

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MANYETİK ÖZELLİKLİ KİMYASAL-TUHAF İKİ YILDIZIN
(HD 171586 VE HD 170973) UYDU (CoRoT) VERİLERİYLE
FOTOMETRİK ANALİZİ**

Ergün ÖZGÜR

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2020**

Her hakkı saklıdır

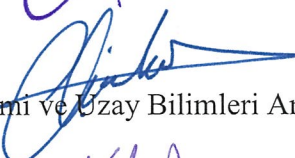
TEZ ONAYI

Ergün ÖZGÜR tarafından hazırlanan “Manyetik Özellikli Kimyasal-Tuhaf İki Yıldızın (HD 171586 ve HD 170973) Uydu (CoRoT) Verileriyle Fotometrik Analizi” adlı tez çalışması 03/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Kutluay YÜCE 
Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Sıtkı Çağdaş İNAM 
Başkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç. Dr. Birol GÜROL 
Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Kutluay YÜCE 
Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

03/01/2020


Ergün ÖZGÜR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MANYETİK ÖZELLİKLİ KİMYASAL-TUHAF İKİ YILDIZIN (HD 171586 ve HD 170973) UYDU (CoRoT) VERİLERİYLE FOTOMETRİK ANALİZİ

Ergün ÖZGÜR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kutluay YÜCE

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, manyetik özellikli kimyasal sıra dışı (mCP) HD 171586 ve HD 170973 yıldızlarının uydu gözlem verilerine dayalı fotometrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan gözlem verileri CoRoT (COnvection, ROtation and planetary Transits; Baglin vd. 2006) uzay teleskobu ile, 2008 ve 2012 yıllarında yapılan gözlemlere dayanmaktadır. HD 171586 yıldızına ilişkin gözlemler, bu yıldızın 68 periyodu kadarlık, HD 170973 yıldızına ait gözlemler ise 4 periyotluk bir süreyi kapsamaktadır. Periyot analizlerinde Period04 (Lenz ve Breger 2005) ve Lomb-Scargle (Lomb 1976; Scargle 1982) programları kullanılmıştır.

Dönem analizi ve yüzey leke analizi için gözlem veri sayısının fazla olması nedeniyle normal noktalar oluşturulmuş ve bu sayede daha az bilgisayar zamanı kullanılarak çözümlere ulaşılmıştır. İşlemlerin doğruluğu normal noktaların oluşturulmasında kullanılan zaman çözünürlüğü değiştirilerek test edilmiştir. Bu indirgeme, kişisel bilgisayar kapasitelerinin sınırlılığı açısından tercih edilmiş ve yüzey leke analizleri bu veriler ile gerçekleştirilmiştir.

İncelenen manyetik özellikli A tayf türüne sahip kimyasal sıra dışı iki yıldızın oldukça duyarlı, kesintisiz, uzun zaman aralığını kapsayan gözlemsel verilerinden tespit edilen fotometrik ışık değişimleri değerlendirilerek, Dorren (Dorren 1987) ve Macula (Kipping 2012) programları ile yüzey leke analizi yapılmıştır. HD 171586 ve HD 170973 yıldızları için, en az üç sıcak lekeye uyumlu yüzey haritalı modelin uygun olduğu anlaşılmıştır.

Ocak 2020, 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: mCP, kimyasal sıradışı yıldız, yıldız lekesi, manyetik yıldız, dorren, macula

ABSTRACT

Master Thesis

PHOTOMETRIC ANALYSIS OF TWO MAGNETIC CHEMICALLY-PECULIAR STARS (HD 171586 and HD 170973) USING THE DATA OBTAINED BY SATELLITE CoRoT

Ergün ÖZGÜR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Astronomy and Space Sciences Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kutluay YÜCE

A photometric analysis of two magnetic chemically peculiar (mCP) stars HD 171586 and HD 170973 was carried out based on satellite-telescope observation data. The data used were obtained in 2008 and 2012, respectively, during observations made by the space observatory CoRoT (CONvection, ROTation and planetary Transits; Baglin vd. 2006). HD 171586 observations covered a time interval of 68 periods of the star and HD 170973 observations covered a time interval of 4 periods of the star. Period analyses were carried out using the programs Period04 (Lenz ve Breger 2005) and Lomb-Scargle (Lomb 1976; Scargle 1982).

