

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

O, B ve A YILDIZLARINDA P-CYGNI PROFİLLERİ

ÇANAKKALE

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

O, B ve A YILDIZLARINDA P-CYGNI PROFİLLERİ

Çağlar PÜSKÜLLÜ

Uzay Bilimleri ve Teknolojileri

Tezin Sunulduğu Tarih: **02/07/2010**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN

ÇANAKKALE

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

ÇAĞLAR PÜSKÜLLÜ tarafından **DOÇ. DR. FARUK SOYDUGAN** yönetiminde hazırlanan **"O, B ve A YILDIZLARINDA P-CYGNI PROFİLLERİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN
Danışman

Prof. Dr. Osman DEMİRCAN
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Erdal EKİCİ
Jüri Üyesi

Sıra No: ……
Tez Savunma Tarihi: 02/07/2010

Prof. Dr. İsmail TARHAN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi BAP tarafından 2009/05 no'lu projeden desteklenmiştir.

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Çağlar PÜSKÜLLÜ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkışında, gerçekleşmesinde ve sonuçlandırılmasında büyük katkıları bulunan danışman hocam Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN'a, Masaryk Üniversitesi Astrofizik Bölümü'nde geçirdiğim üç aylık kısa dönemde eş-danışmanlığımı yürüten ve bu konu üzerinde ilerlememi sağlayacak bilgilerini bana aktaran Ass. Prof. Jiří KRTIČKA'ya, aynı zamanda çalışma süresince önerilerini ve desteklerini esirgemeyen hocalarım, Prof. Dr. Osman DEMİRCAN, Prof. Dr. Ahmet ERDEM ve Prof. Dr. Edwin BUDDING'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çağlar PÜSKÜLLÜ

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$M_\odot$	Güneş kütlesi, $1{,}99\times10^{33}$ gr
$R_\odot$	Güneş yarıçapı, $6{,}96\times10^{5}$ km
$L_\odot$	Güneşin ışınım gücü
M_*	Yıldız kütlesi
R_*	Yıldızın yarıçapı
L_*	Yıldızın ışınım gücü
T_{e}	Yıldızın etkin sıcaklığı
M_{e}	Yıldızın etkin kütlesi
$v\ sin\ i$	Yıldızın dönme hızı
OB	O ve B tayf türünden yıldız
OBA	O, B ve A tayf türünden yıldız
WR	Wolf-Rayet tür yıldız
AGB	Asymptotic Giant Branch (Asimtotik Devler Kolu)
CSPNe	Central Stars of Planetary Nebulae (Gezegenimsi nebulanın merkez yıldızı)
EHe	Extreme Helium stars (Ekstrem Helyum Yıldızları)
ZAMS	Zero Age Main Sequence (Sıfır yaş anakol yıldızları)
HR	Hertsprung-Russell diyagramı
$\dot{M}$	Kütle kayıp oranı
v_∞	Yıldız rüzgârının terminal hızı
$v_{bakış}$	Yıldız rüzgârının gözlemci bakış doğrultusundaki hızı
$v_{kaçış}$	Yıldız rüzgârının yıldız yüzeyinden kaçış hızı
M_{bol}	Bolometrik parlaklık
CAK	Castor, Abbott, Klein (Işınım basıncıyla sürülen rüzgârlar kuramının geliştiricileri)
NLTE	Non-Local Thermal Equilibrium (Yerel olmayan termodinamik denge)
SEI	Sobolev with exact integration (SEI yöntemi)
CMF	Comoving-frame (CMF yöntemi)
Å	Angstrom
NASA	Amerikan Ulusal Uzay ve Havacılık Dairesi
ESA	Avrupa Uzay Dairesi
MAST	The Multimission Archive at STScI (Uzay Teleskopları Enstitüsü Uzay Görevleri Veri Arşivi)

STScI	Space Telescope Science Institute (Uzay Teleskopları Enstitüsü)
IUE	International Ultraviolet Explorer (Uluslar arası Morötesi Gözlem Uydusu)
FUSE	Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (Uzak Morötesi Tayfsal Gözlem Uydusu)
SWP	Short-Wavelength Spectrograph Prime (Kısa dalgaboylu ana tayçeker)
SWR	Short-Wavelength Spectrograph Redundant (Kısa dalgaboylu ikincil tayçeker)
LWP	Long-Wavelength Spectrograph Prime (Uzun dalgaboylu ana tayçeker)
LWR	Long-Wavelength Spectrograph Redundant (Uzun dalgaboylu ikincil tayçeker)
HD	Henry Draper Yıldız Kataloğu
VO	Virtual Observatory (Sanal Gözlemevi)
K	Kaynak

ÖZET

O, B ve A YILDIZLARINDA P-CYGNI PROFİLLERİ

Çağlar PÜSKÜLLÜ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitisü
Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN
02/07/2010, 102

O, B ve A tayf türü yıldızlarda rüzgârın başlıca gözlemsel belirteci olan P-Cygni profilleri, 209 yıldızın tayflarında arandı. Moröte bölgede çeşitli çizgiler ile görsel bölgede Hα (6562.8 Å) çizgisi incelendi. P-Cygni profillerinin biçimselliklerinin yıldızların mutlak parametreleriyle ve dönme hızlarıyla ilişkisi üzerinde duruldu. Bu amaçla profillerinin baskınlıklarına göre değerlendirilen yıldızların parametreleriyle profillerin baskınlık dereceleri için dağılım grafikleri oluşturuldu. Dağılım grafiklerinden ve ortalama dağılım hesabından elde edilen sonuçlara göre profillerin etkin sıcaklığı yaklaşık 20000 K'den, ışınım güçleri yaklaşık 4,7 $\log L/L_{\odot}$'den büyük yıldızlarda baskın olarak ortaya çıktıları bulundu ve bu tür yıldızların yarıçaplarının çok dar bir aralıkta ($\langle logR \rangle = 1{,}4 \pm 0{,}2$) dağıldıkları saptandı. P-Cygni profili gösteren 46 yıldızın dönme hızlarının dağılım ortalaması 98 km/s olarak hesaplandı ve genellikle çok yüksek hızlarda ($vsin\ i > 150$ km/s) baskın profillere rastlanmadı.

PROF yazılımı (Olah ve ark., 1992; Olah ve ark., 1998) ile bazı yıldızlar için moröte ve görünür bölgede alınmış tayflar kullanılarak dönme hızları belirlendi. HD 91572 için 78 ± 2 km/s olarak hesaplanan dönme hızı değeri, ilk defa bu çalışmada sunuldu.

P-Cygni profillerini de örnekleyen atmosfer modeli uygulaması WM-Basic (Pauldrach ve ark., 1998) ile bazı yıldızlar için yapay tayflar üretilerek gözlemsel verilerle karşılaştırıldı ve yazılımın bu yıldızlar için hesapladığı rüzgârın kütle kaybı oranları ve terminal hızları sunuldu. $\dot{M} \propto L^{1,46}$ ilişkisi elde edildi; ki bu değerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Anahtar sözcükler: sıcak yıldız rüzgârı, p-cygni profili, dönme hızı.

ABSTRACT

P-CYGNI PROFILES OF O, B and A STARS

Çağlar PÜSKÜLLÜ
Çanakkale Onsekiz Mart University
Graduate School of Science and Engineering
Chair for Space Sciences and Technologies Thesis of Master of Science
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
02/07/2010, 102

P-Cygni profiles which is the distinct observational proof of stellar winds, were searched in listed 209 O, B and A spectral type stars. This survey was done to many spectral lines in UV and optical region Hα (6562.8 Å). Relation between absolute parameters and rotational velocities of stars with morphology of the P-Cygni profiles were discussed. Dominant profiles are coming out in stars with $T_e \gtrsim 20000$ K and $\log L/L_\odot \gtrsim 4{,}7$ in very narrow radius distiribution ($\langle logR \rangle = 1{,}4 \pm 0{,}2$). 46 stars which have P-Cygni profiles are rotating in a range 98 km/s that is issued by the standard deviation.

PROF (Olah et. al., 1992; Olah et. al., 1998) was used to calculate rotational velocity ($vsin\,i$) of some stars at the list. $vsin\,i$ of HD 91572 was presented to literature as 78 ± 2 km/s for the first time.

WM-Basic (Pauldrach et. al., 1998) was performed to generate the synthetic model spectra which has represantative P-Cygni profiles. Calculated mass-loss rate and terminal velocities was presented. Mass-loss rate – luminosity relation was obtained $\dot{M} \propto L^{1,46}$. This value is compatible with literature.

Keywords: hot star winds, p-cygni profiles, rotational velocity.

İÇERİK

Sayfa

TEZ SINAV SONUÇ FORMU ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vii
ABSTRACT viii
BÖLÜM 1 – GİRİŞ 1
1.1. Tarihçe 2
1.2. Sıcak Yıldızlarda Rüzgâr 4
1.3. Yıldız Rüzgârının Temel Parametreleri 5
1.4. P-Cygni Profilleri 6
BÖLÜM 2 – MATERYAL ve KAYNAKLARI 11
2.1. Veri Arşivleri ve Kaynakları 12
2.1.1. Morötesi Tayf Verisi 12
2.1.1.1. Uluslar arası Morötesi Gözlem Uydusu (IUE) 12
2.1.1.2. Uzak Morötesi Tayfsal Gözlem Uydusu (FUSE) 13
2.1.2. Görünür Işık Tayf Verisi 13
2.1.2.1. Elodie 14
2.2. Veri Listesi 14
2.3. Çizgi Listesi 17
BÖLÜM 3 – ARAŞTIRMA ve YÖNTEM 20
3.1. OBA Yıldızlarının Temel Özellikleri 20
3.2. Rüzgâr gösteren OBA yıldızları 21
3.3. Sıcak Yıldız Rüzgârlarının Gözlemi 23
3.4. Tayf Çizgilerinin ve P-Cygni Profillerinin Sınıflandırılması 27
3.5. P-Cygni Profilleri ile Yıldızların Mutlak Parametreleri ve Dönme Hızları Arasındaki İlişkiler 38
3.5.1. P-Cygni Profilleri ve Yıldızların Mutlak Parametreleri 38
3.5.2. P-Cygni Profilleri ve Yıldızların Dönme Hızı 41
3.6. P-Cygni Profilleri ve Atmosfer Model Uygulamaları 50
3.6.1. WM-Basic ve Uygulaması 52

BÖLÜM 4 – SONUÇLAR ve TARTIŞMA 60
KAYNAKLAR 68
Ekler I
Çizelgeler XV
Şekiller XVI
Özgeçmiş XVIII

BÖLÜM 1
GİRİŞ

Birçok yıldız, sadece ışınım yaymakla kalmaz, aynı zamanda atmosferlerinin üst katmanlarındaki maddenin bir kısmını da salarlar. Atılan bu madde, atomlar, iyonlar ve/veya elektronlar şeklinde olur ve **"yıldız rüzgârı"** olarak adlandırılır.

Astronomlar, geçtiğimiz kırk yıl içinde *neredeyse* tüm yıldızların yaşamlarının büyük kısmında yıldız rüzgârları nedeniyle kütle kaybettiğini keşfettiler. Yapılan araştırmalar, bu yolla kaybedilen kütlenin bir yıldızın doğumundan ölümüne kadar olan süreci değiştirebilecek boyutlara ulaştığını gösterdi.

Yıldız rüzgârı, sadece üretildiği yıldızı etkileyen bir süreç değildir. Aynı zamanda yıldızlararası ortamda yarattıkları basınç dalgalarıyla yeni yıldızların doğumu için gerekli ve yeterli şartı yaratabilir, ortamdaki kimyasal kompozisyona katkıda bulunabilir ve hatta gökadaların dinamiğini dahi değiştirebilir.

Yıldız rüzgârlarının yapısı, oluşum mekanizması, yıldıza ve yıldızlararası ortama etkisi, astrofiziğin birçok araştırma alanından bir tanesidir ve kendi içinde alt araştırma dallarına ayrılmıştır. Bu ayrım, yıldızların özelliklerine bağlı olarak rüzgârı yaratan süreçlerin farklılığından kaynaklanmaktadır. Bu tezde özelde sıcak yıldız rüzgârlarının gözlemsel belirteci olan P-Cygni profilleri ve profil özelliklerinin yıldız parametreleriyle olan ilişkisi üzerinde durulmaktadır.

Sıcak yıldızlar, A ve daha erken tayf türüne sahip yıldızlar olarak bilinir. Bu tür yıldızların yüzey sıcaklıkları 7500 K'den fazladır. Bu sıcaklıktan 1300 K'e kadar olan aralıkta yer alan yıldızlara ise "soğuk yıldızlar" denir.

Soğuk yıldızlarda rüzgârlar, temelde manyetik alan kaynaklıdırlar. Bunun dışında madde kaybına ilişkin birkaç farklı süreç daha mevcuttur (bkz. Çizelge 1) ve bu kuramların çoğu, Güneş üzerine yapılan araştırmaların sonucunda türetilmiştir.

Parker (1958), güneşte meydana gelen rüzgârların kaynağının atmosferdeki basınç değişimleri olduğunu ileri sürdü. Öyle ki gezegenler arası insansız uzay araçlarının yaptığı gözlemler, güneş rüzgârının özelliklerinin zamanla değiştiğini gösteren kanıtlar sundu. Bunu açıklamak için Alfvén dalgalarıyla üretilen rüzgâr teorisi geliştirildi (Parker, 1965; Alazraki ve Couturier, 1971; Belcher, 1971). Dönmenin oluşturduğu manyetik alanların rüzgâr üzerindeki etkileri, Weber ve Davis (1967)'in geliştirdiği "manyetik döndürücü" *(magnetic rotator)* kuramı ile açıklanmaya çalışıldı. Öne sürülen model, açısal momentumun yıldızdan rüzgâra aktarıldığını söylüyordu. Kuram, aynı zamanda

gökbilimde cevaplanmayı bekleyen bir soruyu -güneşin neden beklenenden yavaş döndüğünü- "manyetik frenleme" ile açıklıyordu (Lamers ve Cassinelli, 1999).

Çizelge 1. Yıldız rüzgârına neden olan kayıp mekanizmaları (Tanrıver, 2005)

Rüzgâr türü	Görüldüğü Yıldızlar	Oluşumu
Koronal rüzgârlar	Birkaç 10^6 K dolaylarında korona sıcaklığına sahip soğuk yıldızlar	Yıldız koronasında yüksek sıcaklıktaki gaz basıncıyla meydana gelirler.
Işınım basıncıyla sürülen rüzgârlar	Yüksek atmosfer sıcaklığına sahip yıldızlar	Yıldız atmosferinde yüksek derecede iyonize olmuş iyonların ışınım basıncıyla ivmelendirilmesiyle oluşurlar.
Toz rüzgârları	~10^3 K'den daha soğuk yıldızlar	Işınım basıncı tarafından soğuk yıldızların zarfında yer alan tozlar tarafından oluşturulurlar.
Salınımın (pulsasyon) etkisiyle oluşan rüzgârlar	Mira ve AGB yıldızları gibi pulsasyon yapan soğuk süperdev yıldızlar	Dış atmosfer tabakalarında pulsasyonun yarattığı basınç dalgalarla oluşurlar.
Ses dalgalarıyla sürülen rüzgârlar	Soğuk yıldızlar	Fotosferin hemen altındaki konvektif bölgede üretilen ses dalgalarının yaratığı basıncın etkisiyle oluşurlar.
Alfvén dalgalarının oluşturduğu rüzgârlar	Manyetik etkinliğe sahip yıldızlar	Fotosferde açık manyetik alan bölgelerinde üretilirler.
Manyetik dönmeyle oluşan rüzgârlar	Manyetik etkinliğe sahip yıldızlar	Dönmenin ve manyetik alanın ortak etkisi sonucu oluşmaktadır.

Sıcak yıldızlarda ise işleyiş çok daha farklıydı. Buradaki mekanizma, "ışınım basıncının sürdüğü rüzgâr" *(radiation driven wind)* kuramına dayandırılıyordu.

Yukarıda yer alan Çizelge 1'de yıldızlarda rüzgâra neden olan kayıp mekanizmaları, rüzgâr türlerine yer verilmiştir.

1.1. Tarihçe

"Güneş rüzgârı" ve "yıldız rüzgârı" tanımlaması ilk olarak Parker (1958, 1960) tarafından yapıldı. Fakat yıldızlardan kütle kaybı gerçekleştiğine dair fikirlerin temeli çok daha öncesine dayanmaktaydı.

Tayflarında genişlemiş salma çizgileri gösteren nova benzeri birkaç yıldız üzerine yapılan çalışmalar, konunun gelişiminin ilk evrelerini oluşturmaktadır. Novalar, aniden parlama göstererek sahip olduğu maddeyi yüksek hızlarda uzaya salan gökcisimleridir. 1572 yılında Tycho Brahe'nin gözlediği ve yeni bir yıldız olarak not düştüğü bir nova, mükemmel olmayan küresel cisimlerin çalışmalarının da başlangıç noktası olarak

kabul edilmektedir. Şimdilerde Tycho'nun gözlediği bu yeni yıldızın gerçekte, ender rastlanan bir süpernova patlaması olduğunu biliyoruz. Bu patlama, gündüz vakti bile görülebiliyordu ve patladığı andan itibaren 16 ay boyunca gökyüzünün en parlak cisimlerindendi. Bir sonraki önemli gök olayı ise Tycho'dan 28 yıl sonra Blaeu (1600) tarafından gözlenen, sonraları "P Cygni" adını alacak diğer bir yeni yıldızın keşfidir. Bu yıldızın bir nova olmadığını biliyoruz. P Cygni, güçlü yıldız rüzgârları gösteren ve parlak mavi değişen bir yıldız olarak sınıflandırılmaktadır. P Cygni yıldızının o zamanlardaki parlaklığı, 3 kadire kadar çıktığında gelecek altmış yılda göstereceği en fazla ışık değişimini gösteriyordu. Fakat sonraları oldukça sabit bir parlaklığa erişti. 19. yüzyılda yapılan optik tayf gözlemleri, P Cygni'nin tayfında, diğer gökcisimlerinin tayfında da göze çarpan özel çizgi yapılarını ortaya çıkardı. Bundan sonra "P-Cygni çizgi profili" adını alan bu yapılar, çizgi merkezinin uzun dalgaboylu tarafında görülen salma profili ile çizgi merkezine göre kısa dalgaboyuna kaymış soğurma çizgilerini birlikte barındırıyordu. Bu tür yapılar, rüzgâr gösteren yıldızların keşfinde önemli bir rol oynamaktadır.

On dokuzuncu yüzyılın sonlarında tayfsal ve fotoğrafik yöntemlerin gelişmesiyle tayflarında profilleri görebildiğimiz novalar ayrıntılı olarak fotoğraflandılar. Bu fotoğraflar, patlamanın olduğu noktadan başlayarak dışa doğru yayılmış, yıldızı saran bir zarfın olduğunu gösterdi. Zarfın çapı zamanla artıyordu; diğer bir ifadeyle merkezde yer alan yıldızdan başlayarak genişliyordu.

Wolf ve Rayet (1867), novalarda ve P Cygni'de görülen tayf çizgilerini, yeni bir tür olarak kabul ettikleri bazı yıldızların tayflarında da keşfettiler. Novalar ile Wolf-Rayet yıldızları arasında bulunan güçlü benzerlikler, Beals (1929) tarafından Wolf-Rayet yıldızlarında meydana gelen devamlı madde atımı kuramıyla ilişkilendirildi. Chandrasekhar (1934), yıldızların genişlemiş atmosferlerini tanımlayan katı cisim kuramını geliştirdi. Kosirev (1934), Chandrasekhar (1934)'ın sürekliliğini ve çizgi profil tanılarını, bir Wolf-Rayet yıldızının gözlemsel verisi üzerinden kütle kaybı oranı ve terminal hızları belirlemede kullandı. Kosirev (1934), bu yıldızın kütle kaybı oranını yıl başına 10^{-5} $M_{\odot}$, en büyük genişleme hızını ise yaklaşık 1000 km/s olarak hesapladı. 1930'ların ortalarına gelindiğinde astronomlar, bazı sıcak yıldızların hızla genişleyen atmosferlerinin oldukça karmaşık doğasını anlamayı başardılar.

Tayfsal kanıtlara ek olarak yıldız içyapı modelleri, madde kaybının olası olduğu yıldızları belirlemede kuramsal bilgiler sağladı. Wilson (1960), bir yıldızda kütle kaybından söz edebilmemiz için yıldızın beyaz cüce evresine geçmemiş;

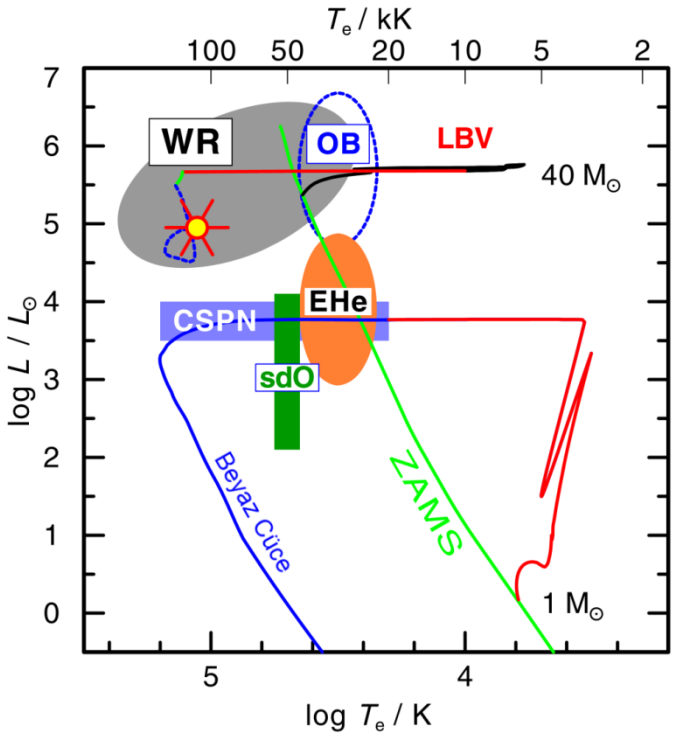
dolayısıyla kütlesinin, $1{,}4\,M_{\odot}$ olan Chandrasekhar limitinin üstünde olması gerekli olduğunu söyledi (Lamers ve Cassinelli, 1999).

1.2. Sıcak Yıldızlarda Rüzgâr

Sıcak yıldızlarda rüzgârlar, yıldız atmosferlerinde ışınım basıncının kütle çekim kuvvetine karşı gelebildiği bölgelerde görülür. Rüzgârı oluşturan madde parçacıkları, yıldız ışınımının yarattığı basıncın etkisiyle atmosferin alt katmanlarından üst katmanlarına sürülerek hızla dışarı atılır. Bu mekanizma, ışınımı yüksek, büyük kütleli yıldızlarda çalışmaktadır.

Rüzgârın gözlemsel belirteci, baskın olarak yıldızın tayfında karşımıza çıkmaktadır. Yıldızdan dışarı atılan madde, zamanla yıldızın etrafında kalın bir zarf oluşturur. Bu zarf, özellikle salma ve soğurma çizgilerinin kaynağıdır. Rezonans çizgileri olarak adlandırılan tayf çizgileri, yıldız atmosferini dolayısıyla zarfı oluşturan elementlerin atomları tarafından üretilir ve atomda en alt enerji seviyesinden üst seviyelere olan elektron geçişlerinin sonucudur. Bu geçişlerin enerjisi, elektromanyetik tayfta dalgaboyu aralığı 100 ile 4000 Å olarak tanımlanan moröte bölgeye düşmektedir. Bu nedenle gözlemsel veriler, çoğunlukla moröte bölgede yapılmış gözlemlerden karşılanmaktadır. Bununla birlikte Hertsprung-Russell (HR) diyagramının sadece sol üst köşesine düşen yıldızlar, X-ışınından radyo frekansına kadar olan tüm enerji aralığında gözlenebilir rüzgâr belirteçleri gösterirler (Howarth ve Prinja, 1989).

Moröte bölgedeki rezonans çizgilerinin, güçlü ışınım basıncı yaratabileceği ilk olarak Lucy ve Solomon (1970) tarafından keşfedildi. Beş yıl sonra Castor, Abbott ve Klein (1975), kısaca CAK olarak adlandırılan ışınım basıncıyla oluşturulan -sürülen- sıcak yıldız rüzgârları teorisini ortaya attılar. Sonraları, Abbott (1982), Pauldrach ve ark. (1986) ve Kudritzki ve ark. (1989) tarafından geliştirilen kuram, kütle kaybı oranının parlaklığa güçlü, yüzey çekim ivmesine zayıf bir şekilde bağlı olduğunu ortaya koyuyordu.



Şekil 1. Kütle kaybı gösteren birçok tür sıcak yıldızın HR diyagramındaki dağılımı (Hamann, 2010).

O veya B tür yıldızlar (OB yıldızları), Parlak Mavi Değişen Yıldızlar (LBV) ya da Wolf-Rayet yıldızları (WR) gibi büyük kütleli yıldızlar, hayatlarının son aşamasında süpernova olarak patlamadan önce büyük miktarlarda kütle kaybederler. Düşük kütleli sıcak yıldızlar arasında gezegenimsi bulutsunun merkez yıldızında (CSPNe) yıldız rüzgârına rastlanmaktadır. Bunlar, HR diyagramında Asimtotik Devler Kolundan Beyaz Cüce bölgesine doğru ilerlerler. Ekstrem Helyum Yıldızları (EHe) ve Altcüce O yıldızları da kütle kaybının işaretlerinin bulunduğu düşük kütleli yıldızlardır. Kütle kaybı gösteren herhangi bir O türü yıldız için seçilen en genel örnek, O5 tayf türü süperdev olan ζ Puppis yıldızıdır. Şekil 1, birçok farklı tür sıcak yıldızın HR diyagramı üzerindeki dağılımını göstermektedir. Şekilde sıfır yaş anakol yıldızları (ZAMS) olarak belirtilen eğri ile birlikte büyük kütleli ($40\,M_\odot$) yıldızların ve güneşin ($1\,M_\odot$) evrim yolunu da içermektedir (Hamann, 2010).

1.3. Yıldız Rüzgârının Temel Parametreleri

Yıldız rüzgârı gözlemleri ile iki önemli parametreye ulaşılabilir. Bunlardan ilki yıldızın birim zamanda kaybettiği madde miktarını veren **kütle kaybı oranı** ($\dot{M}$), diğeri yıldız maddesinin, rüzgârla yıldızdan ulaşabildiği en uzak noktadaki hızı,

terminal hız (v_∞) ifadesidir. Kütle kaybı oranı, her zaman pozitif değerlidir ve güneşin bir yılda kaybettiği kütle miktarı birimindedir: 1 $M_\odot$yıl^{-1} = 6,303×10^{25}g s^{-1}.

$\dot{M}$ = 10^{-6} $M_\odot$yıl^{-1} ile verilen kütle kaybı oranına sahip bir yıldız için bu değer çok alışıldık karşılanmaktadır ki bu miktar, Yer kütlesinin üç katına eşittir. Soğuk süperdev bir yıldızda ölçülen terminal hız (v_∞), 10 km s^{-1} değerinde iken parlak sıcak bir yıldızda 3000 km s^{-1} değerine ulaşabilir (Lamers ve Cassinelli, 1999).

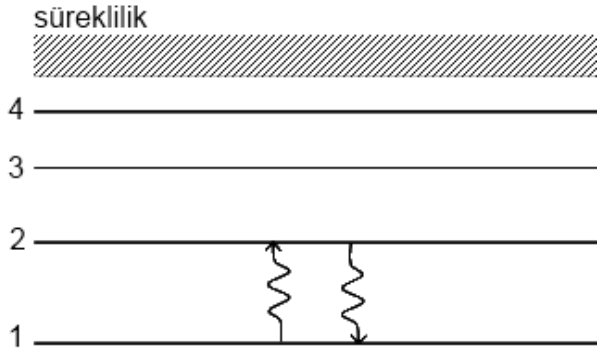
Çizelge 2, farklı türlerdeki yıldızlar için ortalama kütle kaybı oranı ve terminal hız değerlerini vermektedir (Puls, 2010).

Çizelge 2. Yıldızlar ve rüzgârlarının mutlak parametrelerinin ortalama değerlerinin karşılaştırılması (Puls, 2010).

	Güneş	**Kırmızı Süperdev**	**Mavi Süperdev**
Kütle [$M_\odot$]	1	1 – 3	10 – 100
Işınım Gücü [$L_\odot$]	1	10^4	10^5 – 10^6
Yarıçap [$R_\odot$]	1	400	10 – 200
Etkin Sıcaklık [K**]**	5570	2500	10^4 – 5 x 10^4
Rüzgâr Sıcaklığı [K**]**	10^6	1000	8000 – 40000
Kütle Kaybı Oranı [$M_\odot$yıl^{-1}]	10^{-14}	10^{-6} – 10^{-4}	10^{-6} – 10^{-5}
Terminal Hız [km/s**]**	500	30	200 – 3000
Yaşam Süresi [yıl**]**	10^{10}	10^5	10^7
Toplam Kütle Kaybı [$M_\odot$]	10^{-4}	$\gtrsim$ 0,5	Toplam kütlenin %90'ı

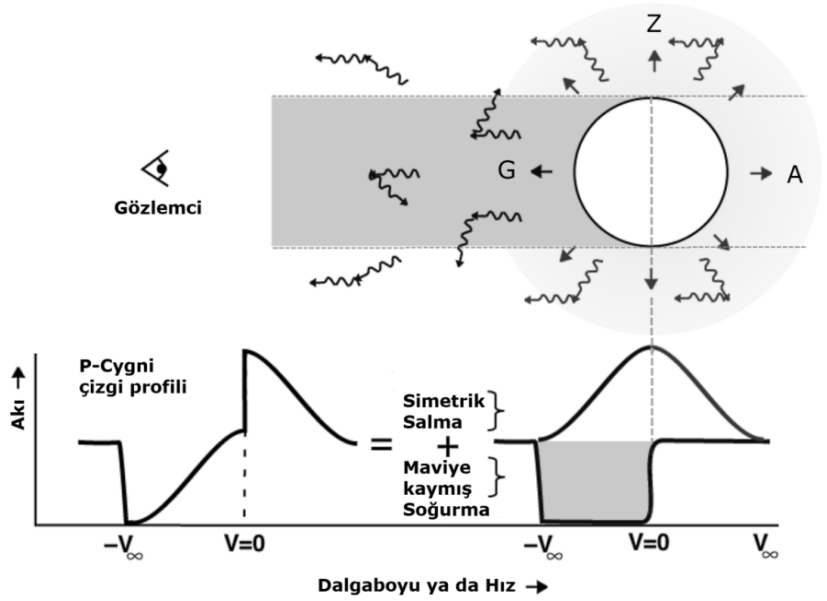
1.4. P-Cygni Profilleri

Atomik rezonans geçişlerinin oluşturduğu yüksek osilator şiddetine sahip iyonları atmosferlerinde çokça barındıran yıldızlar, tayflarında madde atımı kaynaklı Doppler kayması gösteren soğurma çizgilerine sahiptirler. Eğer rüzgârda soğurulan iyonların gözlemci ile yıldız fotosferi arasında kalan kolon yoğunluğu 10^{13} - 10^{14} iyon cm^{-2} aralığında ise rezonans çizgileri zayıf fakat gözlenebilir soğurma bileşeni gösterecektir. Eğer soğurulan iyonların kolon yoğunluğu 10^{15} iyon cm^{-2} 'den daha büyükse bu çizgi maviye kaymış soğurma bileşeni ile birlikte salma bileşeni gösterecektir ki bu yapı, **P-Cygni profili** olarak adlandırılır.



Şekil 2. Yıldız rüzgârında çizgi saçılmasının atomik düzeyde gösterimi.

Fotosferden salınan bir foton, zarftaki bir atom tarafından soğurulduğunda bir elektronu uyararak en alt düzeyden (1'den), bir üst enerji düzeyine (2'ye) çıkarır. Çok kısa bir süre sonra elektronun önceki seviyesine geri dönmesiyle foton salınır. Bu durumda salınan foton, soğurulan fotonla her zaman aynı frekansa sahiptir. Foton, farklı bir yönde salındığı için bu sürece "çizgi saçılması" denir (bkz. Şekil 2). Atomun alt enerji seviyelerinden gerçekleşen çizgi geçişleri önemlidir; çünkü bir elektronun doğal olarak alt seviyelerde bulunma süresi çok kısadır (10^{-10}'dan 10^{-9} saniyeye). Eğer çizgi saçılması, atomun en alt enerji seviyesinden gerçekleşirse bu yolla üretilen çizgilere "rezonans çizgileri", bu tür saçılmaya da "rezonans saçılması" denir. Gözlenen birçok P-Cygni profili, rezonans saçılmasıyla oluşmuştur. (Lamers ve Cassinelli, 1999).

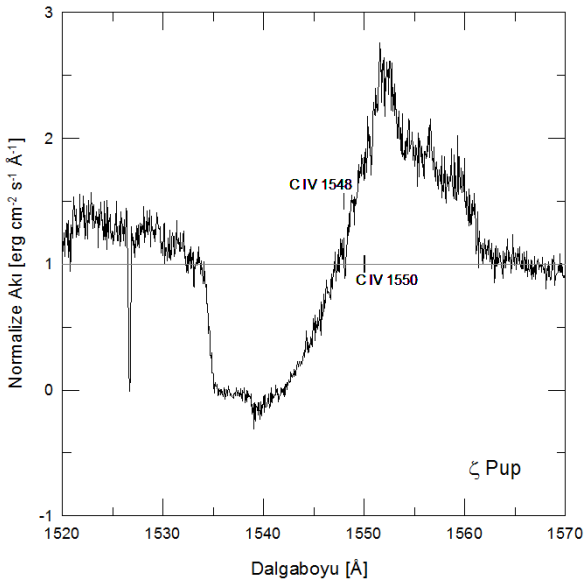


Şekil 3. P Cygni çizgi profilinin oluşumunun şematik açıklaması (Owocki, 2001).

Moröte bölgede yer alan rezonans çizgilerinde görülen P-Cygni profilleri, rüzgar varlığına kanıt olarak sunulur. Şekil 3'te profil oluşumunun bir gösterimi yer almaktadır (Owocki, 2001). Profiller, rüzgârla genişlemiş atmosferin (zarfın) bir sonucu olarak ortaya çıkar. Gözlemcinin bakış doğrultusuna göre bu zarfın yıldız fotosferinin sınırladığı diskin dışında kalan kısmı salma, içinde (önünde) kalan kısmı soğurma çizgileri oluşturur. Soğurma bölgesinden gelen fotonlar, gözlemciye doğru yaklaşarak genişleyen zarftan dolayı Doppler etkisiyle çizgi merkezine göre kısa dalgaboyuna (maviye) kayarlar. Bunun sonucu olarak çizgi merkezine göre kısa dalgaboyuna kaymış bir soğurma bileşeniyle salma bileşeninin toplamı P-Cygni profilini meydana getirir.

