in the Galaxy. *The Astrophysical Journal*, 476: 144-165.
- MEL'NIK, A.M. and EFREMOV, Yu.N. 1995. A New List of OB Associations in Our Galaxy. *Astronomy Letters*, 21: 10-26.
- MOON, T.T. and DWORETSKY, M.M. 1985. Grids for the Determination of Effective Temperature and Surface Gravity of B, A and F Stars Using uvby-beta Photometry. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 217: 305-315.
- MORGAN, W.W., WHITFORD, A.E. and CODE, D. 1953. Studies in Galactic Structure. I. A Preliminary Determination of the Space Distribution of the Blue Giants. *The Astrophysical Journal*, 118: 318-322.

- MOTL, D. 2007. C-MUNIWIN. <http://c-munipack.sourceforge.net/> [Son erişim tarihi: 08.06.2015]
- NELDER, J.A. and MEAD, R. 1965. A Simplex Method for Function Minimization. *Computer Journal*, 7: 308–313.
- NITSCHHELM, C. 2003. The Binary Population in the Sco-Cen Complex: the Present State of Knowledge and Preparation of Future Research. Astrophysics and Space Science Library, Volume 299. Open Issues in Local Star Formation. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.
- OGLOZA, W. and ZAKRZEWSKI, B. 2004. Minima of Eclipsing Binaries in the ASAS-2 Database. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5507: 1-4.
- PANNEKOEK, A. 1929. Researches on the Structure of the Universe. 2 The Space Distribution of Stars of Classes A, K and B, Derived from the Draper Catalogue. *Publications of the Astronomical Institute of the University of Amsterdam*, 2: 1-70.
- PÖPPEL, W. 1997. The Gould Belt System and the Local Interstellar Medium. *Fundamentals of Cosmic Physics*, 18: 1-271.
- RACINE, R. 1968. Stars in Reflection Nebulae. *Astronomical Journal*, 73: 233.
- RACINE, R. and van den BERGH, S. 1970. Reflection Nebulae and Spiral Structure. *International Astronomical Union. Symposium* 38: 219.
- RASMUSON, N.H. 1921. *Lund Medd. Astron. Obs., Ser. II*, 26: 1.
- RASMUSON, N.H. 1927. *Lund Medd. Astron. Obs., Ser. II*, 47b: 1.
- RUCINSKI, S.M. 1969. The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes. *Acta Astronomica*, 19: 245.
- RUPRECHT, J. 1966. Classification of Open Star Clusters. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, 17: 33.
- SÁNCHEZ, N., ALFARO, E.J., ELIAS, F., DELGADO, A.J. and CABRERA-CAÑO, J. 2007. The Nature of the Gould Belt from a Fractal Analysis of Its Stellar Population. *The Astrophysical Journal*, 667: 213-218.
- SANDQVIST, A., TOMBOULIDES, H. and LINDBLAD, P.O. 1988. H I and H₂CO in Dark Dust Clouds along Gould's Belt. *Astronomy & Astrophysics*, 205: 225-234.
- STRAIZYS, V. and KURILIENE, G. 1981. Fundamental Stellar Parameters Derived from the Evolutionary Tracks. *Astrophysics and Space Science*, 80: 353-368.

- STRÖMGREN, B. 1956. Two-dimensional Spectral Classification of F Stars Through Photoelectric Photometry with Interference Filters. *Vistas in Astronomy*, 2: 1336–1346.
- TETZLAFF, N., NEUHÄUSER, R., HOHLE M.M. and MACIEJEWSKI, G. 2010. Identifying Birth Places of Young Isolated Neutron Stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 402: 2369-2387.
- TIAN, K.P., van LEEUWEN, F., ZHAO, J.L. and SU, C.G. 1996. Proper Motions of Stars in the Region of the Orion Nebula Cluster. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 118: 503-515.
- TOVMASSIAN, H.M. 1991. *Astrofizika*, 35: 373.
- TOVMASSIAN, H.M., NAVARRO, S.G. and CARDONA, O. 1996. OB Stellar Associations in Crux. II. Analysis and Discussion, *The Astrophysical Journal*, 111: 306.
- van den BERGH, S. 1966. A Study of Reflection Nebulae. *Astronomical Journal*, 71: 990-998.
- van HAMME, W. 1993. New Limb-darkening Coefficients for Modeling Binary Star Light Curves, *Astronomical Journal*, 106: 2096-2117.
- WARREN, W.H. and HESSER, J.E. 1977. A Photometric Study of the Orion OB 1 Association. I - Observational Data. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 34: 115-206.
- WILLIAMS, J.P. and McKEE, C.F. 1997. The Galactic Distribution of OB Associations in Molecular Clouds. *The Astrophysical Journal*, 476: 166-183.
- WILSON, R.E. 1994. Binary-star Light Curve Models. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 106: 921-941.
- WILSON, R.E. and DEVINNEY, E.J. 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *The Astrophysical Journal*, 166: 605.
- WOLF, G.W. and KERN, J.T. 1983. A uvby, β Photometric Survey of Southern Hemisphere, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 52: 429.
- ZACHARIAS, N., FINCH, C.T., GIRARD, T.M., HENDEN, A., BARTLETT, J.L., MONET, D.G. and ZACHARIAS, M.I. 2013. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *The Astronomical Journal*, 145: 14.
- ZUCKERMAN, B. and PALMER, P. 1974. Radio Radiation from Interstellar Molecules. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 12: 279-313.

ÖZGEÇMİŞ



Efecan TUNÇ 1987 yılında Çanakkale'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Fethiye'de tamamladı. 2006 yılında yerleştiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nden 2011 yılında Astronom olarak mezun oldu. 2012 – 2013 yılları arasında, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğreniminin ders aşamasını tamamladı. Ardından 2013 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda yeniden Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Yine aynı tarihten bu yana Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.