The number of observation points were found to be too many in calculations for the surface spot analysis, so the time resolutions between a adjacent points were changed in order to facilitate shorter computational time of analysis suitable for PC-calculations. The adequacy of the procedure was confirmed by calculating the rotational periods by using the lower- and higher- resolution points.

The high-resolution, continuous and long-exposure observation data for the two type A, magnetic and chemically peculiar stars were employed in Dorren (Dorren 1987) and Macula (Kipping 2012) programs for surface spot analyses. HD 171586 ve HD 170973 have both been shown to comply with a four surface-spot stellar model.

January 2020, 87 pages

Key Words: mCP, chemically peculiar star, starspot, magnetic star, dorren, macula

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, uzay teleskoplarıyla gözlenmiş manyetik özellikli kimyasal sıra dışı yıldızlar üzerinde araştırma ve çalışma imkânı sağlayan, bilgileriyle gelişimime katkı sağlayan ve her zaman destek olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Kutluay YÜCE'ye teşekkür ederim. Dorren kodunu tavsiye eden Araş. Gör. Dr. Doğuş ÖZUYAR'a ve Python programı üzerine bilgi paylaşımında bulunan Araş. Gör. Engin BAHAR'a teşekkür ederim. Yapıcı katkıları için sayın Doç. Dr. Birol GÜROL ve sayın Prof. Dr. Sıtkı Çağdaş İNAM'a teşekkür ederim

Eğitim hayatım boyunca bana sürekli destek olan aileme, özellikle annem Siti ÖZGÜR ve babam Eşref ÖZGÜR'e teşekkürü bir borç bilirim. Hayatımın her anında olduğu gibi özellikle uzun bir aradan sonra tekrar lisansüstü eğitimine başlamamda bana cesaret veren, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada beni motive eden sevgili eşim Bedriye AÇAR ÖZGÜR'e sonsuz teşekkür ederim. Yoğun tez çalışmam sürecinde yeterince zaman ayıramadığım canım kızım Neval ÖZGÜR'e sevgilerimi sunarım.

Bu çalışmada SIMBAD veritabanı (Strasbourg, Fransa) kullanılmıştır.

Ergün ÖZGÜR
Ankara, Ocak 2020

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Manyetik Kimyasal Sıra dışı Yıldızlar (mCP)	4
2.2 HD 171586 Yıldızı	8
2.3 HD 170973 Yıldızı	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1 Yıldız Seçimi	15
3.2 Gözlemsel Uydu Verilerinin Temini: CoRoT	15
3.3 Period Analizi	19
3.4 Leke Modellemesi	19
3.4.1 Dorren ve Macula programlarının Python arayüzüne uyarlanması	25
3.4.2 Sentetik ışık eğrisi üretiminin test edilmesi	27
4 ARAŞTIRMA BULGULARI	38
4.1 Period04 programı ile dönme döneminin belirlenmesi	42
4.2 Lomb Scargle ile periyod analizi	47
4.3 Dorren ve Macula Programları Kullanılarak Leke Modellemesi	48
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	68
KAYNAKLAR	70
EK 1 HD 171586 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit	77
EK 2 HD 170973 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit	82
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER DİZİNİ

B_s	Ortalama yüzey manyetik alanı
B_l	Boylamsal manyetik alan
G	Gauss
kG	Kilo Gauss
nm	Nanometre
HR diyagramı	Hertzsprung Russell diyagramı
HR	Henry Draper kataloğu
V	Anakol yıldızı ışınım sınıfı
K	Kelvin
T_e	Etkin sıcaklık
g	Yüzey çekim ivmesi
P	Yıldızın dönme periyodu (gün)
$v \sin i$	Dönme hızı
i	yıldız dönme ekseninin gözlemci bakış doğrultusuyla yaptığı açı
μ	Doğrusal kenar kararma katsayısı
$c_{1,2,3,4}$	Dört parametreleri kenar kararma katsayıları
λ	Lekenin boylamı
β	Lekenin enlemi
γ	Lekenin açısal çapı
κ	kontrast, leke akısının yıldız akısına oranı
χ^2	Gözlemsel ve teorik verilerin fark-kare toplamı
S/N	Sinyal gürültü oranı
HIP	Hipparcos Kataloğu
α	Sağ açıklık
δ	Dik açıklık
l	Galaktik enlem