P-Cygni profili gösteren yıldızlar, ilk olarak Snow ve Morton (1976) ve tekrar daha kapsamlı olarak Snow ve ark. (1994) tarafından listelendi. İlk çalışmada *Copernicus*; ikincisinde *The International Ultraviolet Explorer* (IUE) gözlem uydusundan alınmış yıldızlara ilişkin verilerin incelenmesi, rüzgâr varlığına kanıt olabilecek gözlemsel bilgilerin bolometrik parlaklık (M_{bol}) değeri yaklaşık -6^{m}'dan daha fazla olan yıldızlarda elde edilebileceğini gösterdi. P-Cygni profilinden kütle kaybı oranının bulunmasına yönelik ilk çalışma ise Lamers ve Morton (1976) tarafından yapıldı.

Erken tür yıldızlarda morötesi P-Cygni profilleri, birçok yazar tarafından özellikle rüzgârın hız yasası ve kütle kaybı oranını elde etme amacıyla çalışıldı (Groenewegen ve ark., 1989; Howarth ve Prinja, 1989; Prinja ve ark., 1990; Lamers ve ark., 1995).



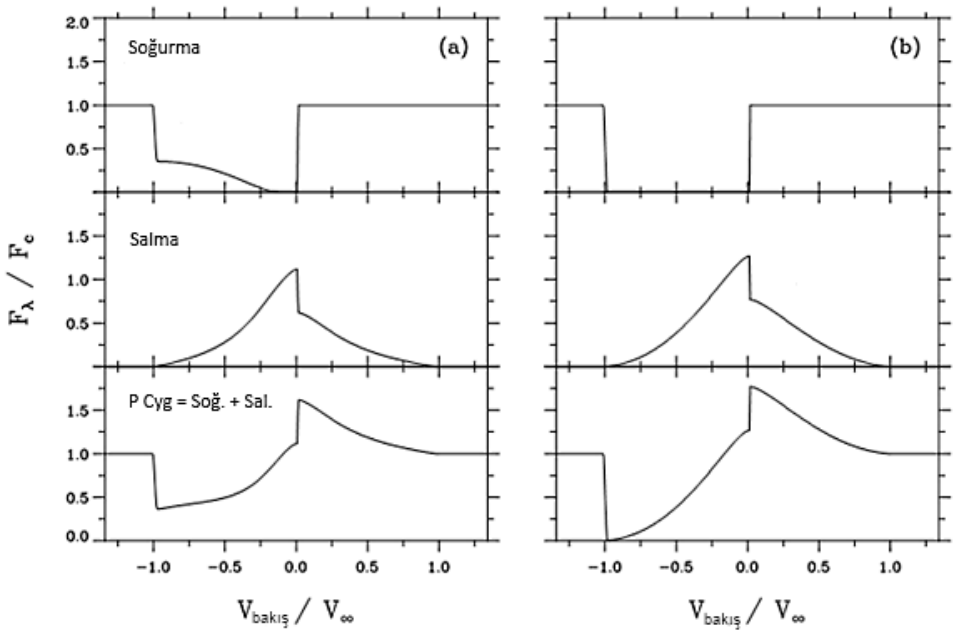
Şekil 4. ζ Puppis'in IUE gözlem uydusuyla alınmış tayfında C IV ikili çizgisinde belirgin olarak göze çarpan P-Cygni profili.

Çizgi yapısının P-Cygni olarak tanımlamasının nedeni, morötesi ve görsel tayfında yaklaşık 137 benzeri çizgi barındıran B1 yıldızı P Cygni'den ileri gelmektedir (Struve ve Roach, 1939; Beals, 1949).

Profiller, yüksek sıcaklıklar nedeniyle baskın olarak morötesi tayfında yer alan yüksek iyonize çizgilerde gözlenir. Çizgiler, etkileşimin çok baskın olduğu, yeteri kadar metalik element yoğunluğunun bulunduğu yıldızlarda baskın olarak üretilirler.

Profiller, şiddetleri değişken olmakla birlikte sıklıkla, O ve erken B tür yıldızlarda morötesi C IV, N V ve Si IV çizgilerinde, geç B'den A türe kadar olan yıldızlarda C II; B yıldızlarından M'ye kadar olanlarda ise Mg II morötesi tayf çizgisinde gözlenir. Optik çizgilerdeki profiller, ancak çok güçlü rüzgârların etkisiyle oluşurlar (Lamers ve Cassinelli, 1999). Zeta Puppis yıldızının IUE uydusuyla 1995 yılında SWP tayfçekeri ile SWP53479 numarasıyla alınmış tayfında CIV (λλ1548,1550Å) çizgisinde görülen P-Cygni profili, Şekil 4'de verilmiştir.

Morötesi P-Cygni profilleri, çoğunlukla doymuş olarak karşımıza çıktıkları için kütle kaybı oranının belirlenmesinde duyarlı sonuçlar vermezler. Optik tayf, Hα çizgisi salma gösteriyor olsa dahi çok sayıda 'normal' soğurma çizgisi barındırır. Bu çizgiler, özellikle O yıldızlarında kütle kaybı oranının belirlenmesinde uygulanacak model çizgilerle karşılaştırmaya oldukça elverişlidirler (Hamann, 2010).

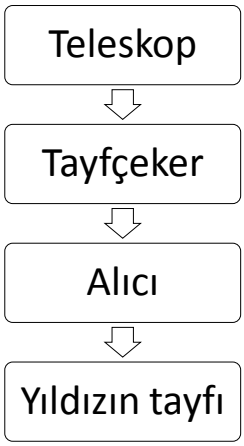


Şekil 5. Doymuş ve doymamış P-Cygni çizgi profilinin oluşumu (Fullerton, 1997).

Şekil 5, kısmen güçlü ve güçlü saçılma çizgilerinin karşılaştırmasını ve oluşturdukları P-Cygni profil yapılarını vermektedir. Üst panelde kısmen güçlü (a) ve çok güçlü (b) bir soğurma çizgisinin, orta panelde bir salma çizgisiyle birleşerek oluşturduğu toplam profil altta görülebiliyor (Fullerton, 1997). (a), doymamış profile (b), doymuş profile örnek gösterilebilir. Şekil 3'den yola çıkarak gözlemcinin bakış doğrultusunda genişleyen zarf içinde (G) meydana gelen soğurma, 0 ile v_∞ arasında Doppler kayması gösterir. Soğurmanın kısa dalgaboylu tarafında çizgi kanadına en yakın noktası, genişleyen zarfın sınırından, gözlemciye en yakın kısmından gelmektedir. Bu soğurma bileşeninin akısı, $v_{bakış} = v_\infty$ olduğu nokta hariç sıfıra düşmez. Çünkü bakış doğrultusunda ayrıca saçılma vardır. Salma bölgelerinden (Z) gelen ışınım ise $-v_\infty$ ile v_∞ arasında Doppler kayması etkisinde kaldığı için toplam kayma sıfırdır; yani çizgi merkezine göre kayma görülmez. Gözlemcinin bakış doğrultusuna göre yıldızın arkasında kalan kısmı (A), gözlemciden uzaklaşmaktadır; fakat bu bölgeden ışınım alınmaz.

BÖLÜM 2
MATERYAL ve KAYNAKLARI

Sıcak yıldız rüzgârlarının özelliklerini anlayabilmek, yıldızın tayfında karşımıza çıkan özel çizgileri araştırmakla mümkün olabilmektedir. İlgilenilen çizgilerin birçoğu moröte ve uzak moröte bölgelerde yoğunlaşmıştır. Elektromanyetik enerji dağılımının moröte bölgesinde yer tabanlı gözlem yapılamaması nedeniyle bu tür veriler, yer yörüngesindeki gözlemsel uydular tarafından alınmaktadır. Bir tayfın alınmasında işleyen temel süreçler, Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Bir tayfın alınmasında işleyen süreçler.

Sıcak yıldızların ilk tayfsal gözlemleri, 1960'lı yıllarda Morton tarafından yer atmosferinin üst katmanlarına gönderilen roketler sayesinde yapıldı (bkz. Şekil 7). Roketlerin, balonların kullanıldığı gözlemler, teknolojinin gelişmesiyle yerini gözlemsel uydulara bıraktı.



Şekil 7. ζ Orionis (O9.5Ia) yıldızının 1966 yılında roket gözlemleri ile alınmış tayfı (Morton, 1969).

Literatürde yer alan gözlemsel çalışmaların büyük kısmı, IUE uydusu tarafından alınmış tayflar kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada da bu uydunun verilerinden yararlanıldı (bkz. Çizelge 3). Veriler için kullanılan gözlemsel uydular hakkında ayrıntılı bilgiyi alt bölümlerde bulabilirsiniz.

Çizelge 3. Bu çalışmada kullanılan tayf verisi için arşivi listesi

Arşiv No	Arşiv Adı	Gözlem Aleti	Veri Zamanı	Tayf Aralığı (Å)
1	MAST	IUE/SWP	1978–1996	1145 – 1930
2	MAST	FUSE	1999–2007	905 – 1187
3	ELODIE	Elodie	1993–2006	3895 – 6815

2.1. Veri Arşivleri ve Kaynakları

Çalışmada listelenen yıldızların tayfsal verilerine Çizelge 3'teki veritabanları üzerinden erişildi. Bu çizelgede arşiv adıyla birlikte verilerin alındığı gözlem aleti ve bu aletlerin özelliklerine bağlı olarak değişebilen tayf aralığı ile gözlem aletlerinin çalıştığı yıllar verilmiştir. Gözlemsel uydular (1 ve 2) tarafından alınmış veriler, Amerikan Ulusal Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA) tarafından yürütülen The Multimission Archive at STScI (MAST) üzerinden dağıtılmaktadır. MAST'a internet ağ sayfası, Dosya İletim Protokolü (FTP) veya Sanal Gözlemevi (VO) yazılımları üzerinden erişilebilmektedir. Elodie tayfçekerinin verilerine ise internet ağ sayfasını ve sanal gözlemevi yazılımlarını kullanarak erişmek mümkündür. Veri arşivlerinin internet bağlantıları EK 3'te verilmiştir.

2.1.1. Morötesi Tayf Verisi

Morötesi tayf verisi, arşiv listesinde (bkz. Çizelge 3) 1 ve 2 numaralarıyla belirtilen arşivlerden alındı. Kullanılan verilere ilişkin genel bilgilere ve verilere ait arşivlerle birlikte gözlem aletlerinin teknik ayrıntılarına arşiv başlıklarıyla oluşturulmuş bölümlerde değinilmiştir.

2.1.1.1. Uluslar arası Morötesi Gözlem Uydusu (IUE)

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ile Birleşik Krallık Bilim ve Mühendislik Araştırma Konseyi tarafından ortaklaşa yürütülen proje, 1978'den 1996'ya kadar hizmet verdi. Uydu, 1150 Å - 3200 Å dalgaboyu aralığında 107.000'ün üzerinde morötesi tayf verisi almıştır.

Uyduda dört alıcı, iki farklı tür tayfçeker kullanılmıştır. Tayfçeker başına düşen iki alıcıdan biri yedekte tutulmaktadır. Yaklaşık 1200–2000 Å dalgaboyu aralığında 0,1–0,3 Å sıklıkla yüksek çözünürlüklü (R ~ 10.000) veri alan SWP ve SWR ile 2000–3300 Å dalgaboyu aralığında 6–7 Å sıklıkla düşük çözünürlüklü (R ~ 300) veri alan LWP ve LWR alıcılarının isimlerinin sonlarında "P" bulunanlar birincil, "R" bulunanlar ikincil alıcılardır. Aşağıda, alıcıların çözünürlüğe bağlı tayf aralığı verilmiştir (bkz. Çizelge 4).

Çizelge 4. IUE alıcıların çözünürlüğe bağlı tayf aralığı

Alıcı	**Yüksek Çözünürlüklü**		**Düşük Çözünürlüklü**
	Kesiksiz Tayf	**Kesikli Tayf**	**Kesiksiz Tayf**
SWP	1145–1930 Å	1930–2198 Å	1150–1975 Å
LWR	1845–3105 Å	3105–3230 Å	1860–3300 Å
LWP	1845–2980 Å	2980–3230 Å	1910–3300 Å

IUE verileri, IUESIPS (IUE Spectral Image Processing Software) ve/veya NEWSIPS veri işleme yazılımlarıyla indirgenmiştir ve verilerin dağıtımı internet üzerinden yapılmaktadır. NEWSIPS, IUESIPS'in yeni kalibrasyonlarla yenilenmiş ve geliştirilmiş bir sürümüdür. Bu çalışmada tayf çizgilerinin biçimlerini incelemek amacıyla kullanılan IUE verileri, NEWSIPS'te indirgenmiş verilerdir.

2.1.1.2. Uzak Morötesi Tayfsal Gözlem Uydusu (FUSE)

NASA tarafından 1999 yılında fırlatılan gözlemsel uydudur. Uzak moröte bölgede 905–1187 Å dalgaboyu aralığında tarama yapmakta olup özellikle sıcak ve soğuk yıldızların, süpernova kalıntılarının, gezegenimsi bulutsuların, güneş sistemindeki gökcisimlerinin ve yıldızlararası ortamın yüksek çözünürlüklü tayflarını almak amacıyla gönderilmiştir. Çözünürlüğü (R), 15.000 – 20.000 arasında olan iki alıcısı bulunmaktadır. FUSE, 2007 yılında çalışmasını durdurmuştur.

FUSE uydusunun verileri, moröte bölgede rüzgâr etkisinin görülmediği bilinen OIII üçlü çizgisinden biri alınarak bazı yıldızların dönme hızının hesabı için kullanıldı (Penny ve Gies, 2009).

2.1.2. Görünür Işık Tayf Verisi

Görsel bölge tayf verisi, bazı yıldızların Hα (6562,8 Å) çizgi yapıları ile P-Cygni profilleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla çizgi puanlamasında (Çizelge 12) ve

He I (4471 Å) çizgisiden yıldızların dönme hızının belirlenmesinde kullanmak üzere ELODIE arşivinden toplandı.

2.1.2.1. Elodie

ELODIE arşivi (Moultaka ve ark., 2004), yer tabanlı çalışan ve görsel bölgeyi tarayan 1,93 m'lik bir teleskop ile alınmış tayf gözlemlerini içermektedir. Tayfçekerin çözünürlüğü $R = 42.000$'dir. Artık gözlemlerini tamamlayan Elodie'nin verilerine internet üzerinden ulaşmak mümkündür. Arşiv verileri, 4000–6800 Å aralığında ve 0,05 Å sabit sıklıkla indirgenmiştir.

2.2. Veri Listesi

Çalışmada kullanılan O, B ve A tür yıldızlar, IUE gözlemsel uydusuyla gözlenmiş sıcak yıldızlar içinde rüzgâr etkinlikleri gösterebilecekleri düşünülen yıldızlardır. Bu nedenle yıldızların tamamı, Snow ve ark. (1994) tarafından oluşturulmuş atlastan alınarak Çizelge 6'ya aktarılmıştır. Bu listede aşağıda belirtilen durumlara uyan yıldızlar, liste dışında tutulmuştur:

1. Bp, Ap ve Am tayf türü yıldızlar
2. Klasik Be ve Herbig Ae-Be yıldızları
3. Bileşenlerinin görsel parlaklık farkı (ΔV) $\leq$ 2,0 kadir olan yıldızlar
4. Tayfsal çift yıldızlar
5. Dönme hızı ($v \sin i$) değerleri tespit edilmemiş IV-V ışıtma sınıfından B0-B2 yıldızları

Son ölçütün seçilmesinin nedeni, kütle kaybının erken tür anakol B yıldızlarının $v \sin i$'ye bağlı olduğu yönünde çalışmaların yer almasıdır (Snow ve Marlborough, 1976; Snow ve ark., 1979; Grady ve ark., 1987). Be süperdevleri madde atımı kaynaklı Hα salması gösterdikleri için listeye eklendi. Fakat klasik Be ve Herbig Ae-Be yıldızları liste dışında bırakıldı. Çünkü bu yıldızların rüzgârlarının diske karıştığı düşünülmektedir. Aynı zamanda Be yıldızları, farklı zaman ölçeklerinde değişimler göstermektedir. Rüzgâr etkinliklerinin düşük olduğu beklenen taysal çiftlerin süperdev bileşenli olanları ve tayflarında çift olduklarına dair zayıf belirtiler gösterenler listede yer aldı. *Bright Star Catalogue* (BSC)'da yer aldığı kadarıyla baş bileşenin diğerini etkilemediği bilinen tayfsal çift yıldızları dikkate alındı. Ap, Bp ve Am yıldızları kimyasal tuhaf yıldızlar olarak isimlendirilir ve sıra dışı davranışlar göstermeleri nedeniyle listeye alınmamıştır.

Wolf-Rayet yıldızları, çoklu sisteme ait olduğu bilinen θ Orionis ve sd-O yıldızı HD49787 dışındaki O yıldızları, Walborn ve ark. (1985) tarafından oluşturulan katalogdan alındı.

Çizelgede yıldız isimleri Henry Draper (HD) katalog numaralarıyla verilmiştir. Tayf türü, Snow ve ark. (1994)'nın oluşturduğu listeden ve Martins ve ark. (2005)'ten alınmıştır. Yıldızların mutlak parametreleri -kütle (M_*), yarıçap (R_*), ışınım gücü (L_*), etkin sıcaklık (T_e) ve yüzey çekim ivmesi ($\log g$) olarak sıralanmış- kalibrasyonlar yapılarak ve literatürden en güncel değerler toplanarak yenilenmiştir. Yıldızların dönme hızları da ($v\ sini$), son zamanlarda yayınlanan kaynaklardan alınarak verilmiştir. Dikine hız (V_R) düzeltmesi için Snow ve ark. (1994) tarafından verilen değerler kullanılmıştır. Değerlerin alındığı kaynaklar, "K" sütununda belirtilmiştir.

Mutlak parametrelerden birkaç yıldız haricinde kütle ve etkin sıcaklık, tüm yıldızlar için yarıçap, ışınım gücü ve yüzey çekim ivmesi, kalibrasyonlar kullanılarak bulundu. O tür yıldızların neredeyse tamamının yarıçapı, ışınım gücü, etkin sıcaklığı ve yüzey çekim ivmesi, Martins ve ark. (2005) tarafından verilen bağıntılar kullanılarak hesaplandı. Martins ve ark. (2005)'e göre anakol (V), dev (III) ve süperdev (I) yıldızların gözlemsel sonuçlarının $\log g$ − Tayf türü (TT) doğrusal ilişkisi aşağıdaki gibidir:

$$\log g = \begin{cases} 3{,}924 - 0{,}001 \times \mathrm{TT} & \text{(V)} \\ 3{,}887 - 0{,}040 \times \mathrm{TT} & \text{(III)} \\ 3{,}979 - 0{,}083 \times \mathrm{TT} & \text{(I)} \end{cases} \qquad 2.1$$

Aynı şekilde gözlemsel verilere yapılan doğrusal eğilimin etkin sıcaklık (T_e) - Tayf türü (TT) ilişkisi Bağıntı 2.2'de verilmiştir:

$$T_\mathrm{e} = \begin{cases} 50838 - 1995 \times \mathrm{TT} & \text{(V)} \\ 50882 - 2115 \times \mathrm{TT} & \text{(III)} \\ 47666 - 1881 \times \mathrm{TT} & \text{(I)} \end{cases} \qquad 2.2$$

Işınım gücü, parlaklık (M_V) ve bolometrik düzeltme (BC) ile birlikte hesaplanmaktadır (bkz. Bağıntı 2.3):

$$\log \frac{L}{L_\odot} = -0{,}4 \times (M_V + BC - M_{bol\,(\odot)}) \qquad 2.3$$

$$BC = 27{,}58 - 6{,}80 \times \log T_\mathrm{e} \qquad 2.4$$

$$M_V = \begin{cases} 0{,}291 \times \mathrm{TT} - 6{,}667 & \text{(V)} \\ 0{,}147 \times \mathrm{TT} - 6{,}570 & \text{(III)} \\ 0{,}011 \times \mathrm{TT} - 1881 & \text{(I)} \end{cases} \qquad 2.5$$

Yıldızın yarıçapı ise L ve T_{e} bulunduktan sonra 2.6 denklemiyle hesaplanabilir. Burada σ_{R} Stefan-Boltzmann sabitidir.

$$R = \sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma_R T_e^4}} \qquad 2.6$$

B ve A tür yıldızların kütle, yarıçap, etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerleri, Straizys ve Kuriliene (1981) tarafından verilen kalibrasyon çizelgelerinden alındı. Kalibrasyonlar dışında ulaşılan güncel mutlak parametreler "Veri listesi" adı altında oluşturulan Çizelge 6'da yer almıştır. Çizelgenin tamamını EK 1'de bulabilirsiniz.

Liste yıldızlarının tayf türü ve ışıtma sınıfına göre dağılımları Çizelge 5'de yer almaktadır. Çizelgeye bakıldığında süperdev yıldızlarının (I. ışıtma sınıfı) sayıca üstün olduğu görülmektedir. Onu anakol (V. ışıtma sınıfı) yıldızları izlemektedir. Çizelgede (bkz. Çizelge 6), incelenecek yıldız sayısını azaltmak amacıyla moröte bölgede kütle kaybı etkisininin görülmesi beklenmeyen daha az parlak yıldızlar için ışınım sınıflarına bağlı bir kısıtlamaya gidilmiştir. Buna göre çizelge, O3'ten B2.5'e kadar I-V; B3-B9.5 arasında I-III ve tüm A tayf türünden I-II ışınım sınıflarına ait yıldızları içermektedir.

Çizelge 5. Liste yıldızlarının tayf türü – ışıtma sınıfına bağlı dağılımı

	I	**II**	**III**	**IV**	**V**
O3	1				
O4	1				3
O5	1		1		3
O6	3				9
O7	1	3	1		4
O8	5	1	1		5
O9	11		2		7
B0	10	1	4	1	3
B1	13	1	1	5	6
B2	6	1	1	6	11
B3	5	1	3		
B4	1				
B5	6	2	4		
B6	2		1		
B7	1		3		
B8	6	1	1		
B9	2		7		
A0	5	1			
A1	2				
A2	3		1		
A3	1				
A4					
A5	2	4			
A6	1	1			
A7					
A8	2				
A9		1			
TOPLAM	91	18	31	12	51

2.3. Çizgi Listesi

Yapılan araştırmalar sonucunda rüzgârda oluştuğu bilinen moröte bölge tayf çizgileri, Çizelge 7'de görüldüğü yıldız türleriyle birlikte listelenmiştir. Çizgiler, Pellerin ve ark. (2002)'nın ve Snow ve ark. (1994)'nın çalışmalarında rüzgâr tanısında kullanmışlardır. Çizelge 7'de belirtilen tayf çizgileri incelenmiş; fakat araştırma için bu çizelgeden seçilen ve Bölüm 3.4'te bahsedilen çizgiler değerlendirmeye alınmıştır (Ayrıca bkz. Çizelge 12). Moröte bölge çizgileri dışında dalgaboyu 6562,8 Å olan Hα görsel bölge çizgisi de yapısal olarak gözle incelenmiştir.

Çizelge 6. Veri listesi (kısaltılmış)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_\odot$	K	Yarıçap $R/R_\odot$	K	Işınım Gücü $\log L/L_\odot$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
1	HD 93250	O3.5V((f))	1	82,0	S	13,8	1	5,8	1	44853	1	3,92	1	100	DH7	-0,5
2	HD 303308	O4V((f+))	1	60,0	S	13,8	1	5,8	1	44853	1	3,92	1	195	DH7	
3	HD 66811	O4I(n)f	S	59,0	S	19,1	1	5,9	1	40142	1	3,65	1	230	DH7	-24,1
4	HD 46223	O4 V	S	52,0	S	12,4	1	5,7	1	42858	1	3,92	1	140	DH7	41,1
5	HD 96715	O4V((f))	1	81,0	S	12,4	1	5,7	1	42858	1	3,92	1			
6	HD 14947	O5 I	S	97,7	3	19,6	1	5,9	1	38261	1	3,56	1	155	DH7	-56,2
7	HD 15558	O5 III	S	77,6	3	15,0	1	5,7	1	40307	1	3,69	1	140	DH7	-41,9
8	HD 15629	O5 V	S	64,6	3	11,2	1	5,5	1	40863	1	3,92	1	155	DH7	
9	HD 46150	O5V((f))	1	64,6	3	11,2	1	5,5	1	40863	1	3,92	1	105	DH7	38,8
10	HD 93204	O5V((f))	1	64,6	3	11,2	1	5,5	1	40863	1	3,92	1	155	DH7	
11	HD 210839	O6I(n)f	1	81,3	3	20,1	1	5,8	1	36380	1	3,48	1	275	DH7	-70,7
12	HD 108	O6 pe	S	48,0	S	10,5	1	5,2	1	36380	1	3,48	1	115	DH7	-67,9
13	HD 93130	O7II	2	63,1	3	14,5	1	5,6	1	38192	1	3,65	1	205	DH7	
14	HD 39680	O6 V	S	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1	170	DH7	53,4
15	HD 91572	O6 V	S	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1			
16	HD 93146	O6.5V((f))	1	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1			
17	HD 101190	O6V((f))	1	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1	145	DH7	0,7
18	HD 163758	O6.5Iaf	1	91,2	3	20,4	1	5,8	1	35440	1	3,44	1	95	S	-47,7
19	HD 148937	O6.5 f	S	44,0	S	10,0	1	5,2	1	35440	1	3,44	1	220	DH7	-43,5
20	HD 69464	O6.5 Ib	S	65,3	3	20,4	1	5,8	1	35440	1	3,44	1			
21	HD 190864	O6.5 III	S	55,0	3	14,3	1	5,5	1	37135	1	3,63	1	105	DH7	-1,1
22	HD 5005A	O6.5V((f))	1	64,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	120	DH7	-24,8
23	HD 12993	O6.5 V	S	31,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	155	DH7	
24	HD 42088	O6.5V	1	32,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	250	DH7	23,1
25	HD 54662	O6.5 V	S	42,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	80	DH7	58,5

* Tüm kaynaklar ve açıklamaları, EK 2'de verilmiştir.

Çizelge 7. Yıldız rüzgârı tanısında kullanılan morötesi çizgileri

Çizgi	Dalgaboyu [Å]	Görüldüğü Tayf Türleri	Kaynak
S VI	933,378	O	[1]
S VI	944,523	O	[1]
P IV	950,657	O	[1]
N IV	955,300	O	[1]
C III	977,020	O	[1]
N III	991,511	O	[1]
N III	992,577	O	[1]
O VI	1031,900	O	[1]
O VI	1037,600	O	[1]
S IV	1062,662	O	[1]
S IV	1072,974	O	[1]
N II	1085,100	O	[1]
Si III	1108,400	O	[1]
Si III	1110,000	O	[1]
Si III	1113,200	O	[1]
P V	1117,977	O	[1]
Si IV	1122,485	O	[1]
P V	1128,008	O	[1]
Si IV	1128,340	O	[1]
C III	1175,670	O	[2]
Si III	1206,500	B, A	[2]
N V	1238,821	O, B0-B2.5	[2]
N V	1242,804	O, B0-B2.5	[2]
C II	1334,532	B, A	[2]
C II	1335,708	B, A	[2]
O IV	1338,612	O	[2]
O IV	1343,460	O	[2]
O V	1371,292	O	[2]
Si IV	1393,755	O, B	[2]
Si IV	1402,770	O, B	[2]
Si II	1526,707	B, A	[2]
Si II	1533,431	B, A	[2]
C IV	1548,195	O, B	[2]
C IV	1550,770	O, B	[2]
He II	1640,400	O	[2]
Ca II	1649,958	A	[2]
Ca II	1651,991	A	[2]
Al II	1670,787	B3-B9.5	[2]
N IV	1718,551	O	[2]
Al III	1854,716	B, A	[2]
Al III	1862,790	B, A	[2]
Si III	1895,460	B3-B9.5, A	[2]
Fe II	2585,876	A, F	[2]
Fe II	2598,370	A, F	[2]
Fe II	2599,396	A, F	[2]
Al II	2669,155	A, F	[2]
Mg II	2795,528	B3-B9.5, A, F	[2]
Mg II	2802,705	B3-B9.5, A, F	[2]
Mg I	2852,126	F	[2]

[1]: Pellerin ve ark. (2002), [2]: Snow ve ark. (1994).

BÖLÜM 3
ARAŞTIRMA ve YÖNTEM

3.1. OBA Yıldızlarının Temel Özellikleri

O,B ve A tayf türüne sahip yıldızlar, sıcak yıldızlar olarak bilinir. Tayfsal sınıflama temelde yıldızların yüzey sıcaklıklarına göre yapılmıştır. Sıcaktan soğuğa sırayla O, B, A, F, G, K, M, L ve T harfleriyle gösterilen başlıca yedi tayf sınıfı bulunur. Sıcaklık, 28000 K den büyük olduğunda O yıldızları, 10000–28000 K arasında ise B yıldızları olarak adlandırılır. A tür yıldızlarının yüzey sıcaklığı ise 7500–10000 K aralığındadır. Bunun dışında, yüzey sıcaklıkları 25000–50000 K arasına düşen ve güçlü rüzgârlar gösteren Wolf-Rayet (WR) yıldızları, tayflarındaki farklılık gözetilerek WN ve WC adlı iki farklı türe ayrılmıştır. Tayf sınıflarının yanlarına 0–9 arasındaki rakamlar yazılarak alt sınıflara ayrılırlar. O'dan F'ye kadar olanlara "erken", G'den L'ye kadar olanlara "geç" tür yıldızlar denir.

Yüksek yüzey sıcaklığı nedeniyle OBA yıldızların atmosferlerinde iyonize olmuş ağır elementler bulunur. Büyük kütleli olmaları nedeniyle hızlı evrimleşirler; diğer bir ifadeyle yaşam süreleri kısadır. Çizelge 8'de bu yıldızların temel özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 8. OBA yıldızlarının temel özellikleri*

Tayf Türü	**Etkin Sıcaklık (K)**	**Renk**	**H Balmer Şiddeti**	**Diğer Özellikleri**	$M/M_{\odot}$	$R/R_{\odot}$	$L/L_{\odot}$	**Anakol yaşam süresi**
O	28000 – 50000	Mavi	zayıf	iyonize He^{+} çizgileri, şiddetli UV sürekliliği	20 – 60	9 – 15	90000 – 800000	1 - 10 Myıl
B	10000 – 28000	Mavi-Beyaz	orta	doğal He çizgileri	3 – 18	3,0 – 8,4	95 – 52000	11 - 400 Myıl
A	7500 – 10000	Beyaz	güçlü	güçlü H çizgileri, iyonize metal çizgileri	2,0 – 3,0	1,7 – 2,7	8–55	400 Myıl - 3 Gyıl

* (*CSIRO Australia*, 2004)

Tayfsal sınıflamaya ek olarak bir de parlaklık sınıflaması kullanılır. Böylece aynı tayf türünden olan yıldızları, bir de ışınım miktarlarına göre ayırabiliriz (bkz. Çizelge 9).

Çizelge 9. Yıldızların ışınım sınıflaması

Sembol	Yıldız Türü	Örnek Yıldız
0	Çok çok parlak süperdevler	
Ia	Çok parlak süperdevler	Betelgeuse
Ib	Daha az parlak süperdevler	Antares
II	Parlak devler	Canopus
III	Devler	Aldebaran
IV	Alt devler	Procyon
V	Anakol yıldızları	Güneş
sd	Alt cüceler	HD 33793
wd ya da D	Beyaz cüceler	Sirius B

3.2. Rüzgâr gösteren OBA yıldızları

Yıldızların sıcaklıkları ve ışınım güçleri azaldıkça rüzgâra ilişkin belirteçler azalır. Buna bağlı olarak rüzgâr parametrelerinin belirlenmesi de zorlaşır. Işınım basıncıyla sürülen rüzgârlar kuramı, kütle kaybı oranının yıldız parametreleriyle ilişkisini aşağıdaki gibi vermektedir (Lamers ve Cassinelli, 1999).

$$\dot{M} \sim L^{1/\alpha} M_e^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \tag{3.1}$$

$$v_\infty \sim v_{kaçış} \sim \left(\frac{M_e}{R_*}\right)^{0,5} \tag{3.2}$$

Bağıntı 3.1 ve 3.2'de yer alan α, OB yıldızları için genellikle 0,6 olarak alınan çizgi şiddeti parametrelerinden biridir. M_e ise elektron saçılmasından kaynaklı ışınım şiddeti için kütle düzeltmesi, $M_e = M_*(1 - \Gamma_e)$ bağıntısıyla hesaplanan etkin kütleyi tanımlar.

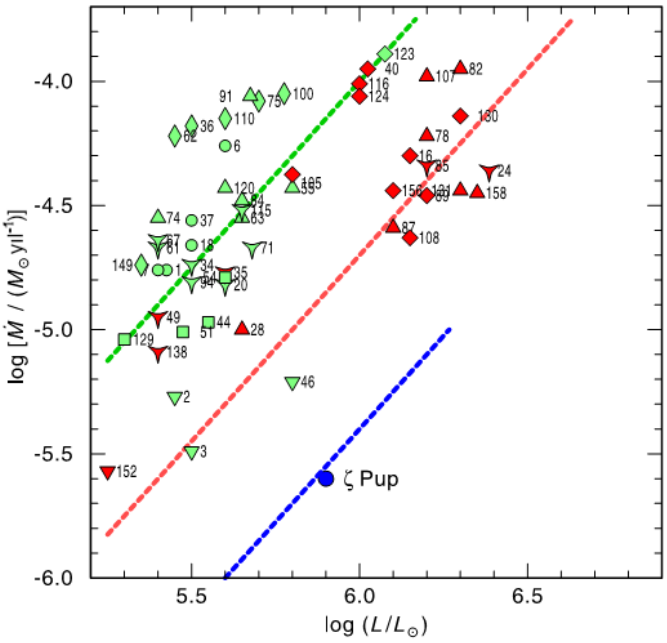
$$\Gamma_e = \frac{\sigma_e L_*}{4\pi c G M_*} \tag{3.3}$$

Bağıntı 3.3'de birim kütle başına elektronun saçılma katsayısı σ_e, rüzgârdaki kimyasal bolluğa ve iyonizasyon derecesine bağlıdır ve sıcak yıldızlar için yaklaşık değeri $\sigma_e \backsimeq 0{,}30\ \mathrm{cm^2 g^{-1}}$ olarak verilir. Gözlenen ve öngörülen kütle kaybı oranlarının karşılaştırması, $\alpha = 0{,}60$ iken $M_e{}^{-0,17}$; $\alpha = 0{,}65$ iken $M_e{}^{-0,04}$ ile orantılı olduğunu

göstermiştir. Yıldız kütlesinin çok belirsiz bir parametre olmasından ötürü, Bağıntı 3.1 ve 3.2 aşağıdaki şekilde ifade edilir ve bu bağıntıya *değiştirilmiş rüzgâr momentum* bağıntısı denir.

$$\dot{M}v_{\infty}R_{*}^{0,5} \sim L^{1/\alpha}M_{e}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}+\frac{1}{2}} \qquad 3.4$$

Bu, $\dot{M}v_{\infty}R_{*}^{0,5}$ değerini hemen hemen yıldızın etkin kütlesinden bağımsız olarak hesaplamamız anlamına gelir (Lamers ve Casinelli, 1999).