b	Galaktik boylam
$M_{\odot}$	Güneş'in kütlesi, 1.99×10^{33} gr
$R_{\odot}$	Güneş'in yarıçapı, 6.96×10^5 km
$\text{\AA}$	Angström

Kısaltmalar:

LCM	Light Curve Modeling
LCI	Light Curve Inversion
LM	Levenberg-Marquardt

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 A2-A4 tayf türünden yıldızların ekvatoryal dönme hız dağılımı (Abt ve Morrell 1995).....	6
Şekil 2.2 HD 171586 yıldızının $JD(U_{\max}) = 2441460.79 + 2.1436E$ ışık elemanlarına göre evrelendirilmiş Johnson UBV band ışık eğrisi (Winzer 1974a).....	10
Şekil 2.3 HD 170973 yıldızının FCAPT verilerinden elde edilen, evrelendirilmiş Strömgren u ve b bandı ışık eğrisi (Adelman, 2008).....	13
Şekil 2.4 Gaia gözlemsel HR Diyagramı (www.esa.int/ESA_Multimedia/Images).....	14
Şekil 2.5 Hipparcos kataloğundaki 78713 yıldızın Gaia verilerinden elde edilen HR diagramı kesiti. ‘x’ simgesi ile gösterilen HD 170973, ‘•’ ile gösterilen ise HD 171586 yıldızdır. Bilinen 74 mCP yıldızı, bu diagramda “+” ile gösterilmiştir.....	14
Şekil 3.1 CoRoT uzay teleskobunun yaz ve kış döngüsü (Baglin vd. 2016).....	18
Şekil 3.2 Dorren kodu kullanılarak üretilen üç leke etkisinin dahil olduğu teorik ışık eğrisi. Kırmızı renkli çizgi üç lekenin toplam etkisini göstermektedir.	23
Şekil 3.3 HD 49310 yıldızının Paunzen vd. (2015a)’in önerdiği parametreler kullanılarak Dorren (üst panel) ve Macula (alt panel) kodlarıyla üretilen teorik ve gözlemsel ışık eğrisi.	25
Şekil 3.4 Dorren kodu kullanılarak üretilen tek leke kabulü altında teorik yıldız ışık eğrisi modeli.	27
Şekil 3.5 Tek leke kabulü altında teorik yıldızın sentetik çözüm (üst panel), Dorren (orta panel) ve Macula (alt panel) yardımıyla oluşturulan iki boyutlu yüzey haritaları.	29
Şekil 3.6 Tek leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) kodları kullanılarak tek lekeli teorik yıldız modelimiz için elde edilen yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıkların evreye göre değişimi.	30
Şekil 3.7 Macula kodu kullanılarak iki leke kabulü altında kuramsal ışık eğrisi.	31
Şekil 3.8 İki leke kabulü altında teorik yıldızın sentetik çözüm (üst panel), Dorren (orta panel) ve Macula (alt panel) yardımıyla oluşturulan iki boyutlu yüzey haritaları.	32