Şekil 8. Büyük kütleli yıldızlar için kütle kaybı oranı – ışınım gücü ilişkisi (Hamann,2010). O-tür yıldızlar için ζ Pup'ın üzerinden geçen en alttaki düz çizgi ile Wolf-Rayet yıldızları için çizilmiş en iyi doğruların eğimi 1,5 olarak verilmektedir.

Şekil 8, Hamann (2010) tarafından verilmiş büyük kütleli yıldızların kütle kaybı oranı – ışınım gücü ilişkisini göstermektedir. Şekilde, ζ Pup'ın bulunduğu noktadan geçen doğru, tüm O-tür yıldızları içerir. Diğer noktalar, Wolf-Rayet (WR) yıldızlarını işaret eder. WR yıldızları içinden erken türlerin (WN) dağılımı en üst çizgi ile gösterilirken, geç türler (WC) ortada yer alan doğru boyunca dağılmaktadırlar. Grafikteki her iki grup için çizilmiş en iyi eğrilerin eğimi 1,5'tir. Bu durum kütle kaybı oranı ile yıldızın ışınım gücü arasındaki orantının yaklaşık $\dot{M} \propto L^{1,5}$ olduğunu söyler.

Geç B ve A tür yıldızlar için durum biraz daha karışıktır. Ayrıntılı olarak çalışılan bazı A tür süperdevlerin morötesi çizgilerinden elde edilen kütle kayıp oranları, Hα çizgilerinden elde edilenlerden 10^{-1} - 10^{-2} kat daha az bulunmuştur (Praderie ve ark., 1980; Hensberge ve ark., 1982; Kunasz ve Morrison, 1982). Bu çalışmada I ve II ışıtma sınıfında A tür yıldızlar incelemeye alınmıştır.

Son birkaç on yıla kadar yapılan çalışmalarının birçoğu gökadamızdaki yıldızlar üzerineydi. Son dönemlerde özellikle çevre gökadalarda yer alan yıldızlardan elde edilen veriler, kütle kaybı oranının yıldızların metal bolluğuna ve yıldızın ışınım gücüne bağlılığının çok güçlü derecede olduğunu net bir şekilde gösterdi (Kudritzki ve Puls, 2000). Buna bağlı olarak ağır element bolluğu düşük olan gökadalardaki bir yıldız, aynı ışınım gücüne sahip galaktik bir yıldızdan daha az kütle kaybedecektir. Bu da onun kendisiyle aynı özelliklere sahip diğer yıldıza oranla daha yavaş evrimleşeceğini söyler. Bu durumda yıldızların rüzgâr özelliklerinin çözülmesi, gökadaların kimyasal yapısı hakkında da bilgi sağlamaktadır.

3.3. Sıcak Yıldız Rüzgârlarının Gözlemi

Bölüm 1.3'de tanımlanan kütle kaybı oranı ($\dot{M}$) ve terminal hız (v_∞) parametreleri, yıldız rüzgârının temel parametreleridir.

$\dot{M}$ ve v_∞ değerleri önemlidir; çünkü

1) $\dot{M}$, birim zamanda ne kadar madde kaybedildiğini açıklamaktadır. Büyük miktarda kütle kaybeden bir yıldız ile az miktarda kütle kaybına uğrayan bir yıldızın evrimleri değişecektir.
2) Farklı yıldız rüzgârı teorileri, bizi bir yıldız için farklı kütle kaybı oranı ve terminal hız hesabına ulaştırabilir. Dolayısıyla gözlemsel sonuçlar, geçerli kuramın beklenen değeriyle karşılaştırılarak, yıldızda ne tür bir mekanizmanın işlediği hakkında yorum yapılabilir.
3) Yıldızdan uzaya kaçan gaz, yıldızlararası ortama kinetik enerji taşır. Bir yıldız rüzgârının birim zamanda yıldızlararası ortamda depoladığı kinetik enerjinin miktarı, $0{,}5\dot{M}{v_\infty}^2$ olarak verilir. Yıldız rüzgârının çevrelendiği yıldızlararası ortama katkısının çalışılması, yıldızın evriminin her aşamasında $\dot{M}$ ve v_∞ değerlerini bilmemizi sağlar.

Küresel simetrik yapıda durağan ve homojen bir yıldız rüzgârını ele aldığımızda, bu yıldızdaki kütle kaybı oranını kütle süreklilik denklemi ile verebiliriz. Rüzgâr bölgesinde

seçilen bir noktadaki yoğunluk ve hız, kütle kaybı ile orantılıdır. O zaman r, yıldızın merkezinden olan uzaklık, ρ yoğunluk ve v hız alanı olmak üzere kütle kaybı,

$$\dot{M} = 4\pi r^2 \rho(r) v(r) \qquad 3.5$$

olarak ifade edilir. Bu bağıntı, yıldız rüzgârındaki maddenin kaybolmadığı ve üretilmediği varsayımı yapıldığında geçerliliğini korur. O zaman r yarıçaplı bir küresel yüzeydeki her noktaya yıldız merkezinden aktarılan kütle miktarı, her zaman sabit ve aynıdır.

Yıldız atmosferinin dış katmanlarındaki gaz, yıldızın fotosferinden küçük bir çapsal hızla başlayarak daha uzak bir noktada daha yüksek hızlara ulaştırılarak dışarıya doğru atılır. Bu noktadaki hız, $v_\infty = v(r \to \infty)$ olarak tanımlanır ve terminal hıza ulaşır. Yarıçap doğrultusunda herhangi bir noktada tanımlanan rüzgâr hızının dağılımına "hız yasası" denir ve $v(r)$ ile gösterilir (Bağıntı 3.6). Gözlemler ve modeller, hız yasasını genellikle β-yasası ile verilen yaklaşımla dikkate almamız gerektiğini söylemektedir (Lamers ve Cassinelli, 1999).

$$v(r) \simeq v_0 + (v_\infty - v_0)\left(1 - \frac{R_*}{r}\right)^\beta \qquad 3.6$$

Bu yasa, v'nin v_0 olduğu noktadan, yani fotosferden ($r = R_*$) başlayarak $v_0 \ll v_\infty$ durumunun sağlandığı en uzak noktadaki v_∞ değerine ulaşıncaya kadar olan artışı ifade etmektedir. β parametresi, denklemin artan eğimini tanımlar (bkz. Şekil 9). Örneğin, $\beta \simeq 0{,}8$ olarak verildiği hız yasasıyla hesaplanan bir sıcak yıldız rüzgârı, $r = 4{,}1\, R_*$ olduğu mesafede (yıldız yüzeyinin 3,1 R_* üstünde) terminal hızının %80'nine ulaşacaktır.

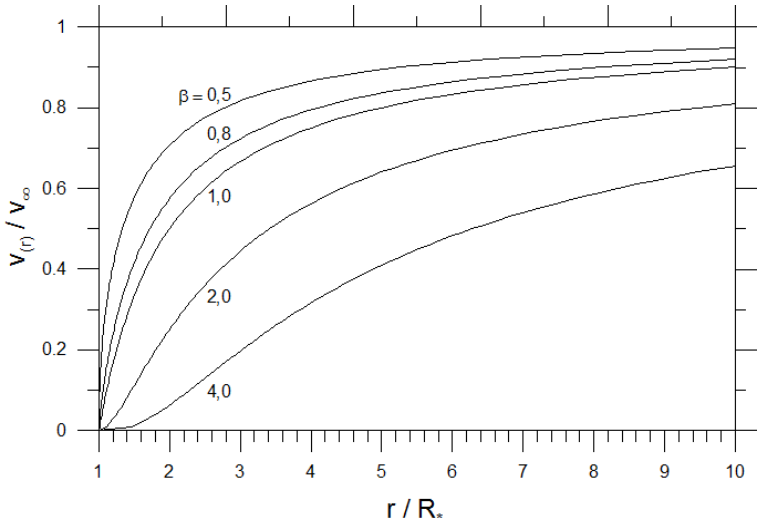
Soğuk yıldızların rüzgârları, β'nın daha büyük değerlerine bağlı daha yavaş hızlandırılırlar (Lamers ve Cassinelli, 1999). Sıcak yıldızlarda da buna bağlı olarak, hız yasasının daha küçük değerlerinde P-Cygni profilinde salmanın şiddeti artmaktadır. (bkz. Şekil 10).

Hız yasasını, v_0 parametresinden kurtarıp alternatif olarak aşağıda yer aldığı gibi ifade edilebiliriz:

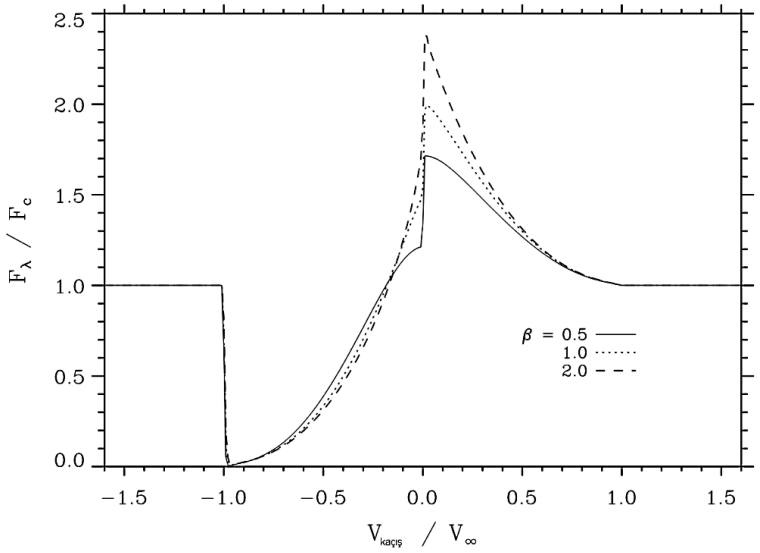
$$v(r) \simeq v_\infty \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)^\beta \qquad 3.7$$

$$r_0 = R_* \left\{ 1 - \left(\frac{v_0}{v_\infty} \right)^{1/\beta} \right\} \qquad 3.8$$

β-yasasını bu formda (bkz. Bağıntı 3.7 ve Bağıntı 3.8) yazmak, kolon yoğunluğunun veya salma ölçümünün açılımındaki integral hesaplarının üstesinden gelmemizi kolaylaştırır.



Şekil 9. Yarıçapın $v_0 = 0{,}01 v_\infty$ fonksiyonu olarak farklı değerlerle hesaplanmış β hız yasası.

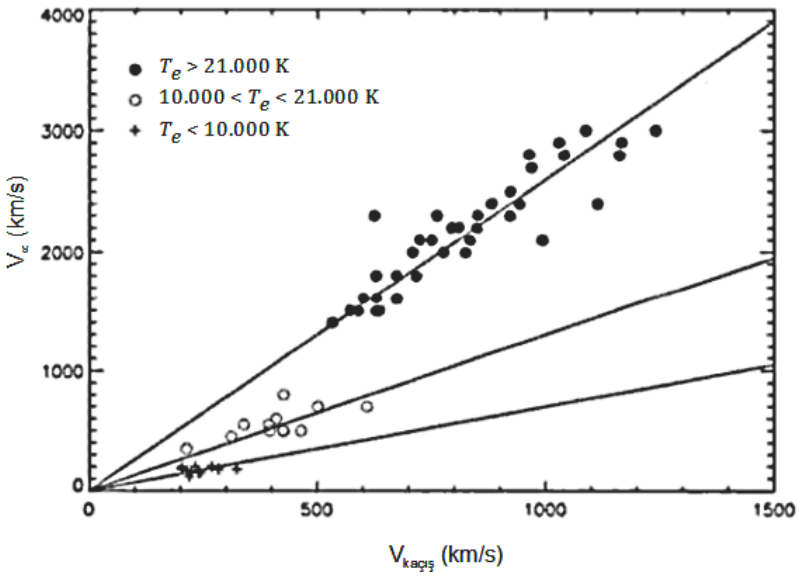


Şekil 10. Hız yasası, β'nın farklı değerleri ile kullanıldığında P-Cygni profilindeki meydana gelen değişim (Fullerton, 1997).

O ve B süperdev yıldızlarında rüzgârların terminal hızları, yıldızın etkin sıcaklığına ve yıldız yüzeyindeki maddenin etkin kaçış hızına bağlıdır. Etkin kaçış hızı, kaçış hızından elektron saçılmasından kaynaklı ışınım basıncı düzeltmesi çıkarılarak Bağıntı 3.9 tanımlandığı gibi bulunur:

$$v_{kaçış} = \sqrt{2(1-\Gamma_e)GM_*/R_*} \qquad 3.9$$

Işınım basıncıyla sürülen rüzgârlar kuramı, $v_{kaçış}/v_\infty$ oranının T_e'ye bağlı olduğunu söylemektedir. Lamers ve ark. (1995) tarafından yapılan incelemenin sonucu Şekil 11'de sunulmuştur. Grafiğe göre $T_e > 21000$ K olan yıldızların $v_{kaçış}/v_\infty$ oranı 2,6 iken sıcaklıklar 10000 ile 21000 K arasında kaldığında oran 1,3 olmaktadır. $T_e <$ 10000 K'de $v_{kaçış}/v_\infty \sim$ 0,7 bulunmuştur. 21000 K değerindeki sıçrama, Lyman sürekliliğindeki C,N ve O gibi yüksek derecede iyonize çizgilerin oluşturduğu rüzgârların etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Yine büyük çoğunluğunu Lyman ve Balmer sürekliliğindeki metal çizgilerinin meydana getirdiği rüzgârlar, $10000 < T_e <$ 20000 K aralığında karşımıza çıkmaktadır. 10000 K ve 21000 K yakınlarındaki süreksizlikler, *bi-stability jump* olarak adlandırılır. Bu noktalara yakın değerlerdeki bir yıldızın rüzgâr yapısı, birinden diğerine atlayabilmektedir.



Şekil 11. O, B ve A türü yıldızlarda rüzgârın terminal hızı ile etkin kaçış hızı arasındaki ilişki (Lamers ve Cassinelli, 1999).

Terminal hız ve hız yasası, doymuş P-Cygni profillerinden çıkarılabilir. (Prinja ve ark., 1990; Lamers ve ark., 1995). Fakat kütle kaybı oranının tespiti karmaşık bir işlemdir. Çünkü çizgilerdeki iyonizasyon derecesine doğrudan bağlıdır. Bu durum, sıcak yıldızlarda süperiyonizasyon ve şok yapılarını barındıran yerel olmayan termodinamik dengenin *(non-LTE)* varlığında üretilen modele duyarlıdır ve yeterince bilinmemektedir (Groenewegen ve Lamers, 1991; Pauldrach ve ark., 1994; Lamers ve ark., 1999).

Yıldız rüzgârların gözlemi sonucunda kütle kaybı oranı ve terminal hız ile belirtilen temel parametrelere ulaşırız. Bu parametrelere ancak en doğru biçimde ulaşıldığı zaman bir yıldızın atmosferi rüzgâr yapısıyla birlikte gerçeğe daha yakın örneklenebilir. Bu çalışmada bazı yıldızların rüzgârlarının kütle kaybı oranı ve terminal hızları, Bölüm 3.6.1'de belirlenmiştir.

3.4. Tayf Çizgilerinin ve P-Cygni Profillerinin Sınıflandırılması

Soğurma veya salma gösteren tayf çizgilerinin gözlemiyle, genel olarak çizgilerin atmosferde oluştuğu noktayı (radyal hızlarını), güçlerini (eşdeğer genişlik) ve biçimlerini (akı profillerinin yapısı) elde ederiz. Ölçülen bu niceliklerin her biri rüzgâr yapısı hakkında bilgi sağlamaktadır.

Burada yapılan çalışma, temelde geniş bir gözlem aralığında seçilmiş sıcak yıldızlarda P Cygni profillerinin biçimselliklerinin incelenmesi; buna bağlı olarak rüzgâr gösteren yıldızların belirlenmesi ve sınıflandırılması; rügârın oluşturduğu etkinin boyutunun ortaya çıkarılmasıdır (Benzer çalışmalar için bkz. Çizelge 10).

Çizelge 10. Yıldız rüzgârlarının oluşturduğu gözlemsel profillerin incelendiği çalışmalar

Çalışma	Dalgaboyu Aralığı	Gözlem Aleti	Gözlenen cisim(ler)
Walborn ve ark. (1985)	1200–1900 Å	IUE/SWP	O yıldızları
Stahl ve ark. (1993)	4050–9050 Å	FLASH	P Cygni
Snow ve ark. (1994)	1200–3000 Å	IUE	O3-F8 yıldızları
Walborn ve ark. (1995)	1200–1900 Å	IUE/SWP	B yıldızları
Walborn ve ark. (1995)	1140–2330 Å	HST/FOS	Macellan Bulutsusunda O3-B0.5Ia yıld.
	4000–5000 Å	ESO/CASPEC	
Walborn ve Bohlin (1996)	1000–1200 Å	Copernicus	OB yıldızları
Hanson ve ark. (1996)	K bandı (2μ)	Çeşitli	OB yıldızları
Ebbets ve ark. (1997)	1203–1765 Å	HST/GHRS	η Carinae
Walborn ve ark.(2002)	900–1200 Å	FUSE	OB yıldızları

Rüzgârın oluşturduğu zarf, kütle kaybı miktarına bağlıdır. Büyük miktarlardaki kütle kaybı, yıldızın çevresinde kalın bir zarf oluşturmaktadır. Bu zarfın kalınlığı (kolon yoğunluğu ya da optik derinliği), P-Cygni çizgi profillerinin biçimleriyle doğrudan ilişkili bir durum olduğu için çizgilerin değerlendirilmesindeki ana ölçüt, **baskınlık** olarak alındı. Kolon yoğunluğunun artmasıyla soğurma ve salmanın güçlendiği; soğurmanın giderek "doymuş" çizgiye dönüşerek taban noktasının dalgaboyunun maviye kaydığı, Bölüm 1.4 ve Bölüm 3.3'de açıklanmıştı. Değerlendirme, rezonans çizgisi ve profil yapıları için oluşturulan puan cetveli kullanılarak yapıldı. Tayf yapılarının gözle incelenmesiyle oluşturulan bu cetvel, 1'den 4'e kadar değerlendirmeleri içermektedir. Gözle inceleme sonucunda 1 puan alan tayf çizgisi, çizgi merkezine göre kaymamış soğurma çizgisine, 2 puan alan ise asimetrik soğurma çizgisine; dolayısıyla olası bir hareketli zarf bölgesinde üretilmiş çizgiye işaret eder. 3 ve 4 puanlar ise incelenen çizgide P-Cygni profilinin görüldüğü anlamına gelmektedir. 3 puan tayflarda doymamış P-Cygni profiline; 4 puan ise doymuş P-Cygni profiline rastlandığını gösterir (bkz. Çizelge 11). Gözle çizgi tanısının yapılamadığı ve geçerli çizgi için tayfın bulunmadığı durumlar "0" ile belirtilmiştir

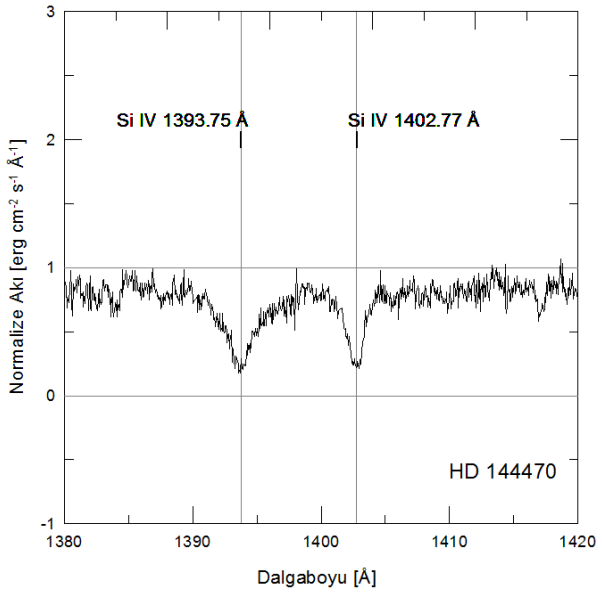
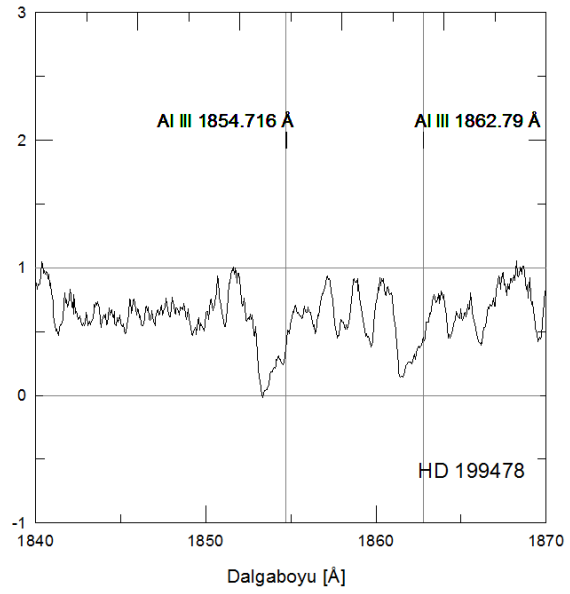
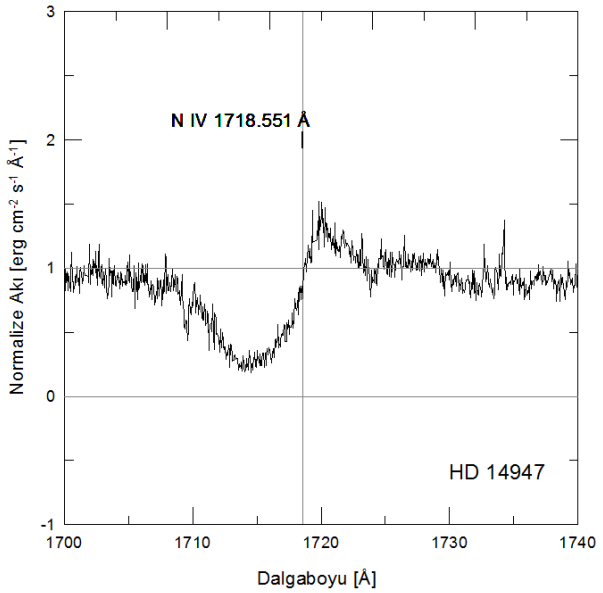
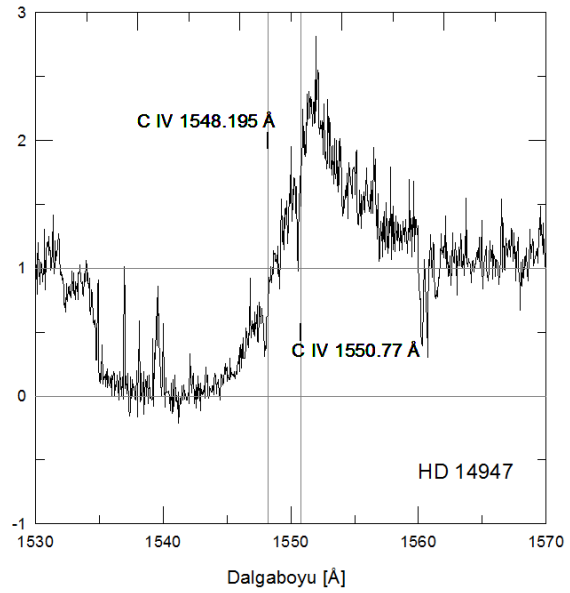
Değerlendirmeye alınan tayf çizgileri, Çizelge 7'de verilenler içinden rüzgâr etkilerinin belirgin olarak yansıdığı düşünülen çizgiler arasından seçildi. Bunlar,

- O tür yıldızlar için N V, C IV, Si IV ikili çizgileri ve C III, N IV çizgileridir.
- B0-B2.5 arasındaki yıldızlarda N V, C IV, Si IV, Al III ikili çizgileri ve Si III çizgisidir.
- B2.5-B9.5 yıldızları için Si II, C IV, Si IV, Al III ikili çizgileri ve Si III çizgisidir.
- A tür yıldızlar içinse Al III, C II, Si II, Mg II ikili çizgileri ve Si III çizgisidir.

Belirtilen ölçütler ışığında şeçilen çizgilerin incelenmesiyle yapılan değerlendirmeler, toplam puanları da hesaplanarak Çizelge 12'ye aktarılmıştır.

Rezonans çizgilerinin dışında yıldızların ELODIE tayfları üzerinden Hα (6562,8 Å) çizgileri incelenerek değerlendirmeye eklenmiştir. Aynı zamanda Hα çizgisi için oluşturulan "Notlar" sütunu çizgiye ilişkin gözle yapılmış biçimsel tanıları söylemektedir.

Çizelge 11. Tayf çizgilerinin tanısı için oluşturulan puan cetveli

<table>
<tr><th colspan="2">SOĞURMA ÇİZGİSİ</th></tr>
<tr><td>FOTOSFERİK
Puan: 1

</td><td>ASİMETRİK
Puan: 2

</td></tr>
<tr><th colspan="2">P-CYGNI PROFİLİ</th></tr>
<tr><td>DOYMAMIŞ
Puan: 3

</td><td>DOYMUŞ
Puan: 4

</td></tr>
</table>

Çizelge 12. Çizgi puanlaması

Sıra No.	Yıldız Bilgisi			Çizgi Puanlaması							
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	$v \sin i$	N V	C IV	Si IV	C III	N IV	TOPLAM	Hα ve notlar	
1	HD 93250	O3.5 V((f))	100	2	3	1	1	2	9		
2	HD 303308	O4 V((f+))	195	3	4	2	1	3	13		
3	HD 66811	O4 I(n)f	230	4	4	2	2	3	15		
4	HD 46223	O4 V	140	3	4	1	2	2	12	1	iç salma
5	HD 96715	O4 V((f))		3	3	1	1	2	10		
6	HD 14947	O5 I	155	3	4	3	1	3	14	2	(salma)
7	HD 15558	O5 III	140	2	4	1	2	2	11	1	iç salma
8	HD 15629	O5 V	155	2	4	1	1	3	11	1	iç salma
9	HD 46150	O5 V((f))	105	2	3	1	2	2	10	1	pür soğurma
10	HD 93204	O5 V((f))	155	2	4	1	1	2	10		
11	HD 210839	O6 I(n)f	275	4	4	3	2	3	16	3	p-cygni
12	HD 108	O6 pe	115	3	3	2	2	2	12	3	p-cygni
13	HD 93130	O7 II	205	2	3	2	1	2	10		
14	HD 39680	O6 V	170	2	2	1	1	1	7	2	iç soğurma
15	HD 91572	O6 V	0	3	3	1	1	2	10		
16	HD 93146	O6.5 V((f))	0	2	3	1	1	2	9		
17	HD 101190	O6 V((f))	145	2	3	1	1	2	9		
18	HD 163758	O6.5 Iaf	95	4	4	4	2	3	17		
19	HD 148937	O6.5 f	220	3	3	1	1	2	10		
20	HD 69464	O6.5 Ib		2	4	2	2	2	12		
21	HD 190864	O6.5 III	105	3	4	1	2	2	12	1	iç salma
22	HD 5005A	O6.5V((f))	120	2	3	1	1	2	9	1	iç salma
23	HD 12993	O6.5 V	155	3	3	1	1	2	10	1	(soğurma)
24	HD 42088	O6.5 V	250	2	3	1	1	1	8	1	(soğurma)
25	HD 54662	O6.5 V	80	2	3	2	1	2	10		
26	HD 101436	O6.5 V	285	3	3	1	2	2	11		
27	HD 192639	O7 Ib(f)	125	4	4	4	3	3	18		
28	HD 34656	O7 II	105	4	4	3	1	2	14	1	iç salma
29	HD 151515	O7 II	140	4	4	2	1	2	13		
30	HD 36879	O7 V	220	2	3	2	1	1	9	1	(soğurma)
31	HD 91824	O7 V((f))	35	3	2	1	1	2	9		
32	HD 162978	O7.5 II	80	4	4	3	3	2	16		
33	HD 186980	O7.5 III	125	3	4	2	2	1	12	1	iç salma
34	HD 53975	O7.5 V	170	2	2	1	1	1	7		
35	HD 152590	O7.5 V		2	2	1	1	1	7		
36	HD 152408	O8 Iafpe	155	4	4	4	4	3	19		
37	HD 151804	O8 Iaf	100	4	4	4	4	2	18		
38	HD 175754	O8 II((f))	220	4	4	4	3	3	18		
39	HD 36861	O8 III	65	3	4	2	2	2	13	1	(soğurma)
40	HD 46966	O8 V	90	3	3	1	1	2	10	1	pür soğurma
41	HD 48279	O8 V	140	2	2	1	1	1	7	1	pür soğurma
42	HD 101413	O8 V	165	2	2	1	1	1	7		
43	HD 14633	O8 (ON8) V	130	3	2	1	1	2	9	1	pür soğurma
44	HD 112244	O8.5 Iab	140	4	4	4	3	2	17		
45	HD 74194	O8.5 Ib(f)	180	4	4	4	3	2	17		
46	HD 96917	O8.5 Ib(f)	155	4	4	4	2	2	16		

Çizelge 12. Çizgi puanlaması (devamı)

Sıra No.	Yıldız Bilgisi			Çizgi Puanlaması							
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	$v \sin i$	N V	C IV	Si IV	C III	N IV	TOPLAM	Hα ve notlar	
47	HD 46149	O8.5 V	90	2	1	1	2	1	7	1	(soğurma)
48	HD 149404	O9 Ia	45	4	4	4	2	2	16		
49	HD 210809	O9 Iab	120	4	4	3	3	2	16	1	(soğurma)
50	HD 37043	O9 III	125	3	3	1	1	1	9	1	pür soğurma
51	HD 46202	O9 V	75	1	1	1	2	1	6		
52	HD 93028	O9 V	80	2	2	1	1	1	7		
53	HD 214680	O9 V	30	2	2	1	1	1	7	1	pür soğurma
54	HD 12323	ON9 V	130	2	2	1	1	1	7	1	pür soğurma
55	HD 201345	ON9 V	95	2	2	1	1	1	7	1	(soğurma)
56	HD 30614	O9.5 Ia	80	4	4	4	4	2	18	3	p-cygni
57	HD 188209	O9.5 Iab	80	4	4	4	3	2	17	3	p-cygni
58	HD 218915	O9.5 Iab	115	4	4	3	2	2	15	1	iç salma
59	HD 209975	O9.5 Ib	40	3	4	3	2	1	13	1	iç salma
60	HD 189957	O9.5 III	90	1	2	1	1	1	6	1	pür soğurma
61	HD 34078	O9.5 V	25	1	2	1	1	1	6	1	pür soğurma
62	HD 38666	O9.5 V	140	1	2	1	1	1	6		
63	HD 149038	O9.7 Iab	105	3	4	3	3	1	14		
64	HD 152405	O9.7 Ib-II	95	3	3	2	1	1	10		
65	HD 152424	O9.7 (OC9.7) Ia	115	3	4	4	4	2	17		
66	HD 105056	O9.7 (ON9.7) Iae	85	3	3	3	2	2	13		
67	HD 123008	O9.7 (ON9.7) Iab	115	4	4	4	2	2	16		
				N V	C IV	Si IV	Al III	Si III	TOPLAM		
68	HD 37128	B0 Iae	65	3	4	3	1	2	13	2	salma
69	HD 91969	B0 Ia	96	3	4	4	1	1	13		
70	HD 164402	B0 Ib	100	2	2	2	1	1	8		
71	HD 204172	B0 Ib	80	3	4	3	1	1	12		
72	HD 43818	B0 II	99	3	3	3	1	1	11		
73	HD 48434	B0 III	50	3	3	2	1	1	10	1	(soğurma)
74	HD 74753	B0 IIIn	288	2	1	1	1	1	6		
75	HD 36512	B0 V	10	2	2	1	1	1	7	1	pür soğurma
76	HD 149438	B0 V	20	2	2	2	1	1	8		
77	HD 38771	B0.5 Ia	65	3	3	3	1	1	11	1	iç salma
78	HD 150898	B0.5 Ia	128	3	2	2	2	1	10		
79	HD 167756	B0.5 Ia		3	3	3	1	1	11		
80	HD 64760	B0.5 Ib	238	0	2	2	2	1	7		
81	HD 91943	B0.5 Ib	69	3	3	2	1	1	10		
82	HD 213087	B0.5 Ibe	75	2	4	3	1	1	11		
83	HD 184915	B0.5 III	259	2	2	2	2	1	9		
84	HD 219188	B0.5 III	265	0	2	2	2	1	7		
85	HD 34816	B0.5 IV	67	1	2	1	1	1	6	1	pür soğurma
86	HD 37061	B0/1 V	160	1	2	1	1	1	6	1	iç salma

Çizelge 12. Çizgi puanlaması (devamı)

Sıra No.	Yıldız Bilgisi			Çizgi Puanlaması							
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	$v \sin i$	N V	C IV	Si IV	Al III	Si III	TOPLAM	Hα ve notlar	
87	HD 96248	B1 Iabe	93	1	3	3	2	2	11		
88	HD 152236	B1 Iape	57	1	2	2	2	1	8		
89	HD 152235	B1 Iae	0	0	4	2	2	2	10		
90	HD 154090	B1 Iae	91	2	4	3	2	2	13		
91	HD 109867	B1 Ia	88	3	3	2	2	2	12		
92	HD 47240	B1 Ib	126	2	4	3	2	2	13	2	iç soğurma
93	HD 52382	B1 Ib	87	3	4	3	2	2	14		
94	HD 73658	B1 Ibe		1	1	1	1	1	5		
95	HD 157246	B1 Ib	281	2	2	2	2	1	9		
96	HD 214080	B1 Ib	100	2	2	2	1	1	8		
97	HD 165793	B1 II		2	1	2	1	1	7		
98	HD 36591	B1 IV	29	0	2	1	1	1	5	1	pür soğurma
99	HD 50707	B1 IV	49	0	2	1	1	1	5		
100	HD 52918	B1 IV	336	1	2	1	1	1	6		
101	HD 37303	B1 Vv	260	0	1	1	1	1	4		
102	HD 144470	B1 V	142	1	1	1	1	1	5		
103	HD 106343	B1.5 Ia	100	2	4	3	2	2	13		
104	HD 148379	B1.5 Iape	66	1	4	2	2	0	9		
105	HD 190603	B1.5 Iae	35	0	3	2	2	1	8		
106	HD 74575	B1.5 III	19	0	2	1	1	1	5		
107	HD 37481	B1.5 IV	105	0	1	1	1	1	4		
108	HD 136298	B1.5 IV	221	0	1	1	1	1	4		
109	HD 35299	B1.5 V	36	0	1	1	1	1	4		
110	HD 37744	B1.5 V	35	0	1	1	1	1	4		
111	HD 39777	B1.5 V	20	0	1	1	1	1	4		
112	HD 74273	B1.5 V	181	1	1	1	1	1	5		
113	HD 41117	B2 Iave	36	2	3	2	2	0	9	3	p-cygni
114	HD 165024	B2 Ib	117	1	2	2	1	1	7		
115	HD 206165	B2 Ib	36	1	4	4	2	0	11	1	(soğurma)
116	HD 52089	B2 II	44	1	2	2	1	1	7		
117	HD 92936	B2 III		1	2	2	1	1	7		
118	HD 106490	B2 IV	194	1	1	1	1	1	5		
119	HD 37356	B2 IV-V	10	0	1	1	1	1	4		
120	HD 37776	B2 IV-V	157	2	2	1	1	1	7	1	pür soğurma
121	HD 39291	B2 IV-V	150	1	1	1	1	1	5		
122	HD 142669	B2 IV-V	156	1	1	1	1	1	5		
123	HD 36166	B2 V	175	1	1	1	1	1	5		
124	HD 36430	B2 V	25	0	1	1	1	1	4		
125	HD 74234	B2 V	247	1	1	1	1	1	5		
126	HD 108483	B2 V	245	1	1	1	1	1	5		
127	HD 145482	B2 V	225	1	1	1	1	1	5		
128	HD 148605	B2 V	232	0	2	1	1	1	5		
129	HD 212978	B2 V	115	1	1	1	1	1	5		
130	HD 92964	B2.5 Iae	68	2	3	2	2	0	9		
131	HD 42087	B2.5 Ibe	40	2	3	2	2	1	10		
132	HD 116084	B2.5 Ib		2	2	2	2	2	10		
133	HD 166596	B2.5 III	197	1	2	2	1	2	8		

Çizelge 12. Çizgi puanlaması (devamı)

Sıra No.	Yıldız Bilgisi			Çizgi Puanlaması							
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	$v \sin i$	N V	C IV	Si IV	Al III	Si III	TOPLAM	Hα ve notlar	
134	HD 125238	B2.5 IV	370	0	1	1	1	1	4		
135	HD 36779	B2.5 V	227	1	1	1	1	1	5		
136	HD 175191	B2.5 V	201	1	1	1	1	1	5		
137	HD 144294	B2.5 Vn	309	1	1	1	1	1	5		
138	HD 168905	B2.5 Vn	297	1	1	1	1	1	5		
				Si II	C IV	Si IV	Al III	Si III	TOPLAM		
139	HD 225094	B3 Iae	40	1	1	2	2	2	8		
140	HD 198478	B3 Iae	35	1	3	3	2	2	11	2	(salma)
141	HD 75149	B3 Ia	73	1	2	2	2	2	9		
142	HD 53138	B3 Iab	44	1	3	3	2	2	11		
143	HD 43384	B3 Ib	35	1	2	2	2	2	9		
144	HD 51309	B3 II	29	1	3	2	2	1	9		
145	HD 21483	B3 III		1	2	2	1	1	7		
146	HD 198820	B3 III	15	1	2	1	1	1	6		
147	HD 209008	B3 III	5	1	0	2	1	1	5		
148	HD 157038	B4 Ia		1	3	3	2	0	9		
149	HD 58350	B5 Ia	15	1	2	2	2	2	9		
150	HD 79186	B5 Ia	61	1	3	3	2	2	11		
151	HD 36371	B5 Iab	41	1	3	3	2	2	11		
152	HD 75129	B5 Ib		1	2	2	1	1	7		
153	HD 86440	B5 Ib	15	1	2	2	2	1	8		
154	HD 164353	B5 Ib	22	1	2	2	1	1	7	1	pür soğurma
155	HD 83183	B5 II		1	2	2	1	1	7		
156	HD 175156	B5 II	19	1	2	2	1	1	7		
157	HD 45057	B5 III	86	1	2	2	1	1	7		
158	HD 72232	B5 III		1	2	1	1	1	6		
159	HD 72798	B5 III		1	1	1	1	1	5		
160	HD 209419	B5 III	20	1	0	2	1	1	5		
161	HD 74371	B6 Iae	53	1	3	3	2	2	11		
162	HD 125288	B6 Ib	10	1	2	2	1	1	7		
163	HD 155763	B6 III	55	1	2	2	1	1	7	1	pür soğurma
164	HD 91619	B7 Iae	52	1	2	2	2	2	9		
165	HD 1279	B7 III	25	1	0	2	2	1	6		
166	HD 142514	B7 III		1	2	2	1	1	7		
167	HD 210424	B7 III	18	1	0	1	1	1	4		
168	HD 34085	B8 Iae	33	2	2	2	2	2	10	1?	(soğurma)
169	HD 166937	B8 Iape	25	1	2	2	2	2	9		
170	HD 199478	B8 Iae	90	1	2	3	2	2	10		
171	HD 12301	B8 Ib	30	1	2	2	1	2	8		
172	HD 46769	B8 Ib	65	1	2	2	1	1	7		
173	HD 208501	B8 Ib	40	1	2	3	2	2	10		
174	HD 53244	B8 II	27	1	2	2	1	1	7		
175	HD 47670	B8 III	246	1	2	2	1	1	7		
176	HD 202850	B9 Iab	28	1	2	2	2	1	8		
177	HD 212593	B9 Iab	27	1	2	2	1	0	6		
178	HD 46885	B9 III	42	1	1	0	1	1	4	1	pür soğurma
179	HD 100841	B9 III	183	1	0	0	2	0	3		

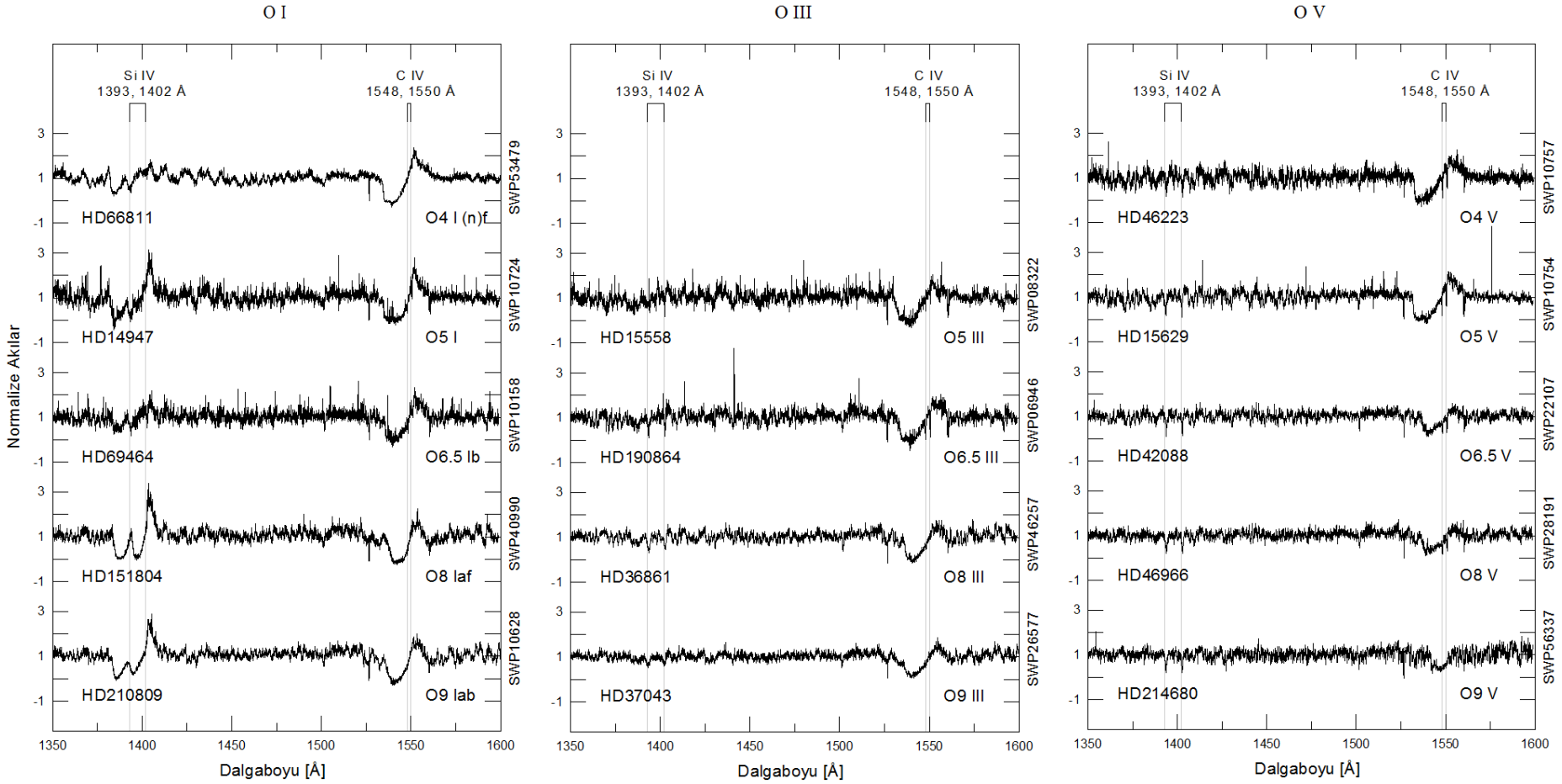
Çizelge 12. Çizgi puanlaması (devamı)

Sıra No.	Yıldız Bilgisi			Çizgi Puanlaması							
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	$v \sin i$	Si II	C IV	Si IV	A IIII	Si III	TOPLAM	Hα ve notlar	
180	HD 144206	B9 III	18	1	0	1	1	1	4	1	pür soğurma
181	HD 176437	B9 III	76	1	1	0	1	0	3	1	pür soğurma
182	HD 192907	B9 III	18	1	0	0	1	0	2		
183	HD 198667	B9 III	25	1	1	1	1	1	5		
184	HD 169022	B9.5 III	236	1	0	0	1	0	2		
				Al III	Si III	C II	Si II	Mg II	TOPLAM		
185	HD 21389	A0 Iae	6	1	1	1	2	2	7	1?	(soğurma)
186	HD 92207	A0 Iae	56	0	0	0	0	2	2		
187	HD 223960	A0 Iae		0	0	0	0	2	2		
188	HD 46300	A0 Ib	17	1	1	1	1	2	6	1	pür soğurma
189	HD 87737	A0 Ib	20	1	1	2	1	2	7	1	pür soğurma
190	HD 175687	A0 II	10	1	1	3	1	0	6		
191	HD 12953	A1 Iae	18	0	0	0	0	2	2		
192	HD 14433	A1-3 Ia	0	0	0	0	0	2	2		
193	HD 197345	A2 Iae	21	1	1	4	1	2	9	3	p-cygni
194	HD 14489	A2 Ia	33	1	1	2	1	2	7		
195	HD 207260	A2 Ia	33	1	1	2	2	2	8		
196	HD 62623	A2 Iabe	73	1	1	2	2	2	8		
197	HD 182564	A2 IIIs	25	0	0	1	1	0	2	1	pür soğurma
198	HD 223385	A3 Iae	39	1	1	2	1	2	7	3	p-cygni
199	HD 17378	A5 Ia	37	0	0	0	0	2	2	1	pür soğurma?
200	HD 59612	A5 Ib	26	1	1	1	2	2	7		
201	HD 34578	A5 II	16	0	0	0	0	1	1		
202	HD 74272	A5 II		0	0	0	0	1	1		
203	HD 147084	A5 II	7	0	0	0	0	1	1		
204	HD 97534	A6 Iae	34	0	0	0	0	2	2		
205	HD 73634	A6 II		1	1	0	0	2	4		
206	HD 148743	A5 II	52	0	0	0	0	1	1		
207	HD 80404	A8 Ib	10	0	1	0	0	1	2		
208	HD 85123	A8 Ib	12	0	0	0	0	2	2		
209	HD 196379	A9 II	29	0	0	0	0	1	1		

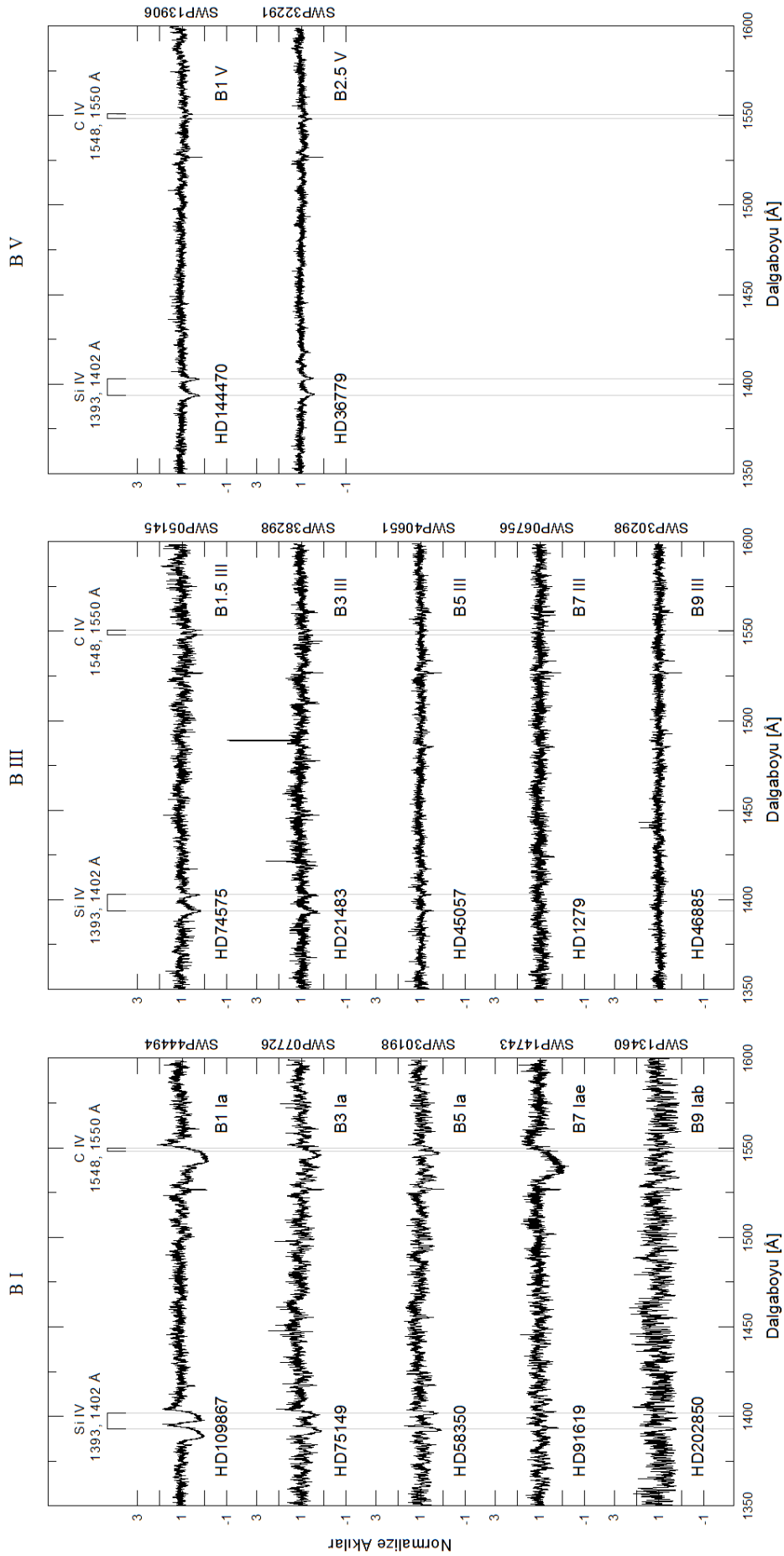
Bir sonraki sayfada yer alan Şekil 12 ve Şekil 13, O ve B tür yıldızlarda çizgi yapılarının tayf türüyle ve ışıtma sınıfıyla olan değişimini göstermektedir. Yıldızlar, Çizelge 6 içinden seçilerek, I, III ve V olarak verilen her bir ışıtma sınıfı içinde tayf türleri dikkate alınarak sıralandı. IUE-SWP'den alınarak 1350-1600 Å aralığında çizilmiş tayflar, çizgi puanlaması çizelgesine göre yüksek puanlı Si IV(1393, 1402 Å) ve CIV (1548, 1550 Å) rezonans çizgilerini kapsamaktadır. Her bir tayfın sol köşesinde yıldız ismi; sağ köşesinde tayf türü yazmaktadır. Tayfların sağ tarafında ise IUE'ye ait görüntü

numarası yer almaktadır. A tür yıldızlar, IUE tayflarının düşük kalitede olması ve O ve B tür yıldızlarla karşılaştırılabilecek ortak rüzgâr çizgisi barındırmamaları nedeniyle grafiklere alınmadı.

Seçilmiş O yıldızları için çizdirilen grafiklerde OI yıldızlarının hepsinde Si IV ve C IV çizgisinde P-Cygni profili baskın görülürken III ve V. ışıtma sınıfında Si IV çizgileri kaybolmakta; C IV çizgisi ise gerileyen tayf türüyle birlikte baskınlığını yitirmektedir (bkz. Şekil 12). B yıldızlarının tayflarını içeren grafiğe baktığımızda sadece HD109867 ve HD 91619 yıldızında P-Cygni profilini görebildiğimiz Si IV çizgisi, diğer yıldızlarda fotosfer kaynaklı olarak karşımıza çıkmaktadır. B yıldızlarının bir çoğunda C IV çizgisi etkisiz kalmaktadır (bkz. Şekil 13).



Şekil 12. Seçilmiş O yıldızlarının tayfları. Sol panelde OI, orta panelde OIII ve sağ panelde OV yıldızları için 1350-1600Å aralığında çizilmiş tayf bölgeleri görülüyor.



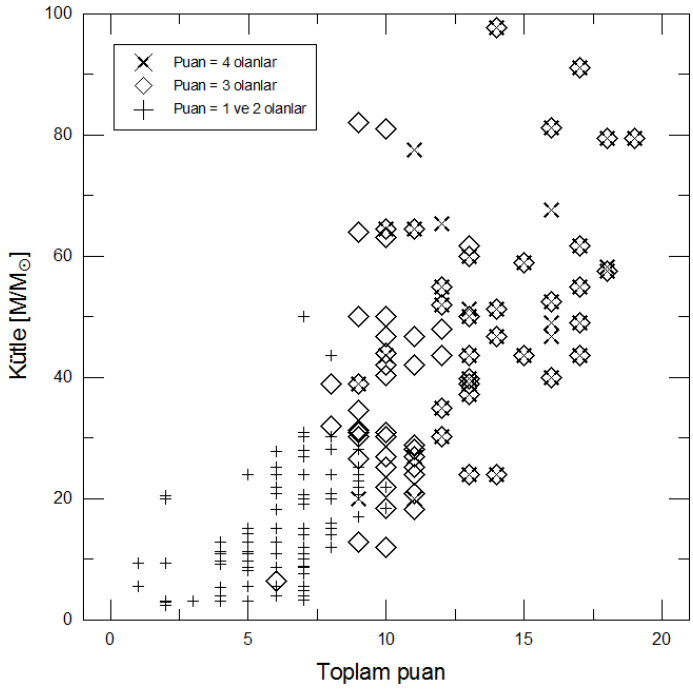
Şekil 13. Seçilmiş B yıldızlarının tayfları. Sol panelde BI, orta panelde BIII ve sağ panelde BV yıldızları için 1350-1600Å aralığında çizilmiş tayf bölgeleri görülüyor.

3.5. P-Cygni Profilleri ile Yıldızların Mutlak Parametreleri ve Dönme Hızları Arasındaki İlişkiler

Araştırmanın amacı, çizgi baskınlıklarıyla yıldızın mutlak parametreleri ve dönme hızı arasındaki ilişkiyi bulmaktır.

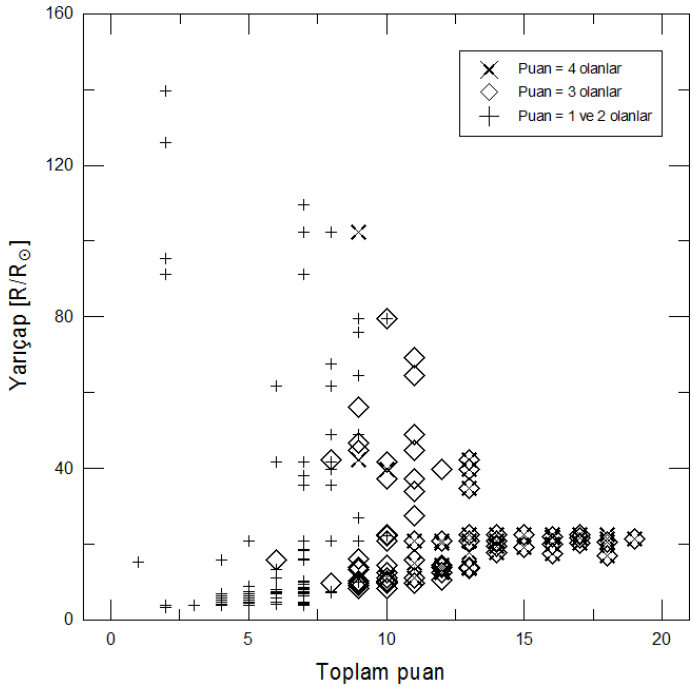
3.5.1. P-Cygni Profilleri ve Yıldızların Mutlak Parametreleri

P-Cygni profillerinin *biçimselliklerinin* yıldızların mutlak parametreleriyle ilişkisini çıkarmak amacıyla çizgi puanlaması çizelgesindeki (bkz. Çizelge 12) değerlendirmelerin toplam puanı, mutlak parametrelere göre ayrı ayrı grafiklere aktarıldı. Sırasıyla kütlenin, yarıçapın, ışınım gücünün, etkin sıcaklığın ve yüzey çekim ivmesinin toplam puanla ilişkisi aşağıdaki grafiklerde görülebilir. Grafikler, yatay eksen, toplam puan; dikey eksen, mutlak parametre olmak üzere çizildi. Noktalamalar, üç farklı işaretçi ile yapıldı. Çizgi puan cetveline göre (bkz. Çizelge 11), Çizelge 12'de 5 çizgiden en az biri 4 puanlı olduğunda × simgesi, 3 puanlı olduğunda ◇ simgesi, 1 ve 2 puanlı olduğunda + simgesi kullanıldı. Örneğin, toplam puanı 15 olan 60 $M_{\odot}$ kütleli bir yıldızın incelenen 5 çizgisinin en az biri 4 puan almış; bununla birlikte diğer çizgileri içinde de en az biri 3 puanlı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 14. Yıldızların kütle - toplam puan ilişkisi.

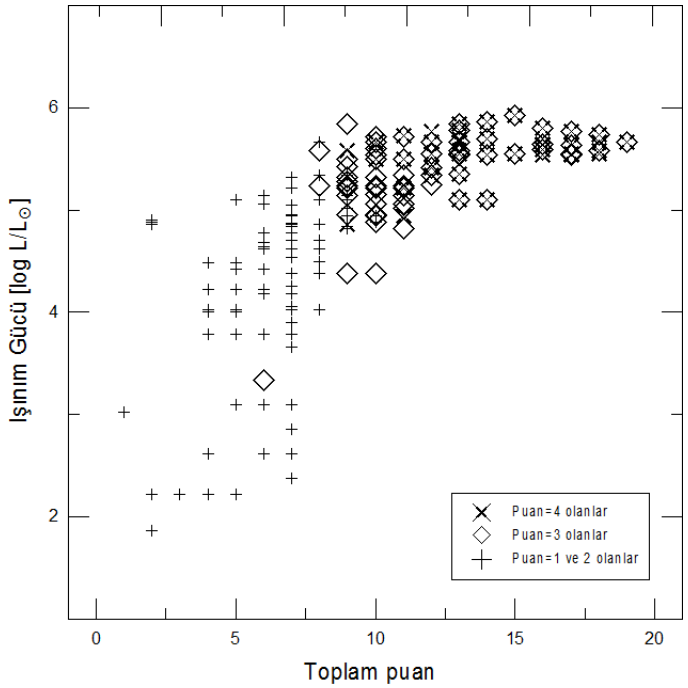
Kütle - toplam puan grafiğini incelediğimizde çok büyük kütleli (70 $M_{\odot}$'den daha büyük) birkaç örnek dışında 10 puan üstündeki çoğu yıldızın 20 ile 60 $M_{\odot}$ aralığında dağıldığı görülüyor (bkz. Şekil 14).



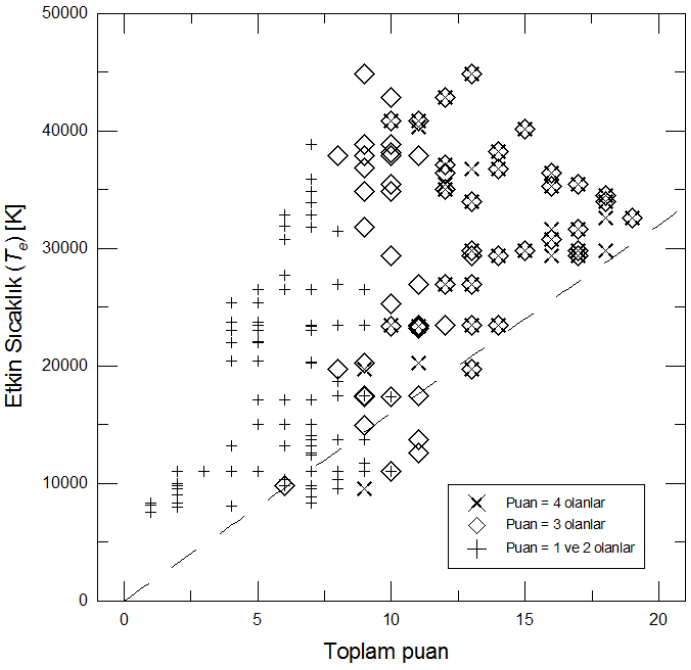
Şekil 15. Yıldızların yarıçapı - toplam puan ilişkisi.

Yıldızların yarıçapları – toplam puan ilişkisi grafiğinde P-Cygni profili gösteren ve 13 puanın üstünde yer alan yıldızların hemen hemen hepsinin yarıçapları, $20R_{\odot}$'den küçük değerlerde seyretmekte ve toplam puan değerleri arttıkça daha dar bir aralıkta toplanmaktadırlar.

Şekil 16'da görüldüğü gibi yüksek puanlı yıldızlar, aynı zamanda çok yüksek ışınımlı yıldızları oluşturuyor. Bu durum, ışınım basıncıyla sürülen rüzgârlar kuramını gözlemsel olarak destekler niteliktedir. Birkaç yıldız dışında P-Cygni profili gösterdiği belirlenenler (4 ve 3 puanlı), $5 \lesssim \log L/L_{\odot} \lesssim 6$ aralığında dağılmıştır.



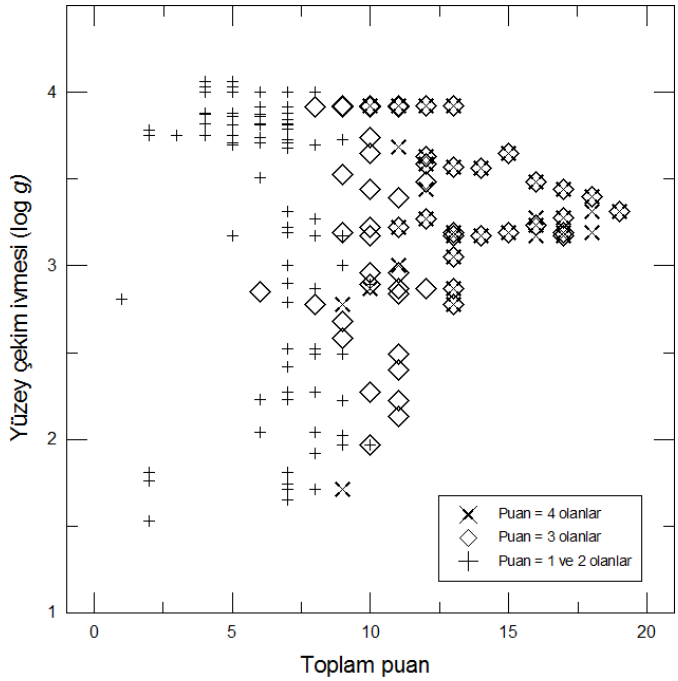
Şekil 16. Yıldızların ışınım gücü - toplam puan ilişkisi.



Şekil 17. Yıldızların etkin sıcaklığı - toplam puan ilişkisi. Noktalı çizgilerle gösterilen doğru, yüksek puanlı yıldızların dağılımının ortalama alt sınırı olarak verilmiştir.

Baskın profiller, 20000 K'den daha yüksek etkin sıcaklıkta belirlenmektedir ve noktalı çizgilerle gösterilen doğrunun üstünde dağılmaktadırlar (bkz. Şekil 17).

$\log g$ – toplam puan grafiğine göre 4 puanlı profillerle $\log g \gtrsim 2{,}5$ olduğu durumlarda karşılaşılmaktadır (bkz. Şekil 18).

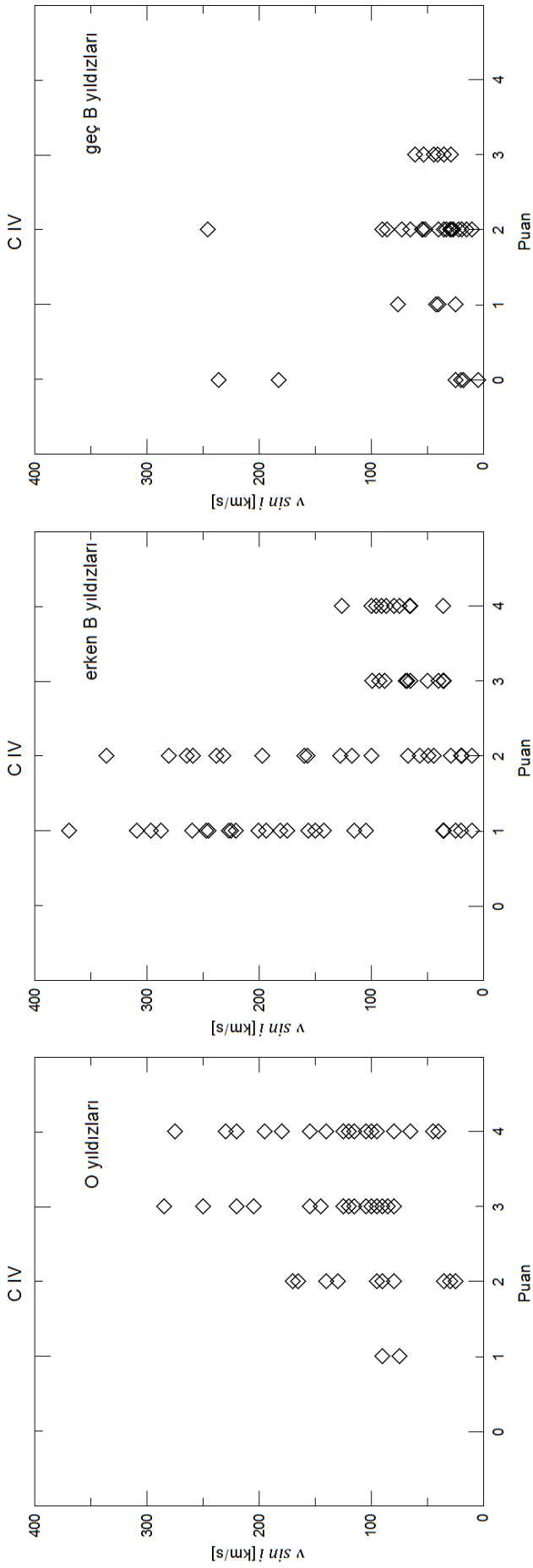


Şekil 18. Yıldızların yüzey çekim ivmesi - toplam puan ilişkisi.

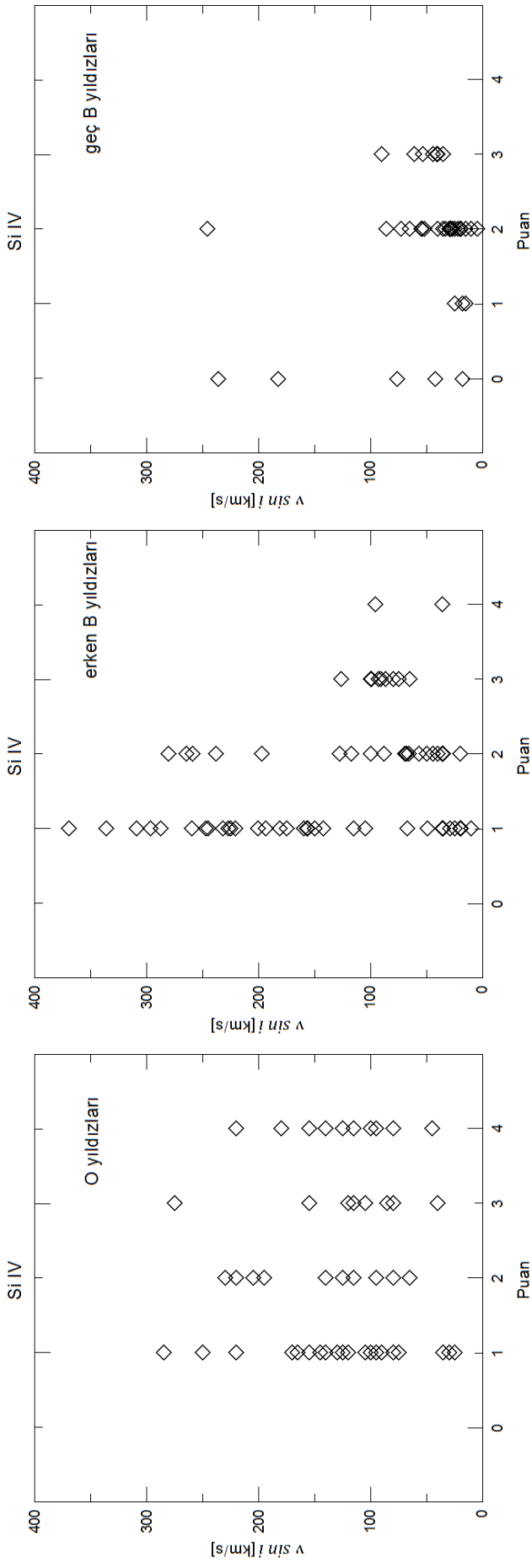
3.5.2. P-Cygni Profilleri ve Yıldızların Dönme Hızı

Yıldızların dönme hızları, listeden (bkz. Çizelge 6) alınarak baskın çizgilerden C IV ve Si IV tayf çizgileri için çizgi puanlaması çizelgesinde (bkz. Çizelge 12) verilen puanlara göre çizdirilerek çizgiye göre yıldızların dönme hızlarının dağılımları elde edildi. Burada profil baskınlıklarının dönme hızıyla olan ilişkisinin ortaya çıkarılması amaçlandı. Grafikler, bir sonraki sayfada sırasıyla C IV çizgisi için (bkz. Şekil 19) ve Si IV çizgisi için (bkz. Şekil 20) sunulmuştur.

C IV çizgisine göre oluşturulan grafiklerde bu çizginin özellikle O-tür ve bazı erken B-tür yıldızlarda baskın bir çizgi olduğu; fakat tayf türü geriledikçe baskınlığının azaldığı görülebiliyor. Aynı durum nispeten Si IV çizgisi içinde geçerli denilebilir. O tür yıldızlarda Si IV çizgisi, C IV'e kıyasla daha küçük puanlarda dağılım gösteriyor. Grafikler, P-Cygni profili gösteren yıldızların O-tür birkaç yıldız hariç çokta hızlı dönmediklerini, hızlarının yaklaşık 150 km/s'nin altında kaldığını söylüyor.



Şekil 19. O, erken B ve geç B tür yıldızlarda C IV çizgisi puanına göre hız dağılımı. Sol panel tüm O yıldızlarını, ortadaki panel B0-B2.5, sağdaki panel ise B3-B9.5 aralıklarındaki yıldızları kapsamaktadır.



Şekil 20. O, erken B ve geç B tür yıldızlarda Si IV çizgisinin puanına göre hız dağılımı. Sol panel tüm O yıldızlarını, ortadaki panel B0-B2.5, sağdaki panel ise B3-B9.5 aralıklarındaki yıldızları içermektedir.

Literatürde yer alan dönme hızı ölçümlerinin doğruluğunu denetlemek amacıyla birkaç yıldızın dönme hızı, PROF (Olah ve ark., 1992; Olah ve ark., 1998) uygulaması yardımıyla bulundu.

PROF, girdi olarak aldığı 5 serbest parametreyi kullanarak çizgi profiline en iyi gauss eğrisini uydurmaya çalışır. Bu süreç, yinelenen çözümlemelerle yapılmaktadır. Her defasında öncekine göre daha duyarlı elde edilen çıktı parametreleri, tekrar tekrar girdi olarak kullanılarak daha iyi bir uyum eğrisine ulaşılır. Uyum eğrisini oluşturan ilk bileşen, r dönmesel (rotasyonel) Doppler genişlemesini verir:

$$f_1(r,\lambda) = I_c + \frac{3I_d}{(3-u)}\left\{(1-u)J_1(r,\lambda) + \frac{\pi}{4}J_2(r,\lambda)\right\} \qquad 3.10$$

İkinci bileşen s, Gaussian genişlemesini temsil eder:

$$f_2(s,\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s}}exp\{-(\lambda-\lambda_0)^2/2s^2\} \qquad 3.11$$

Bağıntı 3.10'de I_c çizgi komşuluğundaki süreklilik akı düzeyi; I_d, çizgi merkezinin akı miktarı ve λ_0, çizginin laboratuvar (referans) dalgaboyudur. İlk bileşen, r dönmesel genişlemedeki J_1 ve J_2 integralleri, Budding ve Zeilik (1994) tarafından verilmektedir. Bağıntı 3.11'de tanımlanan ikinci bileşen s, Gaussian çizgi genişlemesinde rol alan diğer işleyişleri, ısısal ve ısısal olmayan (örneğin, mikro ve/veya makro-türbülans) mekanizmaları içerir. r, s ve I_d, çizgi profilinin biçiminini belirlerleyen en önemli parametrelerdir (Erdem ve ark., 2008).

Hız hesabı için rüzgârın etkilemediği bilindiği fotosfer kaynaklı görünür bölge He I (4471 Å) çizgisi ve moröte bölge O III (1149,6; 1150,9; 1153,8 Å) üçlü çizgileri alındı.

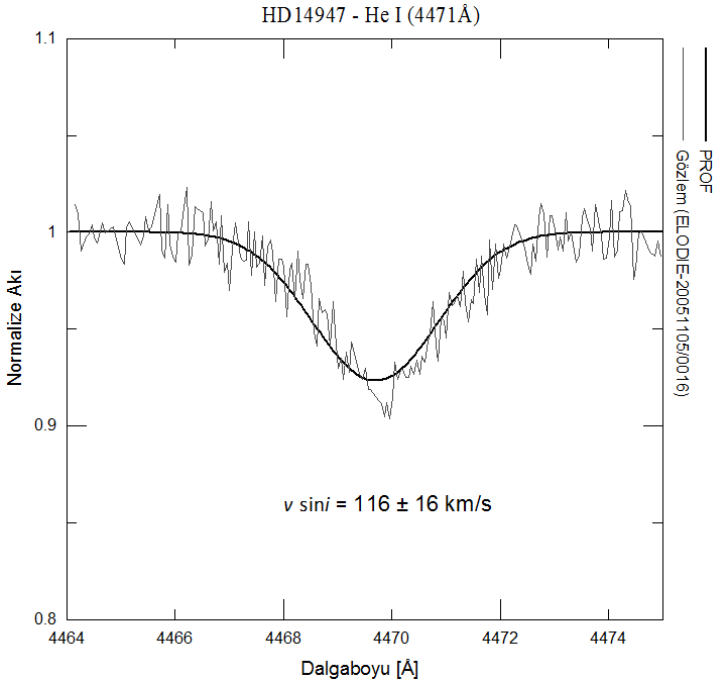
Çizelge 6'da yer alan O tür yıldız arasından seçilen HD 14947 ve HD 192639 yıldızlarının ELODIE tayf verisinin He I çizgisine ve HD 108, HD 46149, HD 46202, HD 91572 ve HD 91824 yıldızları için FUSE verisinin O III üçlü çizgileri içinden seçilen en temiz çizgilerine dönme hızı ($v\,sini$) belirlemek amacıyla PROF yazılımı uygulandı. Yazılımın başlangıç değerlerine ihtiyaç duyması nedeniyle, çizelgede yer alan dönme hızı değerleri, r değerinin hesaplanması için kullanıldı. Dönme hızı bilinmeyen HD 91572 yıldızı (O6V) için r girdi parametresi 80 km/s olarak alındı. s parametresinin başlangıç değeri, türbülans hızları göz önünde bulundurularak tüm yıldızlarda 20 km/s kabul edildi

(Dufton ve ark., 2006) ve iterasyona bırakıldı. Uygulama, önce s parametresi serbest, r parametresi sabit tutularak; ikinci adımda her iki parametrede serbest bırakılarak çalıştırıldı. Gözlenen tayflarla birlikte en iyi eğriler çizdirilerek bulunan dönme hızı değerleri, grafiklerde ve Çizelge 13'te sunulmuştur. HD 91572 hariç tüm yıldızlar için yeni sonuçlar elde edilmiş; HD 91572 yıldızı içinse literatürde bulunmayan dönme hızı değeri hesaplanmıştır. PROF ile elde edilen kuramsal eğrilerin yukarıda sözü edilen tayf çizgileriyle uyumu, HD 14947 yıldızı için Şekil 21'de, HD 192639 yıldızı için Şekil 22'de, HD 108 yıldızı için Şekil 23'te, HD 46149 yıldızı için Şekil 24'de, HD 46202 yıldızı için Şekil 25'te, HD 91572 yıldızı için Şekil 26 ve HD 91824 yıldızı için Şekil 27'de görülmektedir. Çizelge 13'te bulunan $v\ sini$ değerleri, PROF tarafından her bir ölçüm için hesaplanan standart sapmaları ve ki-kare (χ^2) dağılımları ile birlikte verilmiştir.

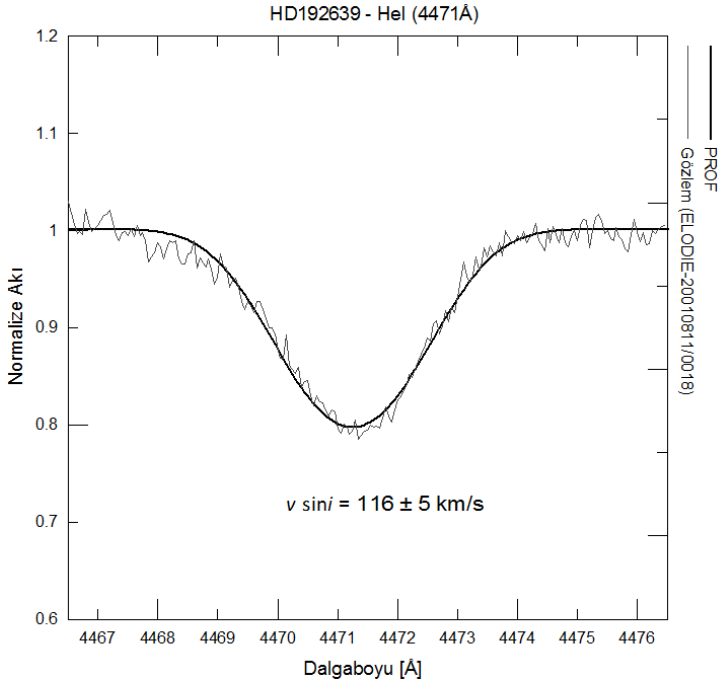
Çizelge 13. PROF ile hız ölçümü yapılan yıldızlar

Yıldız	**Hız ölçümünün yapıldığı çizgi**	$v\ sini\ \pm\ \sigma$ **(km/s)**	χ^2
HD 14947	He I (4471 Å)	116 ± 16	9,5
HD 192639	He I (4471 Å)	116 ± 5	18,4
HD 108	O III (1151 Å)	104 ± 2	70,4
HD 46149	O III (1151 Å)	68 ± 2	38,8
HD 46202	O III (1153 Å)	87 ± 4	12,2
HD 91572	O III (1151 Å)	78 ± 2	19,1
HD 91824	O III (1151 Å)	70 ± 2	13,5

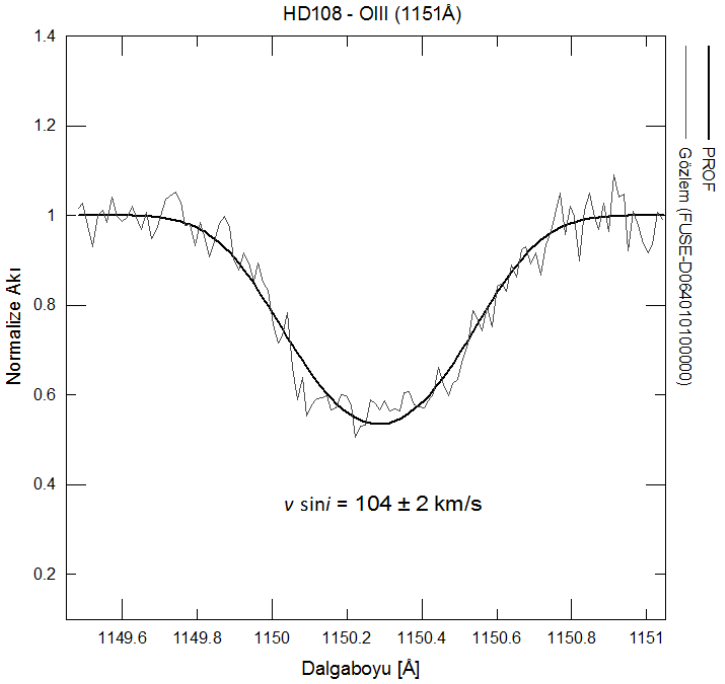
PROF ile HD 14947'nin ELODIE gözlemsel verisi gürültülü olmasına rağmen He I çizgisi başarılı bir şekilde örnekledi; fakat hata payı ± 16 km/s olarak hesaplandı. Diğer yıldızların tayflarının daha temiz olması, hata paylarının küçük çıkmasını sağlanmıştır. Gürültünün etkisi aynı dönme hızına sahip HD14947 ile HD192639'un tayflarının karşılaştırılmasıyla anlaşılabilir (bkz. Şekil 21 ve Şekil 22). HD 108 yıldızının kuramsal eğrisi, çizginin tabanındaki saçılmadan kaynaklı taban dalgaboyunu daha aşağıda belirlemiştir; fakat eğrinin kanatlara çok iyi oturduğu görülmektedir (bkz. Şekil 23).



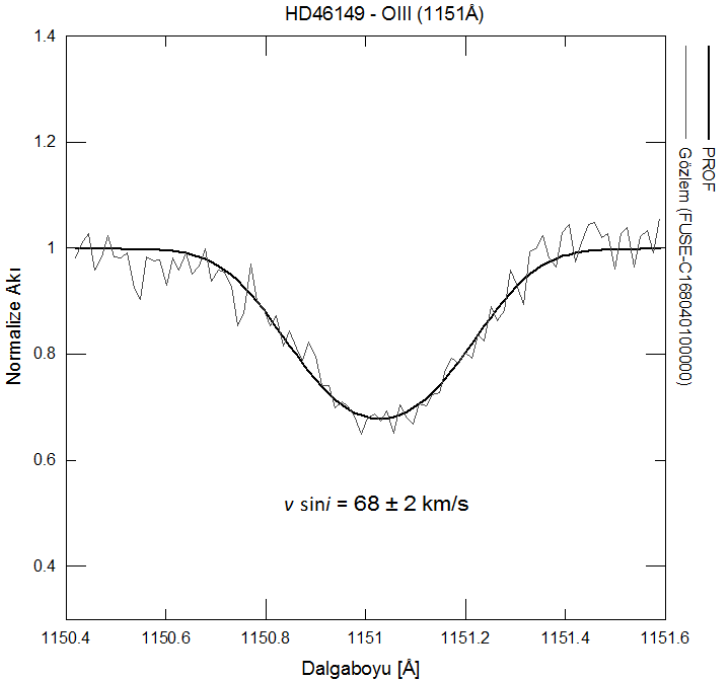
Şekil 21. HD 14947 yıldızı için He I çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.



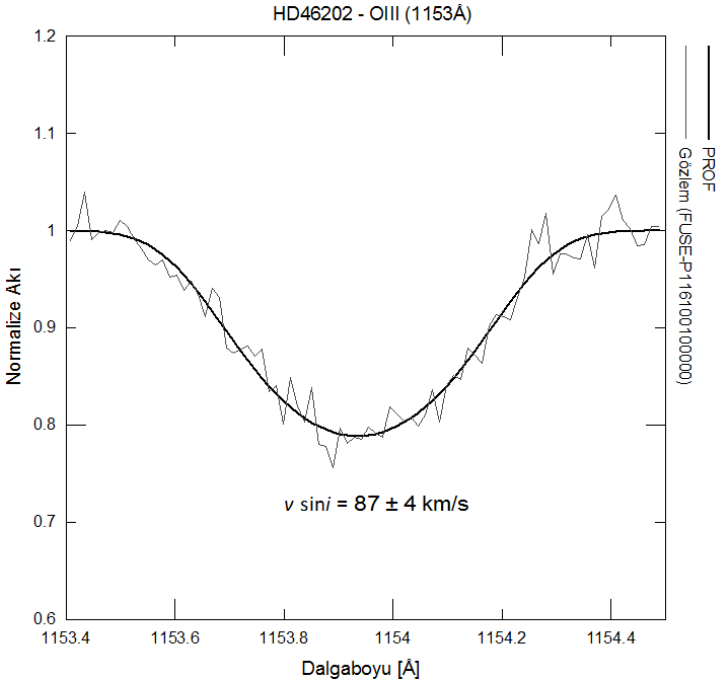
Şekil 22. HD 192639 yıldızı için He I çizgisi ve PROF ile elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.



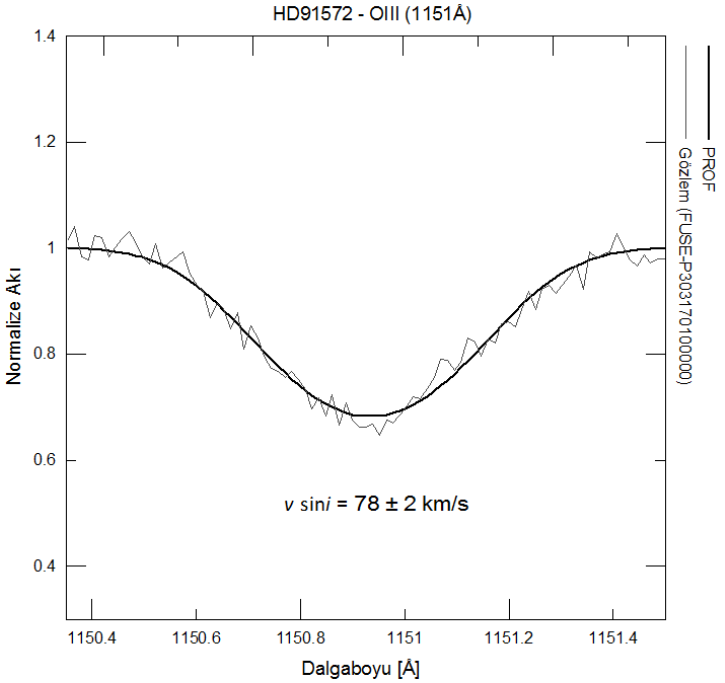
Şekil 23. HD 108 yıldızı için O III çizgisi ve PROF ile elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.



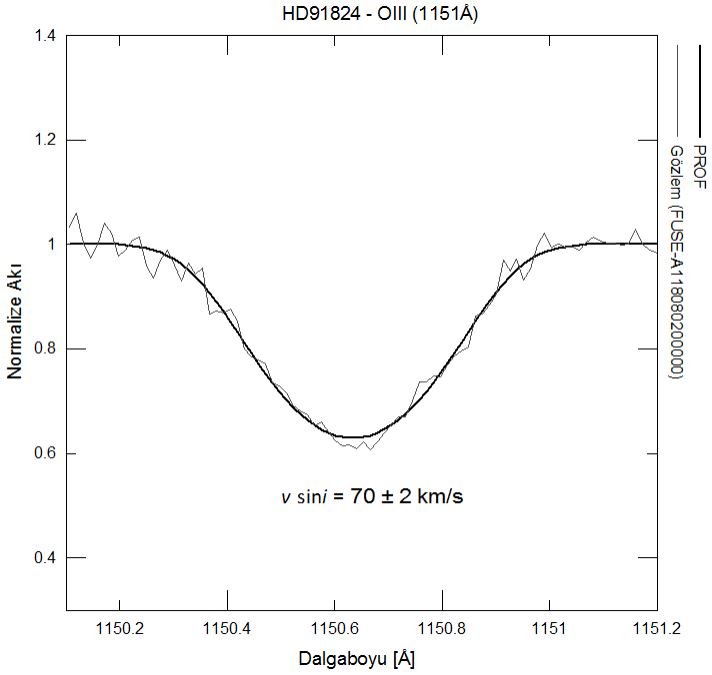
Şekil 24. HD 46149 yıldızı için O III çizgisi ve PROF ile elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.



Şekil 25. HD 46202 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.



Şekil 26. HD 91572 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.



Şekil 27. HD 91824 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi.

3.6. P-Cygni Profilleri ve Atmosfer Model Uygulamaları

Yıldız rüzgârının özelliklerini gözlemsel verilerden elde etmek kolay değildir. Rüzgârın temel parametreleri doğrudan gözlenemez. Araştırmalar, ışınım transferi hesaplamalarının temel oluşturduğu, rüzgârdaki hidrodinamik etkileri içeren yıldız atmosferi modellerinin gözlenmiş tayflarla karşılaştırma yapıldığı yaklaşımlar üzerinden gitmektedir. Diğer bir ifadeyle yıldız rüzgârlarının gözleminden bahsedildiğinde, bulunan rüzgâr parametrelerinin, kuramsal modellerle yapılan hesaplamalara dayandığı anlaşılmalıdır (Kudritzki ve Puls, 2000).

Uygulamanın özü, gözlenmiş tayfsal enerji dağılımı ile hesaplanmış yapay (sentetik) tayfın üst üste çakıştırılarak en iyi uyumu elde etmeye çalışmaktır. Gözlenmiş tayfa en iyi uyumu sağlayan yapay tayf bulunana kadar karşılaştırma yeni parametrelerle tekrarlanır. Sonuçta, birebir çakışmayı veren yapay tayf parametreleri, kuramsal modele ait istenilen parametrelerdir.

ζ Pup ve τ Sco yıldızlarının gözlemleri üzerine Lamers ve Morton (1976) tarafından çizgi ışınım iletimini analitik olarak çözmeye yarayan 'Sobolev yaklaşımı' (Sobolev, 1957) kullanılarak yapılmış ilk niceliksel çalışmadan sonra yıldız rüzgârlarının tayflarda oluşturduğu etkiyi temsil edecek kuramsal modeller zamanla geliştirildi. Lamers ve ark. (1987), öncekilere kıyasla hızlı çalışan ve daha duyarlı sonuçlar veren "SEI" adlı yeni bir yöntem ortaya attılar. SEI (Sobolev with exact integration) yöntemi, Sobolev yaklaşımının kaynak fonksiyonunu kullanmakta ve ışınım iletim denklemi için kesin sonuç vermektedir. Genişleyen atmosferlerde üretilen çizgi yapıları için çok duyarlı çözümler veren başka bir seçenek ise Mihalas ve ark. (1975)'nın geliştirdiği ve Hamann (1980) tarafından kapsamlı bir şekilde uygulanan "CMF (comoving-frame)" yöntemidir.

Gözlemsel verilerin duyarlılıklarının artmasıyla çizgi profillerinin daha kesin ve etkin hesaplanabilmesini sağlayacak modeller üretme ihtiyacı artmaktadır. Lamers ve ark. (1987)'na göre üretilecek yöntem her zaman aşağıda yer alan durumları karşılayabilmelidir:

a) Hızlandırılan rüzgâr yapılarındaki türbülans ya da başkaca karmaşık (kaotik) hareketleri dikkate almalı,
b) Geniş optik derinlikler için bile yeterince duyarlı sonuçlar vermeli,
c) İkili (doublet) çizgilerdeki ışınım iletimini hesaplamalı,
d) İletim denkleminde gizlenen fotosferik çizgilerin varlığını ele almalı,
e) Tüm bu çözümleri elverdiğince hızlı yapmalıdır.

Çizelge 14, sıcak yıldızlar için literatürde yer alan atmosfer modellerini ve bu yöntemlerin özelliklerinin özetini içermektedir. Çizelgede beş adet atmosfer örneklemesi yapan bilgisayar uygulaması yer almaktadır. Bu uygulamaların isimleri, çizelgenin ilk satırında verilmiştir. (EK 4'te uygulamaların dağıtımlarına ulaşılabilecek internet adreslerini bulunmaktadır). Çizelgedeki diğer satırlar, her bir modelin temel işleyişlerini karşılaştırmak amacıyla konulmuştur. Bu satırlar sırasıyla, ışınım denkleminin kaç boyutta çözüldüğünü (geometri); çizgilerde içiçe girme *(line blanketing)* etkisinin varlığını; ışınım iletiminin bakış doğrultusunu; atmosferin yada zarfın sıcaklık yapısını; yapay tayfın üretildiği enerji aralığını; uygulama alanları; yorumlar ve çalışma süresini göstermektedir (Puls, 2010).

Bu model uygulamaları arasından WM-Basic örnek çalışma yapılmak üzere seçilmiş ve çalışmanın sonucu bir sonraki bölümde sunulmuştur.

Çizelge 14. Sıcak yıldızlar için literatürde yer alan atmosfer modelleri ve modellerin uygulama aralığı

	TLUSTY[1]	**FASTWIND[2]**	**WM-Basic[3]**	**CMFGEN[4]**	**PoWR[5]**
Geometri	Düzlem-Paralel	Küresel	Küresel	Küresel	Küresel
Çizgilerde içiçe girme etkisi	Var	Yaklaştırma	Var	Var	Var
Işınım İletimi	Gözlemcinin çerçevesinden	CMF/ Sobolev	Sobolev	CMF	CMF
Sıcaklık Yapısı	Işınım eşitliği	e^- ısısal denge	e^- ısısal denge	Işınım eşitliği	Işınım eşitliği
Tanı aralığı	Sınırsız	Optik/ Kızılötesi	Morötesi	Sınırsız	Sınırsız
Başlıca Uygulama Alan(lar)ı	Rüzgârları ihmal edilen sıcak yıldızlar	OB yıldızları ve erken A tür süperdevler	Yoğun rüzgârlar gösteren sıcak yıldızlar, Süpernovalar	OB(A) yıldızları, Wolf-Rayet yıldızları, Süpernovalar	Wolf-Rayet yıldızları
Yorumlar	Rüzgâr etkisi ihmal edilmiş		Kümelenme etkisi ihmal edilmiş	Başlangıç modeli gerekli	
Çalışma Süresi	Saat(ler)	1 - 30 dakika arası	1 ya da 2 saat	Saat(ler)	Saat(ler)

[1]: Hubeny ve Lanz (1995), [2]: Puls ve ark. (2005), [3]: Pauldrachve ark. (1998), [4]: Hillier ve Miller (1998), [5]: Gräfener ve ark. (2002).

3.6.1. WM-Basic ve Uygulaması

WM-Basic, Pauldrach ve ark. (1998) tarafından sıcak yıldızlarda genişleyen atmosferleri örneklemek amacıyla geliştirilen bir bilgisayar yazılımıdır. Yazılım, girdi olarak, üç ayrı parametre grubu üzerinden toplamda 8 adet değişken kullanır. Parametre grubunun ilki atmosferdeki element bolluğunu tanımlar (He sayısı oranı: $N(\mathrm{He})/N(\mathrm{H})$ ve ağır element (metal) bolluğu: $Z/Z_{güneş}$). İkinci parametre grubu yıldızın mutlak parametrelerinden üçünden; etkin sıcaklık (T_e), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve yarıçaptan ($R/R_\odot$) oluşur. Çizgi şiddeti parametreleri (k, α, δ), WM-Basic'in son parametre grubunu oluşturur.

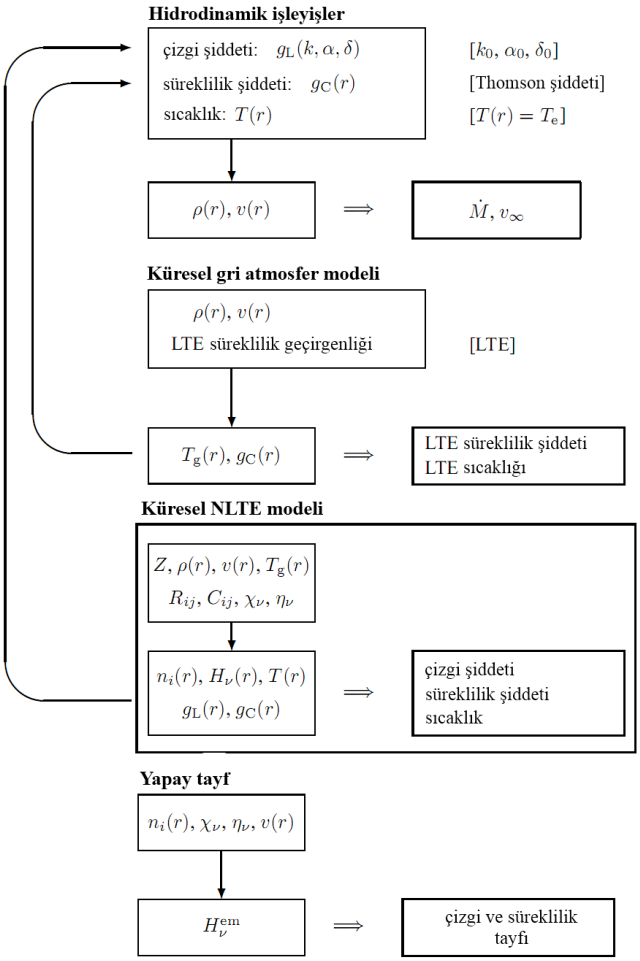
k, α ve δ yazılım üzerinde doğrudan değiştirilebilecek serbest değişkenler değildir. Bu parametreler; yıldızın etkin sıcaklığının, ışınım gücünün, kütle çekimin ve element bolluğunun fonksiyonu olarak değişir. Örneğin, Kudritzki ve ark. (1989) tarafından yerel olmayan termodinamik denge (NLTE) durumunda tüm çoklu geçişleri kapsayan ve rüzgâr oluşumunu etkilediği bilinen 133 iyonun çizgi şiddeti parametrelerinin bir derlemesi sunulmuştur. Bu parametrelerin rüzgâr momentumu-ışınım bağıntısıyla ilişkisi Bağıntı 3.12'de gösterilmektedir.

$$\dot{M} v_\infty R_*^{0,5} \propto k^{1/(\alpha-\delta)} L^{1/(\alpha-\delta)} \qquad 3.12$$

WM-Basic uygulamasının arkasında yatan kuramsal işleyiş zamanla geliştirilirken Kudritzki ve ark. (1998) tarafından çizgi şiddeti parametrelerinin yetersizliği öne sürülerek geliştirilen yeni kuramda parametre sayısı altıya çıkarıldı. Sadece etkin sıcaklığa bağlı hesaplanan çizgi şiddeti parametreleri sayesinde rüzgâr özellikleri ışınım gücü, kütle ve diğer mutlak parametrelerin fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir.

Yüksek çözünürlüklü gözlemsel verilerin enerji dağılımının uzak moröte, moröte ve görsel bölgesinde karşılayacak gerçekçi örneklerini üretebilmek, NLTE durumunun karmaşık yapısını ve genişlemiş atmosferin etkilerini içeren hidrodinamik çözümleri dikkate almak demektir. WM-Basic, ışınım basıncının etkisiyle rüzgârı üreten zarfı, Lucy ve Solomon (1970) ile Castor ve ark. (1975)'nın kuramında yer aldığı gibi homojen, durağan ve küresel simetrik kabul ederek hidrodinamik değişimleri ve ışınım geçiş denklemini NLTE için hesapmakta ve moröte bölge yapay tayfını üretmektedir. İlk adımda hidrodinamik etkiler, yıldız parametrelerinin –bunlar içinde etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve yıldız yarıçapı ile element bolluğu yer alır– ışınım basıncıyla ivmelendirilen

çizgileri tanımlamak için kullanılan önceden belirlenmiş çizgi şiddeti parametreleri ile birlikte çözümlenmesiyle bulunur. Bununla birlikte süreklilik şiddeti, Thomson şiddeti ve sabit sıcaklık ($T_{(r)} = T_e$) yaklaşımı yapılarak hesaplanmaktadır. İkinci adımda küresel gri atmosfer modeli kullanılarak hesaplanan tüm önemli iyonların donukluğunu içeren bütün süreklilik şiddeti $g_c(r)$ ve sıcaklık yapısı ile yoğunluk $\rho(r)$ ve hız yapısı $v(r)$, hidrodinamik çözüm içine eklenir. Son olarak tüm bu yapılar, küresel NLTE modelinden elde edilen çizgi şiddeti $g_L(r)$ ile birlikte yeniden hesaplanır. Şekil 28, belirli bir dalgaboyu aralığında bir yıldız atmosferi örneklemesinin WM-Basic'de nasıl üretildiğini adım adım göstermektedir.



Şekil 28. WM-Basic'de atmosfer örneklemesinin aşama aşama işleyişi (Pauldrach ve ark., 2001).

Yazılımın asıl kısmı, NLTE modelinin çözümünü kapsamaktadır. Işınım geçişi (Eddington akısı $[H_v(r)]$ ve ortalama şiddeti $[J_v(r)]$ ile sunulan), sıcaklık yapısı $[T_g(r)]$, etkileşen atom sayısı $[n_i(r)]$, geçirgenlik $[\chi_v]$ ve salınan foton sayısı $[n_v]$,

tüm önemli iyonlar için ayrıntılı atomik modeller yardımıyla hesaplanır. Işınım geçiş denkleminin tayf çizgileri üzerine etkisinin çözülmesi, tüm önemli iyonların serbest-serbest ve bağlı-serbest geçişlerinin ve Thomson-saçılmasının dikkate alındığı kaynak fonksiyonu ve süreklilik geçirgenliğinin bulunmasına bağlıdır. Şok yapılarının ısıttığı maddenin etkileri de kaynak fonksiyonuna dahil edilmektedir. Etkileşen atomların sayısı, çarpışma (C_{ij}) ve geçiş oranını (R_{ij}) içeren oran denklemlerinden elde edilir. Çizgilerde içiçe girme etkisi modelde yer alır ve NLTE sıcaklık yapısının çözümünde kullanılır.

Yapay tayf, ışınım geçiş denklemini gözlemcinin bakış çerçevesinden integral alarak hesaplanır. Her çizgi için Doppler kayması dikkate alınmaktadır. Hesaplamaların sonucunda yapay tayf ve iyonizasyon akısının dışında, aynı zamanda rüzgârın hidrodinamik yapısının parametrelerine de (kütle kaybı oranı $\dot{M}$ ve hız yapısına $v(r)$) ulaşılır.

WM-Basic, diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında yoğunluk ve hız katmanlarını özellikle sesötesi *(transonic)* bölgeleri çok daha başarılı örneklemesi, basit arayüzü (kullanım kolaylığı) ve çalışma süresinin kısalığı nedeniyle tercih edilmektedir.

Uygulama olarak Çizelge 6 içinden seçilmiş 13 yıldızın WM-Basic ile yapay tayfları üretilmiş, 4 tanesinin grafikleri burada sunulmuştur. Bu uygulamalarda herbir yıldız için 900-1900 Å arasında oluştrulan yapay tayflar, IUE-SWP ile gözlenen tayf ile birlikte, bir çok çizgide görülen uyumsuzlukları nedeniyle sadece C IV ve N IV çizgileri için dar aralıkta alınarak çizdirildi. İlk uygulama, üzerinde sıkça çalışılan ζ Puppis yıldızı için yapıldı. Bu yıldız, Pauldrach ve ark. (1994) tarafından WM-Basic'de deneme yıldızı olarak seçilmiş ve uygulamalarının sonuçları ile girdi parametreleri yayınlanmıştır (bkz. Çizelge 16). WM-Basic'in hemen hemen başarılı bir şekilde temsil ettiği bu yıldızın modeli, diğer yıldızları değerlendirmede örnek almamızı sağlaması amacıyla Pauldrach ve ark. (1994) tarafından yayınlanan girdi parametreleri kullanılarak üretildi ve geniş tayf aralığında (1200-1900 Å) Şekil 29'daki; seçilen çizgiler için 100 Å genişlik ölçeğinde Şekil 30'daki grafikler çizdirildi. Diğer yıldızların seçiminde tayflarında P-Cygni profilinin çok daha baskın olarak karşımıza çıktığı yıldızlar gözetildi. O-tür yıldızları içinden seçilen HD 46223, HD 14947, HD 15558, HD 15629, HD 69464, HD 190864, HD 42088, HD 151804, HD 36861, HD 46966 ve HD 210809 yıldızlarının yapay tayfları üretildi. Bulunan kütle kaybı oranları, terminal hızları ve $v_{\infty}/v_{kaçış}$ çizelgelere aktarıldı. Yaklaşık aynı sıcaklığa sahip üç farklı ışıtma sınıfına (I, III ve V) ait HD 14947, HD 15558 ve HD 15629 isimli O5 yıldızının yapay tayfı, gözlemsel tayflarıyla birlikte çizdirildi (bkz. Şekil 31, Şekil 32,

Şekil 33). Gözlenen ile yapay tayfın karşılaştırıldığı şekiller, incelenen tayf çizgilerini gösteren alt alta sıralanan iki panelden oluşmaktadır. Panelin en üstünde yıldız ismi; sol üst köşesinde yıldızın tayf türü; sağ üst köşesinde ise grafik göstergesi yer almaktadır. Her paneldeki grafik, 1'e normalize edilmiş gözlenen tayfın üzerine çizdirilmiş iki adet yapay tayfı içermektedir. Yapay tayfları üretmek amacıyla WM-Basic'in kılavuz *(grid)* listesinde sunulan iki farklı model seçildi. Her bir örneklemede kılavuz modellerin Çizelge 15'te verilen varsayılan parametreleri içinden k, α, δ değerleri değiştirilmedi; çizelgedeki mutlak parametreler (T_e, $\log g$, R_*) yerine ilgili yıldızın değerleri alındı. Yıldızların tümünde $N(\mathrm{He})/N(\mathrm{H})$ = 0,10 ve $Z/Z_{g\ddot{u}ne\text{ş}}$= 1,00 olarak alındı. Her yıldız için kullanılan değerler ile mevcut parametreler üzerinden WM-Basic'in Kudritzki ve ark. (1989)'nda izlenen yönteme göre hesapladığı mutlak parametreler ve rüzgâr parametreleri, ζ Pup, HD 14947, HD 15558 ve HD 15629 yıldızları için sırasıyla Çizelge 16, Çizelge 17, Çizelge 18 ve Çizelge 19'un sağ panelinde verilmiştir.

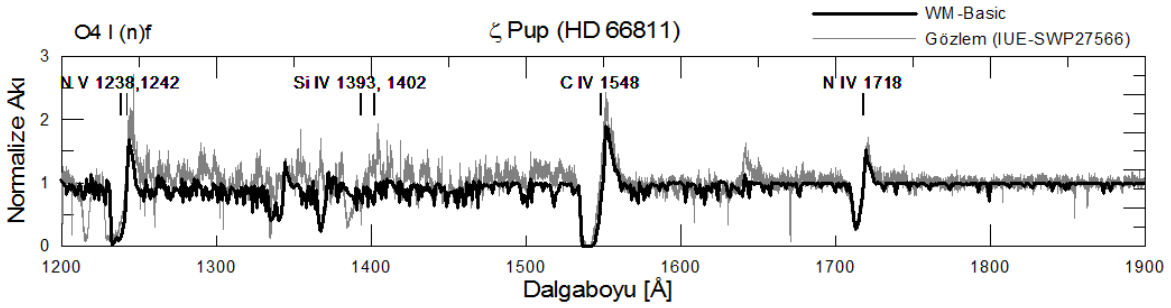
Çizelge 15. WM-Basic uygulamaları için seçilen kılavuz modellerinin varsayılan parametreleri

	Model 1	**Model 2**
T_e	40000 K	40000 K
$\log g$	4,00	3,60
R_*	10,0 $R_\odot$	19,0 $R_\odot$
k	0,188	0,140
α	0,599	0,670
δ	0,100	0,095

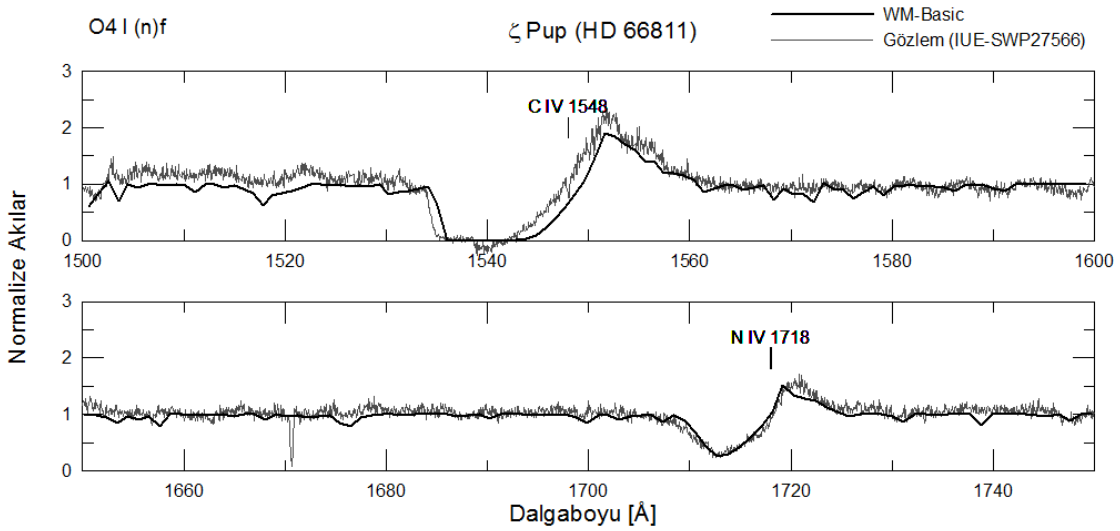
Çizelge 16. ζ Pup için WM-Basic girdi (sol panel) ve çıktı değerleri (sağ panel)

T_e	42000K
log g	3,50
R_*	19 $R_\odot$
k	0,085
α	0,657
δ	0,095

$M/M_\odot$	56,20
log($L/L_\odot$)	6,01
v_∞	2162,6 km/s
$v_\infty/v_{kaçış}$	2,8
$\dot{M}$	4,9 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl



Şekil 29. WM-Basic'in ζ Pup için 1200-1900 Å aralığında ürettiği yapay tayf, gözlenen tayfla birlikte yer alıyor.



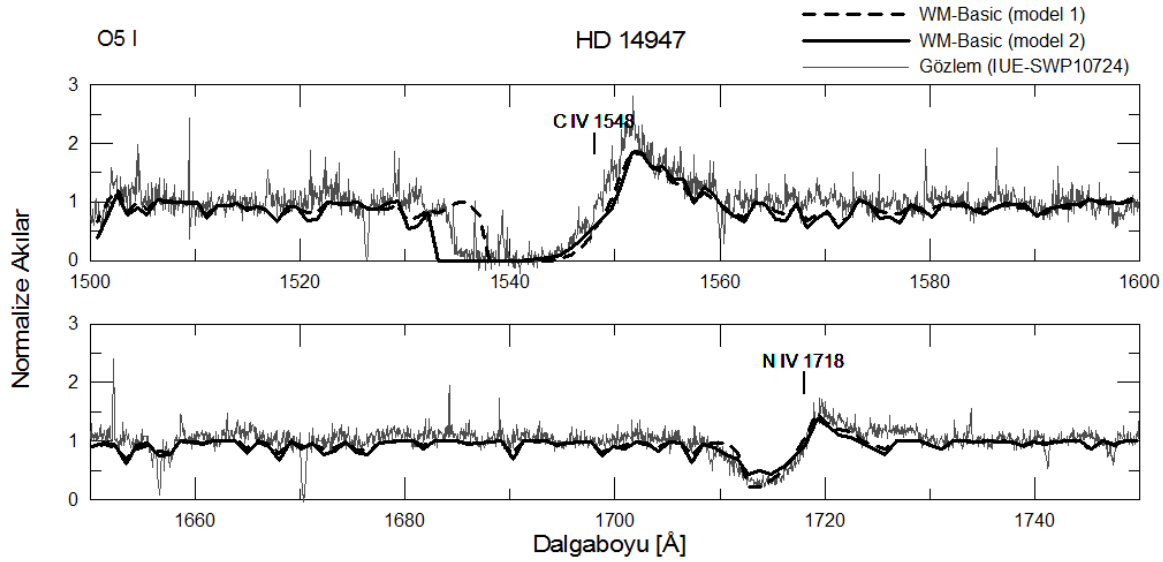
Şekil 30. ζ Pup'in WM-Basic modeliyle gözlemin ayrıntılı karşılaştırılması.

ζ Pup'ın literatürdeki en uygun parametrelerle üretilen yapay tayfı ve IUE gözlenen tayfıyla birlikte çizimi, Şekil 30'da yer almaktadır. Nispeten N IV çizgisi, yapay tayfla temsil edilmiş olmasına rağmen C IV çizgisinin gözlemsel veriyle birebir uyuşmadığı görülmektedir. Fakat bu fark, modeldeki belirsizlikleri dikkate aldığımızda kabul edilebilir boyuttadır. Kuramsal çalışmalar, gözlenen veriye uyan en başarılı atmosfer modelini üretme çabasıyla devam etmektedir.

Çizelge 17. HD14947 (O5 I) için WM-Basic girdi ve modellere göre çıktı parametreleri

T_e	36261 K	$M/M_\odot$	50,91
log g	3,56	log($L/L_\odot$)	5,89
R_*	19,6 $R_\odot$		

	Model 1	**Model 2**
v_∞	1860,4 km/s	2303,7 km/s
$v_\infty/v_{kaçış}$	2,4	2,9
$\dot{M}$	6,8 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl	7,6 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl



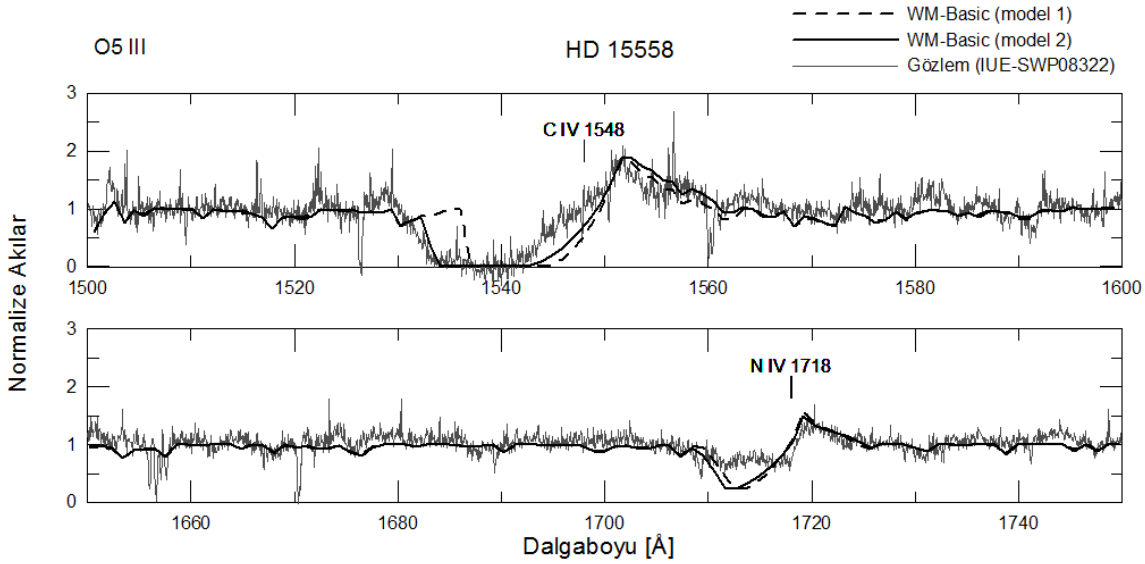
Şekil 31. HD14947'nin WM-Basic modeliyle gözlemin karşılaştırılması.

HD 14947 yıldızı için üretilen yapay tayflardan Şekil 31'de düz çizgiyle çizdirilmiş 2 numaralı model, kesikli çizgilerle çizdirilmiş 1 numaralıya kıyasla gözleneni daha iyi temsil etmektedir. 1.modelin N IV çizgisindeki profil gözlenen tayfla gayet uyumlu görünürken, C IV çizgisinde görülen profilin soğurma kanadı, gözleme göre daha az doymuş olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 18. HD15558 (O5 III) için WM-Basic girdi ve modellere göre çıktı parametreleri

T_e	40307 K	$M/M_\odot$	40,22
log g	3,69	log($L/L_\odot$)	5,73
R_*	15,0 $R_\odot$		

	Model 1	**Model 2**
v_∞	1942,4 km/s	2419,5 km/s
$v_\infty/v_{kaçış}$	2,4	3,0
$\dot{M}$	4,4 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl	5,0 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl



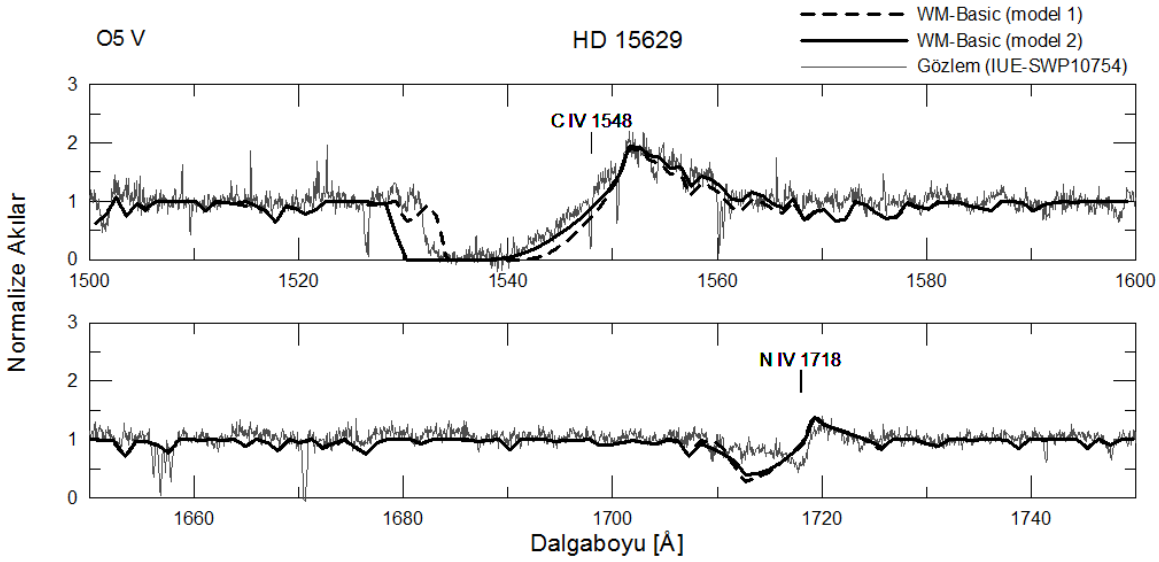
Şekil 32. HD15558'in WM-Basic modeliyle gözlemin karşılaştırılması.

HD 15558'e uygulanan WM-Basic modellerinden 2 numaralı model, gözlemi başarıyla sağlamaktadır. HD 14947'de C IV çizgisinin profilinde karşılaşılan durum, HD 15558'de de belirlenmektedir. 1. modelde görülen P-Cygni profili, 2. modele göre daha az doymuş ve buna bağlı olarak soğurma çizgisinin doyma noktası uzun dalgaboyunda kalmıştır. Her iki modelinde uyum sağlayamadığı N IV gözlemsel profilinde karşılaşılan asimetrik durum dışında 2. modelin tayfı, C IV profiline ve çevre çizgilere başarılı bir şekilde uymaktadır.

Çizelge 19. HD15629 (O5 V) için WM-Basic girdi ve modellere göre çıktı parametreleri

T_e	40863 K	$M/M_\odot$	38,08
log g	3,92	log($L/L_\odot$)	5,49
R_*	11,2 $R_\odot$		

	Model 1	**Model 2**
v_∞	2401,5 km/s	3179,0 km/s
$v_\infty/v_{kaçış}$	2,4	3,2
$\dot{M}$	1,4 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl	1,8 x 10^{-6} $M_\odot$/yıl



Şekil 33. HD15629'ın WM-Basic modeliyle gözlemin karşılaştırılması.

HD 14947 ve HD 15558 yıldızlarını daha iyi temsil edilen 1. model, HD 15629'u temsil etmemektedir. C IV profili kısmen 1. modelle daha iyi temsil edilirken N IV çizgisi bir önceki uygulamadaki gibi modeller, gözlemlerle uyumlu değildir.

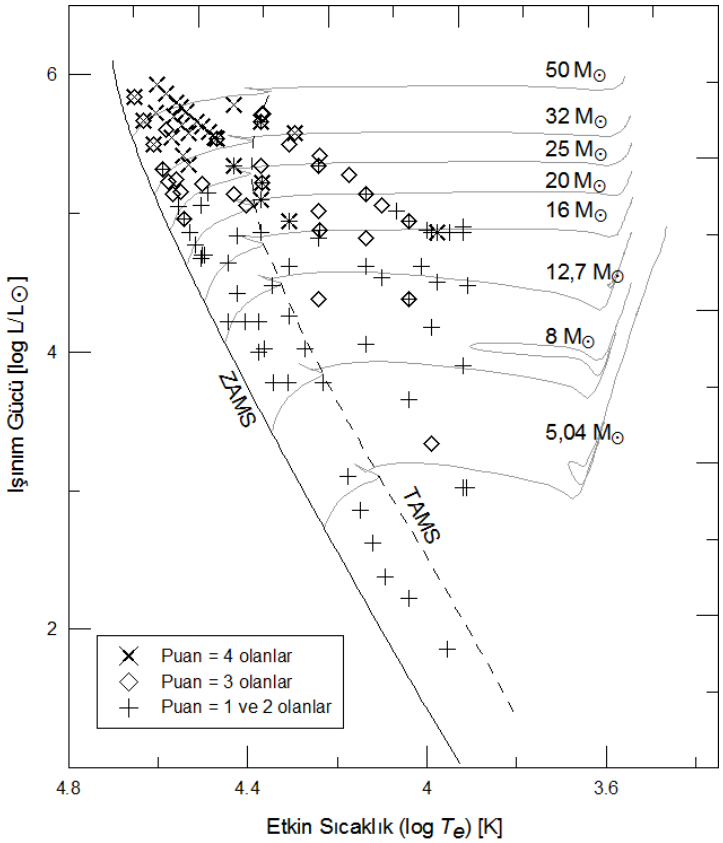
BÖLÜM 4
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışmada 209 adet sıcak yıldızın mutlak parametrelerini ve dönme hızlarını içeren bir liste oluşturulmuştur (bkz. Çizelge 6). Bu listede yer alan 67 adet O yıldızın 10'u erken, 57'si geç tayf türünden; 117 adet B yıldızının 89'u erken, 28'i geç tayf türünden oluşmaktadır. Liste, ayrıca 25 adet A tayf türünden yıldız içermektedir. Bu yıldızlarının 91'i süperdev, 49'u dev ve 51'i anakol yıldızıdır (bkz. Çizelge 5). Listenin oluşturulması ve yıldızların mutlak parametreleri ile $v\ sini$ değerlerinin bulunmasında izlenen yöntemler, Bölüm 2.2'de yer almaktadır. Liste yıldızlarının parametreleri ile P-Cygni profillerinin ilişkisini anlayabilmek amacıyla yıldızların tayfları gözle incelenerek oluşturulan puan cetveli yardımıyla değerlendirildi. Bu değerlendirme üzerinden beş adet çizginin toplam puanına göre çizdirilen grafiklerin bir kısmı Bölüm 3.5'de sunulmuştur. Bu grafikleri (bkz. Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18) daha iyi yorumlayabilmek için baskın profillerin ve baskın olmayan profillerin yayıldıkları toplam puan aralıkları dikkate alınarak mutlak parametrelerin ortalamaları, standart sapma değerleriyle birlikte hesaplandı (bkz. Çizelge 20). Çizelgede "P", toplam puanın kısaltması olarak yer alır ve ortalamaların hesaplandığı aralıkları gösterir. "N", bir aralığa düşen parametre sayısıdır. Her bir yıldız için verilmesinin nedeni, bazı parametrelerin listede bulunmamasıdır. Bu değerlere literatürden ulaşılamadığı ve kalibrasyonlarla üretilemediği için listede boş bırakılmıştır ve ortalamayı etkilememesi için hesaba alınmamıştır. Ortalamalar; P-Cygni profilini görme ihtimalinin çok düşük olduğu $P < 5$ durumunu, ardından olası profil yapılarını içerebilecek $6 \leq P \leq 10$ aralığını ve en az bir çizgisinde P-Cygni profiliyle karşılaşılan $P > 10$ durumunu kapsar. Çizelge 20'ye göre 209 yıldızın 53'ünün en az bir tayf çizgisinde baskın P-Cygni profiliyle karşılaşılmıştır.

Çizelge 20. Puanlamaya göre yıldızların mutlak parametrelerinin ortalama dağılımı

Aralık	$\mathbf{N_M}$	$\langle \log M \rangle$	$\mathbf{N_R}$	$\langle \log R \rangle$	$\mathbf{N_L}$	$\langle \log L \rangle$	$\mathbf{N_T}$	$\langle \log T \rangle$	$\mathbf{N_{logg}}$	$\langle \log g \rangle$
$P < 5$	54	0,9 ± 0,3	51	0,9 ± 0,4	51	3,0 ± 0,8	54	4,2 ± 0,2	49	3,6 ± 0,7
$6 \leq P \leq 10$	102	1,4 ± 0,3	102	1,2 ± 0,4	102	4,8 ± 0,7	102	4,3 ± 0,2	102	3,2 ± 0,7
$P > 10$	53	1,6 ± 0,2	53	1,4 ± 0,2	53	5,5 ± 0,3	53	4,5 ± 0,1	49	3,2 ± 0,4

Liste yıldızlarının puanlama da dikkate alınarak HR diyagramı üzerine yerleştirilmesi sonucunda P Cygni profili gösteren yıldızların HR diyagramı üzerinde sol üst köşeye yerleştikleri belirlendi. Bu yıldızların HR diyagramı üzerindeki dağılımlarına bakıldığında ışınım gücünün $\log L/L_{\odot} \gtrsim 5$, etkin sıcaklığının $logT_e \gtrsim 4$ K olduğunu görülmektedir (bkz. Şekil 34).



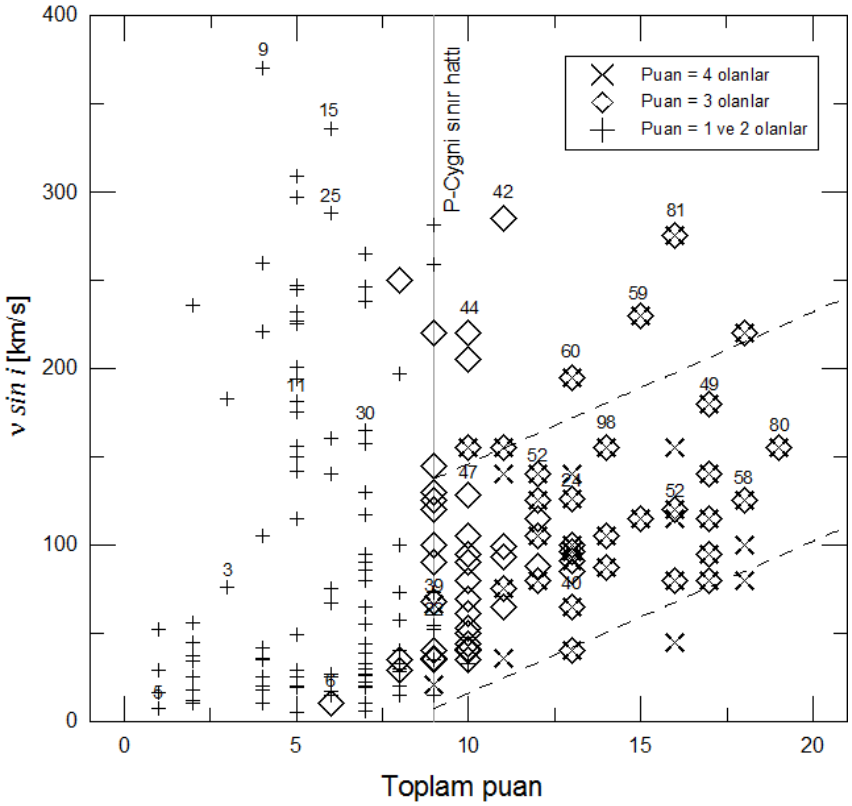
Şekil 34. İncelenen OBA yıldızlarının HR diyagramındaki dağılımları. ZAMS, TAMS ve farklı kütleler için evrim yolları Pols ve ark. (1998)'den alınmıştır.

Doymuş P-Cygni profili gösteren dolayısıyla yoğun zarf yapılarına sahip yıldızların çoğunun ZAMS ile TAMS (Sınır yaş anakolu) arasında kaldıkları seçilebiliyor. HR diyagramı üzerinde baskınlıklara göre yapılacak bir değerlendirme, özellikle doymuş P-Cygni profili gösteren yıldızların diyagramın en sol üst köşesinde anakol ve süperdev yıldızların içiçe girdiği bölgede yoğunlaştığını ve bu ayrımın giderek azaldığını söylüyor. Yıldızların evrim yollarına, ZAMS'a ve yarıçaplara bakıldığında (bkz. Şekil 15), profilleri genç, ortalama 49 $M_{\odot}$ kütlesinde ve ortalama 25 $R_{\odot}$ yarıçapını aşmayan büyüklükteki yıldızlarda görmekteyiz.

Çizgi puanlamasında 3 veya 4 puanların verildiği, dolayısıyla P-Cygni profillerinin baskın olarak görüldüğü çizgiler, özellikle C IV (1548, 1550 Å) ve Si IV (1393, 1402 Å) ikili çizgileri olarak belirlendi. Çizelge 12'ye göre baskın P-Cygni profili gösteren yıldızlarda Hα çizgilerinin yapıları, çoğunlukla salma, merkezi dalgaboyunda salma veya soğurma (iç salma veya iç soğurma) ve asimetrik soğurma olarak karşımıza çıkmaktadır. Hα çizgisinde HD210839 (O6I(n)f) ve HD188209 (O9.5Iab) yıldızlarında P-Cygni profili, HD30614 (O9.5Ia) ve HD47240 (B1Ib) yıldızlarında P-Cygni benzeri yada iç soğurma görülen salma yapıları dikkat çekmektedir.

P Cygni profillerinin yıldızlarda tayf türü geriledikçe baskınlığını yitirdiğini söyleyebiliriz. Yıldızların toplam ışınım gücü arttıkça profiller, çok daha baskın olmaya başlıyor. Diğer bir ifadeyle yıldızların kütleleri, ışınım güçleri ve etkin sıcaklıkları azaldıkça rüzgâr belirteçleri de azalmaktadır. Buna bağlı olarak geç B tayf türü ve A tayf türü yıldızlarda rüzgârın kanıtlarını bulmak zorlaşmaktadır.

Sonuç olarak yapılan inceleme, ışınım basıncının sürdüğü rüzgârlar kuramını istatistiksel olarak doğrulamaktadır.



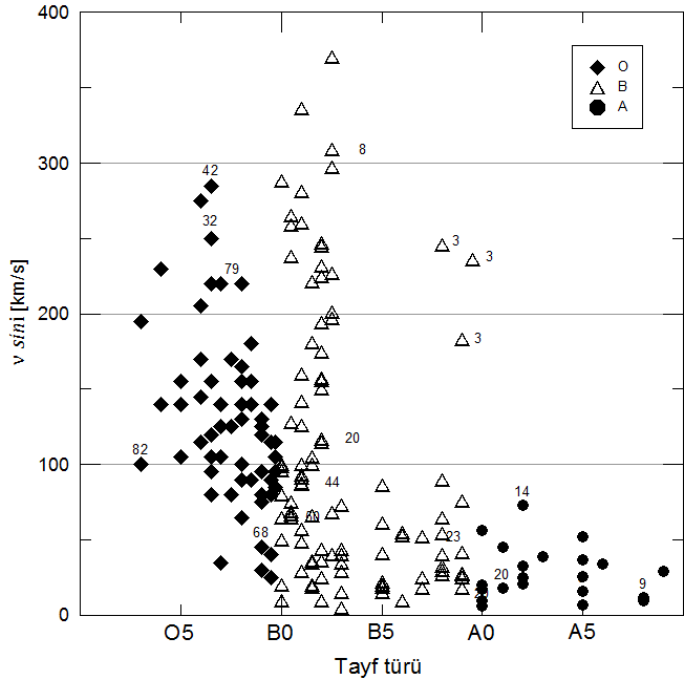
Şekil 35. Liste yıldızlarının dönme hızı - toplam puan grafiği. Simgelerin üstünde bazı yıldızların kütlesi $M_{\odot}$ biriminde yer almaktadır.

Çizelge 21. Puanlamaya göre *vsini* değerlerinin ortalama dağılımı

Aralık	**N_{vsini}**	**$\langle vsini \rangle$ (km/s)**
$P < 5$	49	107 ± 101
$6 \leq P \leq 10$	90	91 ± 78
$P > 10$	46	98 ± 36

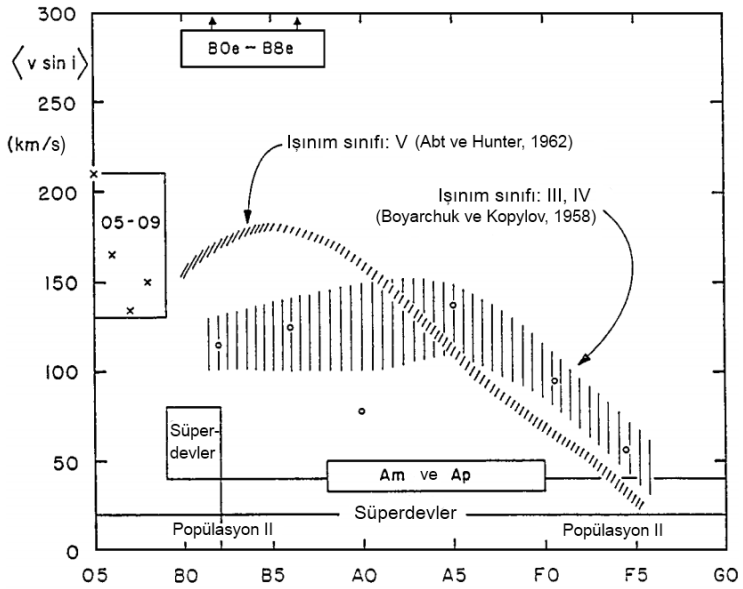
Dönme hızının toplam puana göre dağılımını veren şekilde (bkz. Şekil 35) yüksek puanlı yıldızların bir çoğunun dönme hızlarının 20 ile 150 km/s arasında dağıldığı dikkati çekiyor. Şekil 35'te noktalı çizgilerle gösterilen doğrular, "P-Cygni sınır hattı"nın ötesine, özellikle 10 ve üstü puanlara gidildikçe hızlarının yaklaşık doğrusal bir eğimle arttığını gösteriyor. Puanı 10'dan büyük olan 51 yıldızın 5'i 150 ile 300 km/s arasında dönmektedirler (bkz. Şekil 35). Hızlı dönen bu yıldızların - HD 303308 (O4V((f+)), HD 66811 veya bilinen ismiyle ζ Pup (O4I(n)f), HD210839 (O6I(n)f), HD101436 (O6.5V) ve HD175754 (O8II((f))) – ortak özellikleri salma gösteren yıldızlar olmasıdır. Bu yıldızların Hα çizgi yapılarına ELODIE verisine sadece HD210839 yıldızında ulaşılabildiği için bakılabilmiş ve P-Cygni profili benzeri yapıyla karşılaşılmıştır.

Grafikte her bir simgenin üzerine yıldızın kütlesi yazılmıştır. Bu grafikte kütle dağılımının düzensizliği yıldızların evrimsel durumlarıyla dönme hızlarına bağlı rüzgâr ilişkisi hakkında yorum yapmayı zorlaştırmaktadır.



Şekil 36. Liste yıldızlarının hız dağılımı. Simgelerin üzerine veya yanlarına bazı yıldızların kütlesi $M_{\odot}$ biriminde yazılmıştır.

Liste yıldızlarının hız dağılımını içeren grafiğe göre erken tür yıldızların birçoğu hızlı dönmektedirler. Sadece birkaç erken B yıldızının 300 km/s'nin üzerine çıktıkları görülebiliyor. B0-B3 yıldızlarının 10-300 km/s gibi geniş bir aralıkta dağıldıkları görülüyor. B3'ten geç tür yıldızların üç tanesinin dışında tümünün dönme hızlarının 100 km/s'den az olduğu seçiliyor. Bu durum, erken tayf türüne gidildikçe yıldızlarda dönme hızında görülen artışı doğrular niteliktedir (bkz. Şekil 37). B türü yıldızlarda yüksek puanlı yıldızların süperdev yıldızlar olduğu görüldü. Şekil 37'ye göre erken B türü süperdev yıldızların dönme hızı, 50–100 km/s arasında değişmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki B tür yıldızlarda rüzgârın belirteçleri, baskın olarak süperdev yıldızlarda karşımıza çıkmaktadır. Grafikte bazı yıldızlar için kütle değeri yazılmıştır. Dönme hızı – Toplam puan grafiğinde olduğu gibi yıldızın dönme hızına bağlı olarak yıldızın kütlesinin gelişigüzel bir dağılım gösterdiği seçilebiliyor.



Şekil 37. Farklı tür yıldızlar için ortalama korunumlu ekvatoryal dönme hızı dağılımı (Slettebak, 1970)

Dönme hızı ve P-Cygni profil baskınlığına ilişkin dağılım grafikleri üzerinden yapılan değerlendirmeler, dönme hızının rüzgâr yapısıyla doğrudan ilişkisi hakkında yorum yapmanın mevcut sonuçlar altında mümkün olmadığını gösteriyor. Duyarlı sonuçlara daha niceliksel boyutlarda birden fazla parametrenin birlikte, örneğin kütle kaybı oranının, terminal hızlarının, kolon yoğunluğunun belirlendiği bir dizi yıldızın incelenmesiyle ulaşılabilir. Fakat başta kütle kaybı oranının ve diğer parametrelerin duyarlı belirlenememesi, yıldız rüzgârının hem yıldızların mutlak parametreleriyle hem de dönme hızıyla ilişkisini ortaya çıkarmayı zorlaştırmaktadır.

Liste yıldızları içinden seçilen örnek profiller üzerinden dönme hızı bulundu (bkz. Çizelge 13 ve Çizelge 22). HD 14947 için He I çizgisine uydurulan en iyi kuramsal eğrinin verdiği $v\ sini = 116$ km/s iken literatür 155 km/s olarak vermiştir. Aynı şekilde HD 46149 yıldızı için hesaplanan değer 68 km/s iken literatürde 90 km/s olarak yer alır. Bu farklar, mikro-makro türbülans etkilerinin sonuçları olabilir. HD 91824 yıldızının 70 km/s olarak hesaplanan dönme hızı literatürdeki değere kıyasla büyüktür. Yıldızın O7 tayf türünden bir yıldız olduğu göz önüne alındığında 70 km/s değeri bile küçük kalmaktadır. Bu çalışmanın liste yıldızları içinde de karşılaşılabilecek bunun gibi, beklenenden daha düşük dönme hızına sahip, yıldızların dönme hızları literatürde yeniden gözden geçirilmelidir. PROF ile hesaplanan değerler ile literatür değerleri aşağıdaki çizelgede yan yana verilmiştir. HD 91572 yıldızının dönme hızı değeri ilk defa bu çalışmada sunulmuştur.

Çizelge 22. Hesaplanan ile literatürde yer alan $v\ sini$ değerlerinin karşılaştırması

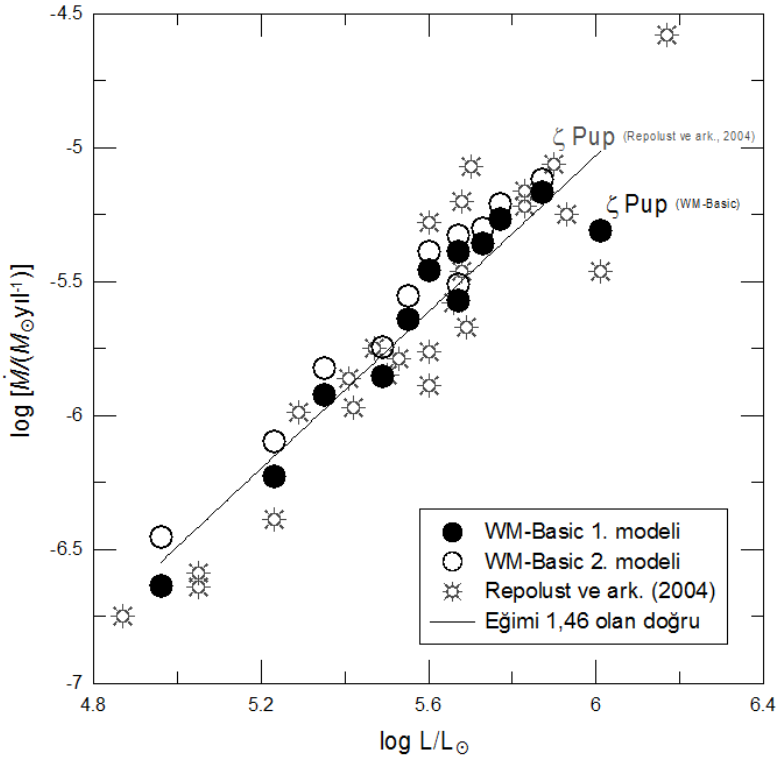
Yıldız	**Hesaplanan $v\ sini \pm \sigma$ (km/s)**	**Literatürde yer alan $v\ sini$ (km/s)**
HD 14947	116 ± 16	155
HD 192639	116 ± 5	125
HD 108	104 ± 2	115
HD 46149	68 ± 2	90
HD 46202	87 ± 4	75
HD 91572	78 ± 2	-
HD 91824	70 ± 2	35

P-Cygni profilerini atmosfer örneklemeleriyle üretmek amacıyla WM-Basic ile uygulamalar yapıldı ve aşağıdaki çizelgede verilen sonuçlara ulaşıldı.

Çizelge 23. WM-Basic uygulamasıyla elde edilen rüzgâr parametreleri

Yıldız	**$\log(L/L_\odot)$**	**$\dot{M}$ ($M_\odot$/yıl)**		**v_∞ (km/s)**	
ζ Pup	6,01	4,9 x 10^{-6}		2162,6	
		Model 1	**Model 2**	**Model 1**	**Model 2**
HD14947	5,89	6,8 x 10^{-6}	7,6 x 10^{-6}	1860,4	2303,7
HD15558	5,73	4,4 x 10^{-6}	5,0 x 10^{-6}	1942,4	2419,5
HD15629	5,49	1,4 x 10^{-6}	1,8 x 10^{-6}	2401,5	3179,0
HD 46223	5,67	2,7 x 10^{-6}	3,1 x 10^{-6}	2446,9	3244,4
HD 69464	5,77	5,4 x 10^{-6}	6,2 x 10^{-6}	1649,7	2017,5
HD 190864	5,55	2,3 x 10^{-6}	2,8 x 10^{-6}	1849,4	2297,2
HD 42088	5,23	5,9 x 10^{-7}	8,0 x 10^{-7}	2296,7	3044,0
HD 151804	5,67	4,1 x 10^{-6}	4,7 x 10^{-6}	1465,9	1738,7
HD 36861	5,35	1,2 x 10^{-6}	1,5 x 10^{-6}	1755,0	2174,1
HD 46966	4,96	2,3 x 10^{-7}	3,5 x 10^{-7}	2191,5	2895,6
HD 210809	5,60	3,5 x 10^{-6}	4,0 x 10^{-6}	1334,1	1616,3

Modellerin sonuçları, farklı yıldızlar olmasına rağmen kütle kaybı oranlarının bir çoğunda 10^{-6} mertebesinde kaldığını göstermektedir (bkz. Çizelge 23). Modeller, kendi aralarında karşılaştırıldığında 2. modelin belirlediği kütle kaybı oranları ve terminal hızlar, 1. modelinkine göre daha büyük çıkmaktadır. Kütle kaybı oranları, WM-Basic tarafından girdi parametrelerine göre hesaplanan ışınım gücü değerleriyle birlikte grafiğe aktarıldı (bkz. Şekil 38).



Şekil 38. WM-Basic model değerlerinin kütle kaybı oranı – ışınım gücü ilişkisi, Repolust ve ark. (2004)'den alınan FASTWIND çözümleriyle birlikte (☼) çizdirilmiştir.

WM-Basic modelleri için noktalardan geçen en iyi doğru oluşturulduğunda $y = ax + b$ şeklinde verilen bir doğru denklemi için $a = 1{,}46 \pm 0{,}14$ ve $b = -13{,}79 \pm 0{,}76$ değerleri hesaplandı. Doğru denklemini aşağıdaki gibi ifade edersek,

$$log\dot{M}/M = 1{,}46 \times \log L/L_{\odot} - 13{,}79 \qquad 4.1$$

bağıntısına ulaşırız. Sonucun rüzgâr momentum-ışınım bağıntısına ($\dot{M} \propto L^{1,5}$) uyduğu görülmüştür. Repolust ve ark. (2004)'nın çözümlerinin de benzer dağılıma sahip olduğunu görülebilmektedir. Fakat ζ Pup'da olduğu gibi birebir karşılamamaktadır. Modeller arasında farklılıklar ve yetersizliklerin olduğu ortaya çıkmaktadır.

Rüzgârın tayfsal karakteristiğini daha iyi anlayabilmemiz için kuramsal modellerin geliştirilmesi gerekmektedir. Mevcut modeller, rüzgârda meydana gelen kümelenmenin tayfta yarattığı etkileri açıklığa kavuşturamamıştır.

Yarım yüzyıldan beri süregelen çalışmalara karşın farklı tür yıldız rüzgârlarından sorumlu temel fiziksel işleyişler hâlâ tam olarak bilinememektedir.

KAYNAKLAR

Abbott D., 1982. The theory of radiatively driven stellar winds. II - The line acceleration. *Astrophysical Journal,* 259: 282-301.

Abt Helmut A. ve Hunter James H. Jr., 1962. Stellar Rotation in Galactic Clusters. *Astrophysical Journal,* 136: 381.

Abt H. A., Levato H. ve Grosso, M., 2002. Rotational Velocities of B Stars. *The Astrophysical Journal,* 573: 359-365.

Adams W. S. ve MacCormack E., 1935. Systematic Displacements of Lines in the Spectra of Certain Bright Stars. *Astrophysical Journal,* 81: 119.

Alazraki G. ve Couturier P., 1971. Solar Wind Accejeration Caused by the Gradient of Alfven Wave Pressure. *Astronomy and Astrophysics,* 13: 380.

CSIRO Australia. (21 Aralık 2004). Retrieved June 03, 2010, from http://outreach.atnf.csiro.au/education/senior/astrophysics/spectral_class.html

Beals C. S., 1929. On the nature of Wolf-Rayet emission. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 90: 202-212.

Beals C. S., 1949. The spectra of the P Cygni stars. *Astronomical Journal,* 54: 182.

Belcher J., 1971. Alfvénic Wave Pressures and the Solar Wind. *Astrophysical Journal,* 168: 509.

Bernacca P. L. ve Perinotto M., 1970. *A catalogue of stellar rotational velocities.* Asiago: Contr. Oss. Astrof. Padova in Asiago.

Boiarchuk A. A. ve Kopylov I. M., 1958. On the Distribution of Stellar Rotational Velocities. *Soviet Astronomy,* 2: 752.

Castor J. I., Abbott D. ve Klein R., 1975. Radiation-driven winds in Of stars. *Astrophysical Journal,* 195: 157-174.

Chandrasekhar S., 1934. On the hypothesis of the radial ejection of high-speed atoms for the Wolf-Rayet stars and the novaelig. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 94: 522-538.

Dufton P. L., Ryans R. S. I., Simón-Díaz S., Trundle C. ve Lennon D. J., 2006. B-type supergiants in the Small Magellanic Cloud: rotational velocities and implications for evolutionary models. *Astronomy and Astrophysics,*451: 603-611.

Ebbets D. C., Walborn N. R. ve Parker J. W., 1997. Ultraviolet Spectral Morphology of the Stellar Core of eta Carinae. *Astrophysical Journal Letters,* 489: DH761.

Erdem, A., Budding E., Soydugan F., Bakış V., Bakış H., Özkardeş B. ve Doğru D., 2008. Renkküre Kökenli Çizgi Kesiti Fiti ve Plaj Modeli. *XVI. Ulusal Astronomi Kongresi ve V. Ulusal Öğrenci Astronomi Kongresi-2008,* Çanakkale. 825-836.

Fullerton A. W., 1997. Observations of Hot-Star Winds, Stellar Atmospheres: Theory and Observations. J. P. DeGreve, in *Proceedings of European Astronomical Doctoral Network Predoctoral School IX.*

Grady C. A., Bjorkman K. S. ve Snow T. P., 1987. Highly ionized stellar winds in Be stars - The evidence for aspect dependence. *Astrophysical Journal,* 320 (1): 376-397.

Gräfener G., Koesterke L. ve Hamann W.-R., 2002. Line-blanketed model atmospheres for WR stars. *Astronomy and Astrophysics,* 387: 244-257.

Groenewegen M. A. ve Lamers H. J., 1989. The winds of O-stars. I - an analysis of the UV line profiles with the SEI method. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series,* 79: 359-383.

Groenewegen M. A. ve Lamers H. J., 1991. The winds of O-stars. III - A comparison between observed and predicted degrees of ionization in the winds of O-stars. *Astronomy and Astrophysics,* 243: 429-444.

Groenewegen M. A., Lamers H. J. ve Pauldrach A. W., 1989. The winds of O-stars. II - The terminal velocities of stellar winds of O-type stars. *Astronomy and Astrophysics,* 221: 78-88.

Hamann W.-R., 2010. Stellar winds from hot low-mass stars. *Astrophysics and Space Science*, 101.

Hamann W.-R., 1980. The expanding envelope of Zeta Puppis - A detailed UV-line fit. *Astronomy and Astrophysics,* 84: 342-349.

Hanson M. M., Conti P. S. ve Rieke M. J., 1996. A Spectral Atlas of Hot, Luminous Stars at 2 Microns. *Astrophysical Journal Supplement,* 107: 281.

Harmanec P., 1988. Stellar masses and radii based on modern binary data. *Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Bulletin,* 39: 329-345.

Hensberge H., de Loore C., Lamers H. J. ve Bruhweiler F. C., 1982. Mass loss from alpha CYG /A2Ia/ derived from the profiles of low excitation Fe II lines. *Astronomy and Astrophysics,* 106: 137-150.

Hillier D. John ve Miller D. L., 1998. The Treatment of Non-LTE Line Blanketing in Spherically Expanding Outflows. *Astrophysical Journal,* 496: 407.

Howarth I. D. ve Prinja K., 1989. The Stellar Winds of 203 Galactic O Stars: A Quantative Ultraviolet Survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 69: 527.

Huang W. ve Gies D. R., 2006. Stellar Rotation in Young Clusters. I. Evolution of Projected Rotational Velocity Distributions. *The Astrophysical Journal,* 648: 580-590.

Hubeny I. ve Lanz T., 1995. NLTE line blanketed model atmospheres of hot stars. I. Hybrid Complete Linearization/Accelerated Lambda Iteration Method. *The Astrophysical Journal,* 439: 875-904.

Kosirev N. A., 1934. Radiative equilibrium of the extended photosphere. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 94: 430-443.

Kudritzki R. P., Pauldrach A., Puls, J. ve Abbott D. C., 1989. Radiation-driven winds of hot stars. VI - Analytical solutions for wind models including the finite cone angle effect. *Astronomy and Astrophysics,* 219: 205-218.

Kudritzki R.-P. ve Puls J., 2000. Winds from Hot Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics,* 38: 613-666.

Kudritzki R. P., Springmann U., Puls J., Pauldrach A. W. A. ve Lennon M., 1998. Stellar-Wind Momentum in Galaxies and a New Parameterization of the Radiative Line Force. *Boulder-Munich II: Properties of Hot, Luminous Stars, ASP Conference Series,* 131: 299.

Kunasz P. B. ve Morrison N. D., 1982. Mass loss in Alpha Cygni - Synthetic Hα profiles. *Astrophysical Journal, Part 1,* 263: 226-238.

Lamers H. J. ve Cassinelli J. P., 1999. *Introduction to Stellar Winds* (1st ed.). Cambridge University Press, United Kingdom. 438 p.

Lamers H. J. ve Morton D. C., 1976. Mass ejection from the O4f star Zeta Puppis. *Astrophysical Journal Supplement Series,* 32: 715-736.

Lamers H. J., Cerruti-Sola M. ve Perinotto M., 1987. The 'SEI' method for accurate and efficient calculations of line profiles in spherically symmetric stellar winds. *Astrophysical Journal,* 314 (1): 726-738.

Lamers H. J., Haser S., de Koter A., ve Leitherer C., 1999. The Ionization in the Winds of O Stars and the Determination of Mass-Loss Rates from Ultraviolet Lines. *The Astrophysical Journal,* 516 (2): 872-886.

Lamers H. J., Snow T. P. ve Lindholm D. M., 1995. Terminal Velocities and the Bistability of Stellar Winds. *Astrophysical Journal,* 455: 269.

Lucy L. ve Solomon P., 1970. Mass Loss by Hot Stars. *The Astrophysical Journal,* 159: 879.

Martins F., Schaerer D. ve Hillier D. J., 2005. A new calibration of stellar parameters of Galactic O stars. *Astronomy and Astrophysics*, 436 (3): 1049-1065.

Mihalas D., Kunasz P. B. ve Hummer D. G., 1975. Solution of the comoving frame equation of transfer in spherically symmetric flows. I - Computational method for equivalent-two-level-atom source functions. *Astrophysical Journal*, 202: 465-489.

Morton D. C., 1969. Rocket Observations of Mass Loss from Hot Stars. *Astrophysics and Space Science*, 117-122.

Moultaka J., Ilovaisky S. A., Prugniel P., ve Soubiran C., 2004. The ELODIE Archive. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116 (821): 693-698.

Olah K., Budding E., Butler C. J., Houdebine E. R., Gimenez A. ve Zeilik M., 1992. The interrelation of UV and optical activity diagnostics in HK Lacertae. *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, 259-2: 302-314.

Olah K., Marik D., Houdebine E. R., Dempsey R. C. ve Budding E., 1998. MG II h&k line diagnostics of IM Pegasi. *Astronomy and Astrophysics*, 330: 559-568.

Owocki S., 2001. Winds that Sail on Starlight. *A general colloquium presented at Space Telescope Science Institute (STScI)*: 5.

Parker E. N., 1965. Dynamical Theory of the Solar Wind. *Space Science Reviews*, 4 (4-5): 666-708.

Parker E. N., 1958. Dynamics of the Interplanetary Gas and Magnetic Fields. *Astrophysical Journal*, 128: 664.

Parker E. N., 1960. The Hydrodynamic Theory of Solar Corpuscular Radiation and Stellar Winds. *Astrophysical Journal*, 132: 821.

Pauldrach A. W., Hoffmann T. L. ve Lennon M., 2001. Radiation-driven winds of hot luminous stars. XIII. A description of NLTE line blocking and blanketing towards realistic models for expanding atmospheres. *Astronomy and Astrophysics*, 375: 161-195.

Pauldrach A. W., Kudritzki R. P., Puls J., Butler K. ve Hunsinger J., 1994. Radiation-driven winds of hot luminous stars. 12: A first step towards detailed UV-line diagnostics of O-stars. *Astronomy and Astrophysics*, 283: 525-560.

Pauldrach A. W. A., Lennon M., Hoffmann T. L., Sellmaier F., Kudritzki R.-P. ve Puls J., 1998. Realistic Models for Expanding Atmospheres. *Boulder-Munich II: Properties of Hot, Luminous Stars, ASP Conference Series*, 131: 258.

Pauldrach A., Puls J., ve Kudritzki R. P., 1986. Radiation-driven winds of hot luminous stars - Improvements of the theory and first results. *Astronomy and Astrophysics,* 164: 86-100.

Pauldrach A., Puls, J., Kudritzki R. P., Mendez R. H. ve Heap S. R., 1989. Radiation-driven winds of hot stars. V - Wind models for central stars of planetary nebulae. *Astronomy and Astrophysics,* 207: 123-131.

Paunzen E., Schnell A. ve Maitzen H. M., 2005. An empirical temperature calibration for the Δ a photometric system . I. The B-type stars. *Astronomy and Astrophysics,* 444 (3): 941-946.

Pellerin A., Fullerton, A. W., Robert C., Howk J. C., Hutchings J. B., Walborn N. R., Bianchi L., Crowther P. A. ve Sonneborn G., 2002. An Atlas of Galactic OB Spectra Observed with the Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer. *The Astrophysical Journal Supplement Series,* 143 (1): 159-200.

Pols Onno R., Schroder Klaus-Peter, Hurley Jarrod R., Tout Christopher A. ve Eggleton Peter P., 1998. Stellar evolution models for Z = 0.0001 to 0.03. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 298: 525-536.

Praderie F., Talavera A. ve Lamers H. J., 1980. Resonance line profiles in A type supergiants from IUE and Copernicus spectra. *Astronomy and Astrophysics,* 86 (3): 271-282.

Prinja R. K., Barlow M. J. ve Howarth I. D., 1990. Terminal velocities for a large sample of O stars, B supergiants, and Wolf-Rayet stars. *Astrophysical Journal,* 361 (1): 607-620.

Puls J., (n.d.). *Stellar Atmospheres and Winds.* Retrieved May 27, 2010, from http://www.usm.uni-muenchen.de/people/puls/Puls.html

Puls J., Sundqvist J. O., Najarro F. ve Hanson M. M., 2009. Mass loss from OB-stars. *AIP Conference Proceedings,* 1171: s. 123-135.

Puls J., Urbaneja M. A., Venero R., Repolust T., Springmann U., Jokuthy A. ve Mokiem M. R., 2005. Atmospheric NLTE-models for the spectroscopic analysis of blue stars with winds. II. Line-blanketed models. *Astronomy and Astrophysics,* 435: 669-698.

Repolust T., Puls J., ve Herrero A., 2004. Stellar and wind parameters of Galactic O-stars. The influence of line-blocking/blanketing. *Astronomy and Astrophysics,* 415: 349-376.

Royer F., Grenier S., Baylac M.-O., Gómez, A. E., ve Zorec, J., 2002. Rotational velocities of A-type stars in the northern hemisphere. II. Measurement of v sin i. *Astronomy and Astrophysics,* 939: 897-911.

Royer F., Zorec J., ve Gómez A. E., 2007. Rotational velocities of A-type stars. III. Velocity distributions. *Astronomy and Astrophysics,* 463 (2): 671-682.

Slettebak A., 1970. Stellar Rotation. *Proceedings of the 4th International Astronomical Union (IAU) Colloquium.* Ohio State University, Columbus, Ohio. 3-8.

Snow T. P. ve Marlborough, J. M., 1976. Evidence for mass loss at moderate to high velocity in Be stars. *Astrophysical Journal,* 203: L87-L90.

Snow T. P. ve Morton D. C. 1976. Copernicus ultraviolet observations of mass-loss effects in O and B stars. *Astrophysical Journal Supplement Series,* 32: 429-465.

Snow T. P., Lamers H. J., Lindholm D. M. ve Odell A. P., 1994. An Atlas of Ultraviolet P Cygni Profiles. *The Astrophysical Journal Supplement Series,* 95: 163-299.

Snow T. P., Mathieu R. D. ve Peters G. J., 1979. A survey of ultraviolet circumstellar absorption lines in the spectra of early Be and shell stars. *Astrophysical Journal Supplement Series,* 39: 359-376.

Sobolev V. V., 1957. The Diffusion of Lα Radiation in Nebulae and Stellar Envelopes. *Soviet Astronomy,* 1: 678.

Stahl O., Mandel H., Wolf B., Gaeng T., Kaufer A., Kneer R., Szeifert Th. ve Zhao F., 1993. Long-term spectroscopic monitoring of P Cygni-type stars. I - Spectral atlas of P Cygni. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series,* 99: 167-177.

Straizys V. ve Kuriliene G., 1981. Fundamental stellar parameters derived from the evolutionary tracks. *Astrophysics and Space Science,* 80: 353-368.

Struve O. ve Roach F. E., 1939. The Ultraviolet Spectra of 17 Leporis and P Cygni. *Astrophysical Journal,* 90: 727.

Tanrıver M., 2005. OB Bileşenli Etkileşen Çift Yıldızlarda Rüzgâr Yapısı. (Doktora Tezi). Ankara, Türkiye.

Uesugi A. ve Fukuda I., 1970. *Catalogue of rotational velocities of the stars.* Institute of Astrophysics and Kwasan Observatory, Kyoto.

Walborn N. R., ve Bohlin R. C., 1996. An Atlas of OB Spectra from 1000A to 1200A. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific,* 108: 447.

Walborn N. R., Fullerton A. W., Crowther P. A., Bianchi L., Hutchings J. B., Pellerin A., Sonneborn G. ve Willis A. J., 2002. Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Atlas

of OB Stars in the Magellanic Clouds. *The Astrophysical Journal Supplement Series,* 141 (2): 443-468.

Walborn N. R., Lennon D. J., Haser S. M., Kudritzki R.-P. ve Voels S. A., 1995. The physics of massive OB stars in different parent galaxies. 1: Ultraviolet and optical spectral morphology in the Magellanic Clouds. *Astronomical Society of the Pacific,* 107 (708): 104-119.

Walborn N. R., Long K. S., Lennon D. J. ve Kudritzki R.-P., 1995. A Reconnaissance of the 900--1200 Angstrom Spectra of Early O Stars in the Magellanic Clouds. *Astrophysical Journal Letters,* 454: 27.

Walborn N. R., Nichols-Bohlin J. ve Panek R. J., 1985. International Ultraviolet Explorer Atlas of O-type Spectra from 1200 to 1900 Å. *NASA Reference Publication,* 1115.

Weber E. J. ve Davis L. J., 1967. The Angular Momentum of the Solar Wind. *Astrophysical Journal,* 148: 217.

Wilson O. C., 1960. Observational Limitations to Mass Loss by Normal Late-Type Giants. *Astrophysical Journal,* 132: 136.

Wolf C. ve Rayet G., 1867. *Compte Rendu,* 65: 291.

Zorec J., Cidale L., Arias M. L., Frémat Y., Muratore M. F., Torres A. F. ve Martayan C., 2009. Fundamental parameters of B supergiants from the BCD system. I. Calibration of the (λ_1, D) parameters into Teff. *Astronomy and Astrophysics,* 501 (1): 297-320.

EKLER LİSTESİ

EK 1. Veri listesi II
EK 2. Veri listesinin kaynakları ve açıklamaları IX
EK 3. Arşivlerin internet adresleri X
EK 4. Atmosfer modeli uygulamalarına ulaşılabilecek internet adresleri X
EK 5. Çalışmada kullanılan verilerin arşiv kodları X

EK 1. Veri listesi

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
1	HD 93250	O3.5V((f))	1	82,0	S	13,8	1	5,8	1	44853	1	3,92	1	100	DH7	-0,5
2	HD 303308	O4V((f+))	1	60,0	S	13,8	1	5,8	1	44853	1	3,92	1	195	DH7	
3	HD 66811	O4I(n)f	S	59,0	S	19,1	1	5,9	1	40142	1	3,65	1	230	DH7	-24,1
4	HD 46223	O4 V	S	52,0	S	12,4	1	5,7	1	42858	1	3,92	1	140	DH7	41,1
5	HD 96715	O4V((f))	1	81,0	S	12,4	1	5,7	1	42858	1	3,92	1			
6	HD 14947	O5 I	S	97,7	3	19,6	1	5,9	1	38261	1	3,56	1	155	DH7	-56,2
7	HD 15558	O5 III	S	77,6	3	15,0	1	5,7	1	40307	1	3,69	1	140	DH7	-41,9
8	HD 15629	O5 V	S	64,6	3	11,2	1	5,5	1	40863	1	3,92	1	155	DH7	
9	HD 46150	O5V((f))	1	64,6	3	11,2	1	5,5	1	40863	1	3,92	1	105	DH7	38,8
10	HD 93204	O5V((f))	1	64,6	3	11,2	1	5,5	1	40863	1	3,92	1	155	DH7	
11	HD 210839	O6I(n)f	1	81,3	3	20,1	1	5,8	1	36380	1	3,48	1	275	DH7	-70,7
12	HD 108	O6 pe	S	48,0	S	10,5	1	5,2	1	36380	1	3,48	1	115	DH7	-67,9
13	HD 93130	O7II	2	63,1	3	14,5	1	5,6	1	38192	1	3,65	1	205	DH7	
14	HD 39680	O6 V	S	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1	170	DH7	53,4
15	HD 91572	O6 V	S	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1			
16	HD 93146	O6.5V((f))	1	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1			
17	HD 101190	O6V((f))	1	50,1	3	10,1	1	5,3	1	38868	1	3,92	1	145	DH7	0,7
18	HD 163758	O6.5Iaf	1	91,2	3	20,4	1	5,8	1	35440	1	3,44	1	95	S	-47,7
19	HD 148937	O6.5 f	S	44,0	S	10,0	1	5,2	1	35440	1	3,44	1	220	DH7	-43,5
20	HD 69464	O6.5 Ib	S	65,3	3	20,4	1	5,8	1	35440	1	3,44	1			
21	HD 190864	O6.5 III	S	55,0	3	14,3	1	5,5	1	37135	1	3,63	1	105	DH7	-1,1
22	HD 5005A	O6.5V((f))	1	64,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	120	DH7	-24,8
23	HD 12993	O6.5 V	S	31,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	155	DH7	
24	HD 42088	O6.5V	1	32,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	250	DH7	23,1
25	HD 54662	O6.5 V	S	42,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	80	DH7	58,5

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
26	HD 101436	O6.5 V	S	42,0	S	9,6	1	5,2	1	37871	1	3,92	1	285	DH7	-3,7
27	HD 192639	O7Ib(f)	1	57,5	3	20,7	1	5,7	1	34499	1	3,40	1	125	DH7	-5,3
28	HD 34656	O7 II	S	51,3	3	17,8	3	5,7	3	36800	M1			105	DH7	-9,2
29	HD 151515	O7 II	S	51,3	3	17,8	3	5,7	3	36800	M1			140	DH7	-8,6
30	HD 36879	O7 V	S	38,9	3	9,1	1	5,1	1	36873	1	3,92	1	220	DH7	25,1
31	HD 91824	O7V((f))	1	38,9	3	9,1	1	5,1	1	36873	1	3,92	1	35	DH7	
32	HD 162978	O7.5 II	S	40,0	S	17,4	3	5,6	3	35300	M1			80	DH7	-6,9
33	HD 186980	O7.5 III	S	35,0	S	13,9	1	5,4	1	35020	1	3,59	1	125	DH7	3,3
34	HD 53975	O7.5 V	S	31,0	S	8,7	1	5,1	1	35876	1	3,92	1	170	DH7	39,7
35	HD 152590	O7.5 V	S	28,0	S	8,7	1	5,1	1	35876	1	3,92	1			
36	HD 152408	O8 Iafpe	S	79,4	3	21,3	1	5,7	1	32618	1	3,32	1	155	DH7	-71,6
37	HD 151804	O8 Iaf	S	79,4	3	21,3	1	5,7	1	32618	1	3,32	1	100	DH7	-46,7
38	HD 175754	O8II((f))	1	79,4	3	17,0	3	5,6	3	34000	M1			220	DH7	0,5
39	HD 36861	O8 III	S	39,8	3	13,7	1	5,4	1	33962	1	3,57	1	65	DH7	32,8
40	HD 46966	O8 V	S	30,2	3	8,3	1	5,0	1	34878	1	3,92	1	90	DH7	35,6
41	HD 48279	O8 V	S	30,2	3	8,3	1	5,0	1	34878	1	3,92	1	140	DH7	32,2
42	HD 101413	O8V	1	30,2	3	8,3	1	5,0	1	34878	1	3,92	1	165	DH7	
43	HD 14633	O8 (ON8) V	S	30,2	3	8,3	1	5,0	1	34878	1	3,92	1	130	DH7	-37,8
44	HD 112244	O8.5 Iab	S	55,0	3	21,7	1	5,6	1	31678	1	3,27	1	140	DH7	18,8
45	HD 74194	O8.5Ib(f)	1	49,0	3	21,7	1	5,6	1	31678	1	3,27	1	180	DH7	-0,2
46	HD 96917	O8.5Ib(f)	1	49,0	3	21,7	1	5,6	1	31678	1	3,27	1	155	DH7	1,9
47	HD 46149	O8.5 V	S	26,9	3	7,9	1	4,9	1	33881	1	3,92	1	90	DH7	41,1
48	HD 149404	O9 Ia	S	67,6	3	22,0	1	5,6	1	30737	1	3,23	1	45	S	-28
49	HD 210809	O9Iab	1	52,5	3	22,0	1	5,6	1	30737	1	3,23	1	120	DH7	-81,5
50	HD 37043	O9 III	S	30,9	3	13,3	1	5,2	1	31847	1	3,53	1	125	DH7	26,6
51	HD 46202	O9 V	S	24,0	3	7,5	1	4,8	1	32883	1	3,92	1	75	DH7	
52	HD 93028	O9V	1	24,0	3	7,5	1	4,8	1	32883	1	3,92	1	80	DH7	
53	HD 214680	O9 V	S	24,0	3	7,5	1	4,8	1	32883	1	3,92	1	30	DH7	-9,3
54	HD 12323	ON9V	1	24,0	3	7,5	1	4,8	1	32883	1	3,92	1	130	DH7	

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
55	HD 201345	ON9V	1	24,0	3	7,5	1	4,8	1	32883	1	3,92	1	95	DH7	21,6
56	HD 30614	O9.5 Ia	S	58,2	3	22,4	1	5,6	1	29797	1	3,19	1	80	DH7	10,7
57	HD 188209	O9.5 Iab	S	43,7	3	22,4	1	5,6	1	29797	1	3,19	1	80	DH7	-5,1
58	HD 218915	O9.5Iab	1	43,7	3	22,4	1	5,6	1	29797	1	3,19	1	115	DH7	-66,9
59	HD 209975	O9.5 Ib	S	37,2	3	22,4	1	5,6	1	29797	1	3,19	1	40	DH7	-15,2
60	HD 189957	O9.5 III	S	27,9	3	13,2	1	5,2	1	30790	1	3,51	1	90	DH7	39,1
61	HD 34078	O9.5 V	S	21,9	3	7,2	1	4,7	1	31886	1	3,91	1	25	DH7	54,4
62	HD 38666	O9.5 V	S	21,9	3	7,2	1	4,7	1	31886	1	3,91	1	140	DH7	109,8
63	HD 149038	O9.7 Iab	S	46,8	3	22,6	1	5,5	1	29420	1	3,17	1	105	DH7	6,5
64	HD 152405	O9.7 Ib-II	S	40,4	3	22,6	1	5,5	1	29420	1	3,17	1	95	DH7	-7,2
65	HD 152424	O9.7 (OC9.7) Ia	S	61,7	3	22,6	1	5,5	1	29420	1	3,17	1	115	DH7	-42,3
66	HD 105056	O9.7 (ON9.7) Iae	S	61,7	3	22,6	1	5,5	1	29420	1	3,17	1	85	DH7	-3,4
67	HD 123008	O9.7 (ON9.7) Iab	S	46,8	3	22,6	1	5,5	1	29420	1	3,17	1	115	DH7	
68	HD 37128	B0 Iae	S	50,1	3	34,7	3	5,8	3	26977	3	3,05	3	65	DH4	26
69	HD 91969	B0 Ia	S	50,1	3	34,7	3	5,8	3	26977	3	3,05	3	96	S	-2
70	HD 164402	B0 Ib	S	30,2	3	20,9	3	5,3	3	26977	3	3,27	3	100	S	-13
71	HD 204172	B0 Ib	S	30,2	3	20,9	3	5,3	3	26977	3	3,27	3	80	S	3
72	HD 43818	B0 II	S	25,1	3	15,9	3	5,1	3	26977	3	3,39	3	99	S	18
73	HD 48434	B0 III	S	25,1	3	11,0	3	5,1	3	25290	M2	3,74	3	50	DH4	35
74	HD 74753	B0 IIIn	S	25,1	3	11,0	3	5,1	3	29000	S	3,74	3	288	S	28
75	HD 36512	B0 V	S	20,0	3	7,2	3	4,7	3	30000	S	4,00	3	10	DH4	17
76	HD 149438	B0 V	S	20,0	3	7,2	3	4,7	3	31440	M2	4,00	3	20	S	2
77	HD 38771	B0.5 Ia	S	46,8	3	37,2	3	5,7	3	23170	M2	2,96	3	65	DH4	21
78	HD 150898	B0.5 Ia	S	46,8	3	37,2	3	5,7	3	23400	S	2,96	3	128	S	-53
79	HD 167756	B0.5 Ia	S	46,8	3	37,2	3	5,7	3	23400	S	2,96	3			-25
80	HD 64760	B0.5 Ib	S	26,9	3	20,9	3	5,2	3	23400	S	3,22	3	238	S	41
81	HD 91943	B0.5 Ib	S	26,9	3	20,9	3	5,2	3	23400	S	3,22	3	69	S	-7
82	HD 213087	B0.5 Ibe	S	26,9	3	20,9	3	5,2	3	23400	S	3,22	3	75	DH2	-15
83	HD 184915	B0.5 III	S	20,7	3	10,0	3	4,8	3	26500	S	3,73	3	259	S	-19

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
84	HD 219188	B0.5 III	S	20,7	3	10,0	3	4,8	3	26500	S	3,73	3	265	S	62
85	HD 34816	B0.5 IV	S	18,2	3	8,0	3	4,6	3	27700	S	3,87	3	67	S	20
86	HD 37061	B0/1 V	S	12,9	3	5,9	3	4,2	3	27700	S	4,00	3	160	S	40
87	HD 96248	B1 Iabe	S	28,8	3	27,5	3	5,3	3	23496	3	2,87	3	93	S	-25
88	HD 152236	B1 Iape	S	43,7	3	39,8	3	5,7	3	23496	3	2,87	3	57	S	-26
89	HD 152235	B1 Iae	S	43,7	3	39,8	3	5,7	3	23496	3	2,87	3			-36
90	HD 154090	B1 Iae	S	43,7	3	39,8	3	5,7	3	23496	3	2,87	3	91	S	4
91	HD 109867	B1 Ia	S	43,7	3	39,8	3	5,7	3	23496	3	2,87	3	88	S	-16
92	HD 47240	B1 Ib	S	24,0	3	20,9	3	5,1	3	23496	3	3,17	3	126	S	33
93	HD 52382	B1 Ib	S	24,0	3	20,9	3	5,1	3	23496	3	3,17	3	87	S	51
94	HD 73658	B1 Ibe	S	24,0	3	20,9	3	5,1	3	23496	3	3,17	3			
95	HD 157246	B1 Ib	S	24,0	3	20,9	3	5,1	3	23496	3	3,17	3	281	S	-3
96	HD 214080	B1 Ib	S	24,0	3	20,9	3	5,1	3	23496	3	3,17	3	100	S	12
97	HD 165793	B1 II	S	19,1	3	15,9	3	4,9	3	23496	3	3,31	3			39
98	HD 36591	B1 IV	S	15,1	3	7,4	3	4,4	3	26485	3	3,86	3	29	S	34
99	HD 50707	B1 IV	S	15,1	3	7,4	3	4,4	3	26485	3	3,86	3	49	S	28
100	HD 52918	B1 IV	S	15,1	3	7,4	3	4,4	3	26485	3	3,86	3	336	S	25
101	HD 37303	B1 Vv	S	12,9	3	5,9	3	4,2	3	25400	S	4,00	3	260	S	29
102	HD 144470	B1 V	S	12,9	3	5,9	3	4,2	3	25400	S	4,00	3	142	S	-3
103	HD 106343	B1.5 Ia	S	38,9	3	42,2	3	5,6	3	19700	S	2,78	3	100	S	-7
104	HD 148379	B1.5 Iape	S	38,9	3	42,2	3	5,6	3	19700	S	2,78	3	66	S	-12
105	HD 190603	B1.5 Iae	S	38,9	3	42,2	3	5,6	3	19700	S	2,78	3	35	DH4	21
106	HD 74575	B1.5 III	S	14,3	3	8,8	3	4,5	3	22100	S	3,70	3	19	S	15
107	HD 37481	B1.5 IV	S	12,9	3	6,8	3	4,2	3	23700	S	3,87	3	105	S	15
108	HD 136298	B1.5 IV	S	12,9	3	6,8	3	4,2	3	23700	S	3,87	3	221	S	0
109	HD 35299	B1.5 V	S	11,2	3	5,3	3	4,0	3	23700	S	4,03	3	36	S	22
110	HD 37744	B1.5 V	S	11,2	3	5,3	3	4,0	3	23700	S	4,03	3	35	S	29
111	HD 39777	B1.5 V	S	11,2	3	5,3	3	4,0	3	23700	S	4,03	3	20	S	25
112	HD 74273	B1.5 V	S	11,2	3	5,3	3	4,0	3	23700	S	4,03	3	181	S	18

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
113	HD 41117	B2 Iave	S	34,7	3	44,7	3	5,5	3	20277	3	2,68	3	36	S	17
114	HD 165024	B2 Ib	S	20,0	3	20,9	3	4,9	3	20277	3	3,00	3	117	S	3
115	HD 206165	B2 Ib	S	20,0	3	20,9	3	4,9	3	20277	3	3,00	3	36	S	-13
116	HD 52089	B2 II	S	15,1	3	16,2	3	4,6	3	20277	3	3,19	3	44	S	27
117	HD 92936	B2 III	S	12,0	3	9,3	3	4,3	3	20300	S	3,68	3			-16
118	HD 106490	B2 IV	S	11,0	3	6,3	3	4,0	3	23014	3	3,88	3	194	S	22
119	HD 37356	B2 IV-V	S	11,0	3	6,3	3	4,0	3	23014	3	3,88	3	10	S	29
120	HD 37776	B2 IV-V	S	11,0	3	6,3	3	4,0	3	23014	3	3,88	3	157	S	28
121	HD 39291	B2 IV-V	S	11,0	3	6,3	3	4,0	3	23014	3	3,88	3	150	DH4	20
122	HD 142669	B2 IV-V	S	11,0	3	6,3	3	4,0	3	23014	3	3,88	3	156	S	0
123	HD 36166	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	175	S	12
124	HD 36430	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	25	S	23
125	HD 74234	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	247	DH3	8
126	HD 108483	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	245	S	8
127	HD 145482	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	225	S	10
128	HD 148605	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	232	S	4
129	HD 212978	B2 V	S	9,8	3	4,8	3	3,8	3	22000	S	4,06	3	115	S	-17
130	HD 92964	B2.5 Iae	S	31,3	3	46,8	3	5,4	3	17400	S	2,59	3	68	S	-2
131	HD 42087	B2.5 Ibe	S	18,4	3	22,1	3	4,9	3	17400	S	2,90	3	40	DH4	16
132	HD 116084	B2.5 Ib	S	18,4	3	22,1	3	4,9	3	17400	S	2,90	3			-15
133	HD 166596	B2.5 III	S	16,0	3	7,5	3	4,0	3	18700	S	3,70	3	197	S	-15
134	HD 125238	B2.5 IV	S	9,1	3	5,7	3	3,8	3	20400	S	3,87	3	370	S	22
135	HD 36779	B2.5 V	S	8,2	3	4,4	3	3,8	3	20400	S	4,06	3	227	S	4
136	HD 175191	B2.5 V	S	8,2	3	4,4	3	3,8	3	20400	S	4,06	3	201	S	-11
137	HD 144294	B2.5 Vn	S	8,2	3	4,4	3	3,8	3	20400	S	4,06	3	309	S	15
138	HD 168905	B2.5 Vn	S	8,2	3	4,4	3	3,8	3	20400	S	4,06	3	297	S	0
139	HD 225094	B3 Iae	S	28,2	3	49,0	3	5,3	3	17498	3	2,49	3	40	DH4	-43
140	HD 198478	B3 Iae	S	28,2	3	49,0	3	5,3	3	17498	3	2,49	3	35	S	-7
141	HD 75149	B3 Ia	S	28,2	3	49,0	3	5,3	3	17498	3	2,49	3	73	S	26

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
142	HD 53138	B3 Iab	S	20,9	3	33,9	3	5,0	3	17498	3	2,84	3	44	S	48
143	HD 43384	B3 Ib	S	17,0	3	26,9	3	4,8	3	17498	3	3,00	3	35	DH4	13
144	HD 51309	B3 II	S	12,9	3	16,2	3	4,4	3	17498	3	3,19	3	29	S	41
145	HD 21483	B3 III	S	8,7	3	6,8	3	3,8	3	17100	S	3,71	3			-5
146	HD 198820	B3 III	S	8,7	3	6,8	3	3,8	3	17100	S	3,71	3	15	DH4	-18
147	HD 209008	B3 III	S	8,7	3	6,8	3	3,8	3	17100	S	3,71	3	5	DH4	-7
148	HD 157038	B4 Ia	S	26,6	3	56,2	3	5,3	3	14900	S	2,59	3			-14
149	HD 58350	B5 Ia	S	25,1	3	64,6	3	5,1	3	13709	3	2,22	3	15	S	41
150	HD 79186	B5 Ia	S	25,1	3	64,6	3	5,1	3	13709	3	2,22	3	61	S	34
151	HD 36371	B5 Iab	S	18,2	3	44,7	3	4,8	3	13709	3	2,40	3	41	S	0
152	HD 75129	B5 Ib	S	15,1	3	35,5	3	4,6	3	13709	3	2,52	3			
153	HD 86440	B5 Ib	S	15,1	3	35,5	3	4,6	3	13709	3	2,52	3	15	S	14
154	HD 164353	B5 Ib	S	15,1	3	35,5	3	4,6	3	13709	3	2,52	3	22	S	-4
155	HD 83183	B5 II	S	10,0	3	18,6	3	4,1	3	13709	3	2,90	3			22
156	HD 175156	B5 II	S	10,0	3	18,6	3	4,1	3	13709	3	2,90	3	19	S	-3
157	HD 45057	B5 III	S	5,6	3	4,8	3	3,1	3	15000	S	3,81	3	86	S	29
158	HD 72232	B5 III	S	5,6	3	4,8	3	3,1	3	15000	S	3,81	3			12
159	HD 72798	B5 III	S	5,6	3	4,8	3	3,1	3	15000	S	3,81	3			22
160	HD 209419	B5 III	S	5,6	3	4,8	3	3,1	3	15000	S	3,81	3	20	DH4	-22
161	HD 74371	B6 Iae	S	24,0	3	69,2	3	5,1	3	12589	3	2,13	3	53	S	24
162	HD 125288	B6 Ib	S	14,1	3	38,0	3	4,5	3	12589	3	2,42	3	10	S	4
163	HD 155763	B6 III	S	4,8	3	4,4	3	2,9	3	14100	S	3,84	3	55	DH5	-17
164	HD 91619	B7 Iae	S	22,9	3	75,9	3	5,0	3	11695	3	2,02	3	52	S	7
165	HD 1279	B7 III	S	4,0	3	4,1	3	2,6	3	13200	S	3,82	3	25	DH4	-9
166	HD 142514	B7 III	S	4,0	3	4,1	3	2,6	3	13200	S	3,82	3			0
167	HD 210424	B7 III	S	4,0	3	4,1	3	2,6	3	13200	S	3,82	3	18	S	3
168	HD 34085	B8 Iae	S	21,9	3	79,4	3	4,9	3	10990	3	1,97	3	33	S	21
169	HD 166937	B8 Iape	S	21,9	3	79,4	3	4,9	3	10990	3	1,97	3	25	DH2	-6
170	HD 199478	B8 Iae	S	21,9	3	79,4	3	4,9	3	10990	3	1,97	3	90	DH4	-15

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*													
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
171	HD 12301	B8 Ib	S	12,0	3	41,7	3	4,4	3	10990	3	2,27	3	30	DH4	-20
172	HD 46769	B8 Ib	S	12,0	3	41,7	3	4,4	3	10990	3	2,27	3	65	DH4	10
173	HD 208501	B8 Ib	S	12,0	3	41,7	3	4,4	3	10990	3	2,27	3	40	DH4	-15
174	HD 53244	B8 II	S	7,6	3	18,2	3	3,7	3	10990	3	2,79	3	27	S	32
175	HD 47670	B8 III	S	3,3	3	3,8	3	2,4	3	12400	S	3,79	3	246	DH5	28
176	HD 202850	B9 Iab	S	20,9	3	61,7	3	4,6	3	10304	3	2,04	3	28	S	-4
177	HD 212593	B9 Iab	S	20,9	3	61,7	3	4,6	3	10304	3	2,04	3	27	S	-26
178	HD 46885	B9 III	S	3,1	3	3,9	3	2,2	3	11000	S	3,75	3	42	DH6	13
179	HD 100841	B9 III	S	3,1	3	3,9	3	2,2	3	11000	S	3,75	3	183	DH5	-1
180	HD 144206	B9 III	S	3,1	3	3,9	3	2,2	3	11000	S	3,75	3	18	DH5	3
181	HD 176437	B9 III	S	3,1	3	3,9	3	2,2	3	11000	S	3,75	3	76	S	-21
182	HD 192907	B9 III	S	3,1	3	3,9	3	2,2	3	11000	S	3,75	3	18	S	-23
183	HD 198667	B9 III	S	3,1	3	3,9	3	2,2	3	11000	S	3,75	3	25	DH4	-2
184	HD 169022	B9.5 III	S	2,9	3	3,8	3	4,9	3	10000	S	3,75	3	236	DH5	-15
185	HD 21389	A0 Iae	S	20,0	3	91,2	3	4,9	3	9795	3	1,81	3	6	DH1	-6
186	HD 92207	A0 Iae	S	20,0	3	91,2	3	4,9	3	9795	3	1,81	3	56	S	-9
187	HD 223960	A0 Iae	S	20,0	3	91,2	3	4,9	3	9795	3	1,81	3			-48
188	HD 46300	A0 Ib	S	11,0	3	41,7	3	4,2	3	9795	3	2,23	3	17	S	12
189	HD 87737	A0 Ib	S	11,0	3	41,7	3	4,2	3	9795	3	2,23	3	20	S	3
190	HD 175687	A0 II	S	6,5	3	15,9	3	3,3	3	9795	3	2,85	3	10	DH5	2
191	HD 12953	A1 Iae	S	20,0	3	95,5	3	4,9	3	9506	3	1,76	3	18	S	-36
192	HD 14433	A1-3 Ia	S	20,0	3	95,5	3	4,9	3	9506	3	1,76	3			-47
193	HD 197345	A2 Iae	S	20,0	3	102,3	3	4,9	3	9506	3	1,71	3	21	S	-5
194	HD 14489	A2 Ia	S	20,0	3	102,3	3	4,9	3	9506	3	1,71	3	33	DH5	-15
195	HD 207260	A2 Ia	S	20,0	3	102,3	3	4,9	3	9506	3	1,71	3	33	S	-21
196	HD 62623	A2 Iabe	S	14,1	3	67,6	3	4,5	3	9506	3	1,92	3	73	S	25
197	HD 182564	A2 IIIs	S	2,5	3	3,3	3	1,9	3	9000	S	3,78	3	25	DH5	-29
198	HD 223385	A3 Iae	S	20,0	3	109,7	3	4,9	3	8892	3	1,65	3	39	DH5	-46
199	HD 17378	A5 Ia	S	20,0	3	125,9	3	4,9	3	8299	3	1,53	3	37	S	-38

EK 1. Veri listesi (devamı)

Sıra No.	*YILDIZ Bilgisi*			*MUTLAK PARAMETRELER*												
	Yıldız İsmi	Tayf Türü	K	Kütle $M/M_{\odot}$	K	Yarıçap $R/R_{\odot}$	K	Işınım Gücü $\log L/L_{\odot}$	K	Etkin Sıcaklık T_e [K]	K	$\log g$	K	$v \sin i$ (km/s)	K	V_R
200	HD 59612	A5 Ib	S	8,9	3	41,7	3	3,9	3	8299	3	1,74	3	26	S	37
201	HD 34578	A5 II	S	5,5	3	15,1	3	3,0	3	8299	3	2,81	3	16	S	-5
202	HD 74272	A5 II	S	5,5	3	15,1	3	3,0	3	8299	3	2,81	3			17
203	HD 147084	A5 II	S	5,5	3	15,1	3	3,0	3	8299	3	2,81	3	7	S	-8
204	HD 97534	A6 Iae	S	20,4	3	139,6	3	4,9	3	8330	S			34	S	-8
205	HD 73634	A6 II	S	5,4	3	15,7	3	4,5	3	8100	S					19
206	HD 148743	A5 II	S	5,5	3	15,1	3	3,0	3	8150	3	2,81	3	52	DH5	2
207	HD 80404	A8 Ib	S	9,4	S					7950	S	3,92		10	DH5	13
208	HD 85123	A8 Ib	S	9,4	S					7950	S	3,92		12	DH5	14
209	HD 196379	A9 II	S	9,4	S					7560	S	3,65		29	DH5	-13

EK 2. Veri listesinin kaynakları ve açıklamaları

Kaynak Kısaltma	**(Kalibrasyonlar)**	**S (Snow ve ark.)**	**DH (Literatür: Dönme hızı)**	**M (Literatür: Mutlak Parametreler)**
Numarasız		Snow ve ark. (1994)		
1	Martins ve ark. (2005)		Uesugi ve Fukuda (1970)	Howarth ve Prinja (1989)
2	Harmanec (1988)		Bernacca ve Perinotto (1970)	Zorec ve ark. (2009)
3	Straizys ve Kuriliene (1981)		Repolust ve ark. (2004)	
4			Abt ve ark. (2002)	
5			Royer, ve ark. (2002)	
6			Royer ve ark. (2007)	
7			Howarth ve Prinja (1989)	

EK 3. Arşivlerin internet adresleri

Arşiv Adı	Bağlantı adresi
IUE	http://archive.stsci.edu/iue/
FUSE	http://archive.stsci.edu/fuse/
ELODIE	http://atlas.obs-hp.fr/elodie/

EK 4. Atmosfer modeli uygulamalarına ulaşılabilecek internet adresleri

No	Model	Bağlantı adresi
1	TLUSTY	http://nova.astro.umd.edu/
2	Fastwind	http://www.usm.uni-muenchen.de/people/puls/Puls.html
3	WM-Basic	http://www.usm.uni-muenchen.de/people/adi/Programs/Programs.html
4	CMFGEN	http://kookaburra.phyast.pitt.edu/hillier/web/CMFGEN.htm
5	PoWR	http://www.astro.physik.uni-potsdam.de/~wrh/PoWR/powrgrid1.html

EK 5. Çalışmada kullanılan verilerin arşiv kodları

Sıra No.	Yıldız İsmi	IUE verisi	ELODIE verisi
1	HD 93250	SWP14746	
2	HD 303308	SWP06596	
3	HD 66811	SWP53479	
4	HD 46223	SWP10757	20051107/0015
5	HD 96715	SWP07698	
6	HD 14947	SWP10724	20051105/0016
7	HD 15558	SWP08322	20040107/0011
8	HD 15629	SWP10754	20011125/0021
9	HD 46150	SWP18948	20030116/0012
10	HD 93204	SWP07960	
11	HD 210839	SWP52635	20010813/0022
12	HD 108	SWP08352	20041116/0006
13	HD 93130	SWP06594	
14	HD 39680	SWP16236	20051106/0013
15	HD 91572	SWP14743	
16	HD 93146	SWP11136	
17	HD 101190	SWP22097	
18	HD 163758	SWP02892	
19	HD 148937	SWP02893	
20	HD 69464	SWP10158	
21	HD 190864	SWP06946	20010812/0018
22	HD 5005A	SWP20602	20041115/0007
23	HD 12993	SWP16108	20041121/0006
24	HD 42088	SWP22107	20051110/0016
25	HD 54662	SWP21586	
26	HD 101436	SWP06972	
27	HD 192639	SWP09493	20010811/0018

EK 5. Çalışmada kullanılan verilerin arşiv kodları (devamı)

Sıra No.	Yıldız İsmi	IUE verisi	ELODIE verisi
28	HD 34656	SWP40796	20041115/0010
29	HD 151515	SWP16113	
30	HD 36879	SWP04699	20041121/0011
31	HD 91824	SWP16533	
32	HD 162978	SWP38302	
33	HD 186980	SWP06033	20010811/0014
34	HD 53975	SWP27936	
35	HD 152590	SWP16098	
36	HD 152408	SWP15219	
37	HD 151804	SWP40990	
38	HD 175754	SWP14803	
39	HD 36861	SWP46257	19951108/0040
40	HD 46966	SWP28191	20041121/0012
41	HD 48279	SWP06504	20000125/0014
42	HD 101413	SWP22103	
43	HD 14633	SWP21583	20011121/0040
44	HD 112244	SWP50551	
45	HD 74194	SWP53023	
46	HD 96917	SWP07697	
47	HD 46149	SWP28200	20051110/0017
48	HD 149404	SWP55810	
49	HD 210809	SWP10628	20010811/0022
50	HD 37043	SWP26577	19951108/0033
51	HD 46202	SWP30299	
52	HD 93028	SWP05521	
53	HD 214680	SWP56337	20011121/0013
54	HD 12323	SWP09652	20051105/0017
55	HD 201345	SWP15004	20040828/0009
56	HD 30614	SWP02540	19950118/0005
57	HD 188209	SWP36499	19970917/0012
58	HD 218915	SWP38962	20010810/0020
59	HD 209975	SWP52603	20040828/0011
60	HD 189957	SWP16234	
61	HD 34078	SWP54036	19991222/0019
62	HD 38666	SWP55738	
63	HD 149038	SWP36136	
64	HD 152405	SWP16215	
65	HD 152424	SWP15021	
66	HD 105056	SWP14847	
67	HD 123008	SWP16235	
68	HD 37128	SWP30225	19951108/0037
69	HD 91969	SWP57107	
70	HD 164402	SWP29006	
71	HD 204172	SWP48928	
72	HD 43818	SWP04657	
73	HD 48434	SWP06447	20030115/0028
74	HD 74753	SWP05557	

EK 5. Çalışmada kullanılan verilerin arşiv kodları (devamı)

Sıra No.	Yıldız İsmi	IUE verisi	ELODIE verisi
75	HD 36512	SWP40415	19981129/0040
76	HD 149438	SWP55997	
77	HD 38771	SWP08248	19981127/0039
78	HD 150898	SWP50552	
79	HD 167756	SWP28965	
80	HD 64760	SWP47118	
81	HD 91943	SWP23760	
82	HD 213087	SWP02735	
83	HD 184915	SWP18311	
84	HD 219188	SWP53057	
85	HD 34816	SWP26726	19961225/0026
86	HD 37061	SWP49234	19961225/0027
87	HD 96248	SWP57108	
88	HD 152236	SWP54152	
89	HD 152235	SWP33294	
90	HD 154090	SWP09852	
91	HD 109867	SWP44494	
92	HD 47240	SWP48902	20030115/0026
93	HD 52382	SWP33293	
94	HD 73658	SWP29664	
95	HD 157246	SWP54201	
96	HD 214080	SWP51436	
97	HD 165793	SWP50429	
98	HD 36591	SWP04695	20041112/0041
99	HD 50707	SWP27664	
100	HD 52918	SWP50412	
101	HD 37303	SWP36899	
102	HD 144470	SWP13906	
103	HD 106343	SWP06320	
104	HD 148379	SWP04194	
105	HD 190603	SWP14905	
106	HD 74575	SWP05145	
107	HD 37481	SWP32215	
108	HD 136298	SWP07686	
109	HD 35299	SWP18005	
110	HD 37744	SWP08059	
111	HD 39777	SWP16881	
112	HD 74273	SWP53922	
113	HD 41117	SWP40669	20040205/0010
114	HD 165024	SWP06020	
115	HD 206165	SWP06336	20040824/0039
116	HD 52089	SWP35165	
117	HD 92936	SWP14834	
118	HD 106490	SWP21954	
119	HD 37356	SWP22114	
120	HD 37776	SWP19119	20051108/0011
121	HD 39291	SWP32214	

EK 5. Çalışmada kullanılan verilerin arşiv kodları (devamı)

Sıra No.	Yıldız İsmi	IUE verisi	ELODIE verisi
122	HD 142669	SWP55195	
123	HD 36166	SWP03538	
124	HD 36430	SWP29158	
125	HD 74234	SWP54596	
126	HD 108483	SWP20792	
127	HD 145482	SWP19351	
128	HD 148605	SWP39506	
129	HD 212978	SWP06237	
130	HD 92964	SWP06316	
131	HD 42087	SWP08646	
132	HD 116084	SWP06322	
133	HD 166596	SWP18142	
134	HD 125238	SWP20785	
135	HD 36779	SWP32291	
136	HD 175191	SWP16365	
137	HD 144294	SWP22090	
138	HD 168905	SWP57019	
139	HD 225094	SWP09415	
140	HD 198478	SWP38688	20040824/0038
141	HD 75149	SWP07726	
142	HD 53138	SWP30153	
143	HD 43384	SWP04656	
144	HD 51309	SWP13937	
145	HD 21483	SWP38298	
146	HD 198820	SWP08331	20041110/0019
147	HD 209008	SWP20593	
148	HD 157038	SWP30759	
149	HD 58350	SWP04501	
150	HD 79186	SWP37499	
151	HD 36371	SWP02945	
152	HD 75129	SWP14123	
153	HD 86440	SWP06323	
154	HD 164353	SWP04267	20010810/0009
155	HD 83183	SWP02963	
156	HD 175156	SWP04479	
157	HD 45057	SWP40651	
158	HD 72232	SWP14105	
159	HD 72798	SWP14102	
160	HD 209419	SWP08921	
161	HD 74371	SWP06317	
162	HD 125288	SWP06321	
163	HD 155763	SWP45224	20010809/0017
164	HD 91619	SWP06324	
165	HD 1279	SWP06756	
166	HD 142514	SWP23434	
167	HD 210424	SWP09041	
168	HD 34085	SWP10390	19951108/0031

EK 5. Çalışmada kullanılan verilerin arşiv kodları (devamı)

Sıra No.	Yıldız İsmi	IUE verisi	ELODIE verisi
169	HD 166937	SWP26610	
170	HD 199478	SWP15552	
171	HD 12301	SWP04265	
172	HD 46769	SWP06341	
173	HD 208501	SWP04217	
174	HD 53244	SWP25526	
175	HD 47670	SWP33338	
176	HD 202850	SWP13460	
177	HD 212593	SWP10627	
178	HD 46885	SWP30298	20030116/0010
179	HD 100841	SWP03450	
180	HD 144206	SWP40558	20000818/0006
181	HD 176437	SWP24358	19960425/0031
182	HD 192907	SWP05719	
183	HD 198667	SWP14045	
184	HD 169022	SWP44754	
185	HD 21389	SWP29344	19951111/0018
186	HD 92207	LWR10515	
187	HD 223960	LWR08994	
188	HD 46300	SWP16437	20030115/0023
189	HD 87737	SWP16439	20040205/0018
190	HD 175687	SWP16444	
191	HD 12953	LWP09167	
192	HD 14433	LWP09166	
193	HD 197345	SWP08807	20040821/0023
194	HD 14489	SWP21814	
195	HD 207260	SWP16105	
196	HD 62623	SWP25525	
197	HD 182564	SWP16106	19990812/0018
198	HD 223385	SWP32372	20011127/0010
199	HD 17378	LWR09042	20011128/0018
200	HD 59612	SWP03305	
201	HD 34578	LWR04075	
202	HD 74272	LWR03760	
203	HD 147084	LWP15033	
204	HD 97534	LWR09245	
205	HD 73634	SWP04691	
206	HD 148743	LWP15277	
207	HD 80404	SWP06791	
208	HD 85123	SWP45036	
209	HD 196379	SWP37690	

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Yıldız rüzgârına neden olan kayıp mekanizmaları (Tanrıver, 2005).....2
Çizelge 2. Yıldızlar ve rüzgârlarının mutlak parametrelerinin ortalama değerlerinin karşılaştırılması (Puls, 2010). 6
Çizelge 3. Bu çalışmada kullanılan tayf verisi için arşivi listesi 12
Çizelge 4. IUE alıcıların çözünürlüğe bağlı tayf aralığı 13
Çizelge 5. Liste yıldızlarının tayf türü – ışıtma sınıfına bağlı dağılımı.....17
Çizelge 6. Veri listesi (kısaltılmış) 18
Çizelge 7. Yıldız rüzgârı tanısında kullanılan morötesi çizgileri 19
Çizelge 8. OBA yıldızlarının temel özellikleri 20
Çizelge 9. Yıldızların ışınım sınıflaması 21
Çizelge 10. Yıldız rüzgârlarının oluşturduğu gözlemsel profillerin incelendiği çalışmalar 27
Çizelge 11. Tayf çizgilerinin tanısı için oluşturulan puan cetveli 29
Çizelge 12. Çizgi puanlaması 30
Çizelge 13. PROF ile hız ölçümü yapılan yıldızlar 45
Çizelge 14. Sıcak yıldızlar için literatürde yer alan atmosfer modelleri ve modellerin uygulama aralığı 51
Çizelge 15. WM-Basic uygulamaları için seçilen kılavuz modellerinin varsayılan parametreleri 55
Çizelge 16. ζ Pup için WM-Basic girdi ve çıktı değerleri 56
Çizelge 17. HD14947 (O5 I) için WM-Basic girdi ve modellere göre çıktı parametreleri .57
Çizelge 18. HD15558 (O5 III) için WM-Basic girdi ve modellere göre çıktı parametreleri 58
Çizelge 19. HD15629 (O5 V) için WM-Basic girdi ve modellere göre çıktı parametreleri 59
Çizelge 20. Puanlamaya göre yıldızların mutlak parametrelerinin ortalama dağılımı 60
Çizelge 21. Puanlamaya göre $vsini$ değerlerinin ortalama dağılımı.....63
Çizelge 22. Hesaplanan ile literatürde yer alan $v\ sini$ değerlerinin karşılaştırması.....66
Çizelge 23. WM-Basic uygulamasıyla elde edilen rüzgâr parametreleri.....66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kütle kaybı gösteren birçok tür sıcak yıldızın HR diyagramındaki dağılımı 5
Şekil 2. Yıldız rüzgârında çizgi saçılmasının atomik düzeyde gösterimi. 7
Şekil 3. P Cygni çizgi profilinin oluşumunun şematik açıklaması. 7
Şekil 4. ζ Puppis'in IUE gözlem uydusuyla alınmış tayfında C IV ikili çizgisinde belirgin olarak göze çarpan P-Cygni profili. 8
Şekil 5. Doymuş ve doymamış P-Cygni çizgi profilinin oluşumu 9
Şekil 6. Bir tayfın alınmasında işleyen süreçler 11
Şekil 7. ζ Orionis (O9.5Ia) yıldızının 1966 yılında roket gözlemleri ile alınmış tayfı 11
Şekil 8. Büyük kütleli yıldızlar için kütle kaybı oranı – ışınım gücü ilişkisi 22
Şekil 9. Yarıçapın $v_0 = 0{,}01v_\infty$ fonksiyonu olarak farklı değerlerle hesaplanmış β hız yasası. 25
Şekil 10. Hız yasası, β'nın farklı değerleri ile kullanıldığında P-Cygni profilindeki meydana gelen değişim 25
Şekil 11. O, B ve A türü yıldızlarda rüzgârın terminal hızı ile etkin kaçış hızı arasındaki ilişki 26
Şekil 12. Seçilmiş O yıldızlarının tayfları 36
Şekil 13. Seçilmiş B yıldızlarının tayfları 37
Şekil 14. Yıldızların kütle - toplam puan ilişkisi. 38
Şekil 15. Yıldızların yarıçapı - toplam puan ilişkisi. 39
Şekil 16. Yıldızların ışınım gücü - toplam puan ilişkisi. 40
Şekil 17. Yıldızların etkin sıcaklığı - toplam puan ilişkisi 40
Şekil 18. Yıldızların yüzey çekim ivmesi - toplam puan ilişkisi 41
Şekil 19. O, erken B ve geç B tür yıldızlarda C IV çizgisi puanına göre hız dağılımı 42
Şekil 20. O, erken B ve geç B tür yıldızlarda Si IV çizgisinin puanına göre hız dağılımı 43
Şekil 21. HD 14947 yıldızı için He I çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi. 46
Şekil 22. HD 192639 yıldızı için He I çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi. 46
Şekil 23. HD 108 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi. 47
Şekil 24. HD 46149 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi. 47
Şekil 25. HD 46202 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi. 48

Şekil 26. HD 91572 yıldızı için O III çizgisi ve PROF uygulamasıyla elde edilen en iyi kuramsal eğrisi. 48
Şekil 27. HD 91824 yıldızı için O III çizgisi ve en iyi kuramsal eğrisi. 49
Şekil 28. WM-Basic'de atmosfer örneklemesinin aşama aşama işleyişi 53
Şekil 29. WM-Basic'in ζ Pup için 1200-1900 Å aralığında ürettiği yapay tayf, gözlenen tayfla birlikte yer alıyor. 56
Şekil 30. ζ Pup'in WM-Basic modeliyle gözlemin ayrıntılı karşılaştırılması. 56
Şekil 31. HD14947'nin WM-Basic modeliyle gözlemin karşılaştırılması. 57
Şekil 32. HD15558'in WM-Basic modeliyle gözlemin karşılaştırılması. 58
Şekil 33. HD15629'ın WM-Basic modeliyle gözlemin karşılaştırılması. 59
Şekil 34. İncelenen OBA yıldızlarının HR diyagramındaki dağılımları 61
Şekil 35. Liste yıldızlarının dönme hızı - toplam puan grafiği. 62
Şekil 36. Liste yıldızlarının hız dağılımı. 64
Şekil 37. Farklı tür yıldızlar için ortalama korunumlu ekvatoryal dönme hızı dağılımı 65
Şekil 38. WM-Basic model değerlerinin kütle kaybı oranı – ışınım gücü ilişkisi 67

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Çağlar Püsküllü

Doğum Yeri: Mersin

Doğum Tarihi: 10.08.1984

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ankara Üniversitesi

Yüksek Lisans Öğrenimi: Uzay Bilimleri ve Teknolojileri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar - Diğer:

Soydugan, E.; Soydugan, F.; Senyuz, T.; Puskullu, C.; Tuysuz, M.; Bakis, V.; Bilir, S.; Demircan, O., "Discovery of delta Scuti type oscillations in two Algol-type binaries: DY Aqr and BG Peg", 2009, Information Bulletin on Variable Stars, 5902, 1.

b) Bildiriler - Ulusal:

Püsküllü, Ç. ve Soydugan, F., "Algol Türü Çift Sistemler RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V913 Oph'un Yörünge Dönemi Değişimlerinde Olası Üçüncü Cisim Etkisi", XVI. Ulusal Astronomi Toplantısı, 08-12 Eylül 2008, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Editörler: O. Demircan, A. Erdem, F. Soydugan, V. Bakış, L. Özçağ ve B. Ulaş, s.142-157 (2008)

c) Katıldığı Projeler: -

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, Araştırma Görevlisi, 2009

İLETİŞİM

E-posta Adresi: cpuskullu@comu.edu.tr