Şekil 3.9 İki leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) kodları kullanılarak iki lekeli teorik yıldız modelimiz için elde edilen yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıkların evreye göre değişimi.....	33
Şekil 3.10 Macula kodu kullanılarak üç leke kabulü altında teorik yıldız ışık eğri.....	34
Şekil 3.11 Üç leke kabulü altında yıldızın sentetik çözüm (üst panel), Dorren (orta panel) ve Macula (alt panel) yardımıyla oluşturulan iki boyutlu yüzey haritaları.....	36
Şekil 3.12 Üç leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) kodları kullanılarak teorik yıldız modelimiz için elde edilen yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıkların evreye göre değişimi.....	37
Şekil 4.1 HD 171586 (üst panel) ve HD 170973 (alt panel) yıldızlarının CoRoT uzay teleskobuyla elde edilen gözlemsel ışık eğrileri.....	40
Şekil 4.2 HD 171586 (68 periyottan bir kesit, üst panel) ve HD 170973 (alt panel) yıldızlarının normalize ışık eğrileri.....	41
Şekil 4.3 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının normal noktalar üzerinden f1-f4 frekanslarına ait periyodogramları.....	43
Şekil 4.4 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının normal noktalar üzerinden Period04 ışık eğri fitleri.....	44
Şekil 4.5 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının gözlemsel verinin tamamı üzerinden f1-f4 frekanslarına ait periyodogramları.....	45
Şekil 4.6 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının gözlemsel verinin tamamı üzerinden Period04 ışık eğri fitleri.....	46
Şekil 4.7 Lomb-Scargle programı kullanılarak HD 171586 (üst panel) ve HD 170973 (alt panel) yıldızlarının periyot-güç grafiği (sol) ve evrelendirilmiş ışık eğrisi (sağ).....	47
Şekil 4.8 HD 49310 yıldızının Paunzen vd. (2015a, üst), Dorren (orta) ve Macula (alt) programlarından elde edilen yüzey haritası.....	49
Şekil 4.9 Dorren programı kullanılarak HD 49310 yıldızı için elde edilen yüzey haritası (üst), ışık eğrisi (orta) ve artıklar (alt panel)	50
Şekil 4.10 Macula programı kullanılarak HD 49310 yıldızı için elde edilen yüzey haritası (üst), ışık eğrisi (orta) ve artıklar (alt panel).....	51

Şekil 4.11 HD 171586 yıldızının tek leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	54
Şekil 4.12 HD 171586 yıldızının iki leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	55
Şekil 4.13 HD 171586 yıldızının üç leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	57
Şekil 4.14 HD 171586 yıldızının dört leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	58
Şekil 4.15. HD 170973 yıldızının tek leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	60
Şekil 4.16 HD 170973 yıldızının iki leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	61
Şekil 4.17 HD 170973 yıldızının üç leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi.....	62
Şekil 4.18 HD 170973 yıldızının dört leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi ($i = 30$).....	64
Şekil 4.19 HD 170973 yıldızının dört leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi ($i = 60$).....	65
Şekil 4.20 HD 171586 için Dorren çözümünden elde edilen dört farklı evredeki üç boyutlu konfigürasyonu.....	66
Şekil 4.21 HD 170973 için Macula çözümünden elde edilen dört farklı evredeki üç boyutlu konfigürasyonu.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Kimyasal sıra dışı yıldızların sınıflama çizelgesi (Preston 1974).....	5
Çizelge 2.2 HD 171586'nın Strömgren $uvby\beta$ Fotometrik Sistemi'ndeki gözlemsel ölçümleri (kadir biriminde).....	9
Çizelge 2.3 HD 170973 Strömgren $uvby\beta$ Fotometrik Sistemi'ndeki gözlemsel ölçümleri (kadir biriminde).....	11
Çizelge 3.1 CoRoT gözlem programları (Baglin vd. 2016).....	17
Çizelge 3.2 CoRoT uydu verilerinin fits dosyası veri içeriği.....	18
Çizelge 3.3 Dorren kodu girdi parametre seti (Dorren 1987).....	21
Çizelge 3.4 Macula kodunun girdi parametre seti (Kipping 2012).....	22
Çizelge 3.5 HD 49310 yıldızının dört lekeli çözüme ilişkin parametreler (Paunzen vd. 2015a).....	24
Çizelge 3.6 Tek leke kabulü altında test yıldızının çözüm parametreleri.....	28
Çizelge 3.7 İki leke için test yıldızının çözüm parametreleri.....	31
Çizelge 3.8 Üç leke için test yıldızının çözüm parametreleri.....	35
Çizelge 4.1 HD 170973'in CoRoT fotometrik verisine ait başlık bilgisi.....	38
Çizelge 4.2 HD 171586'in CoRoT fotometrik verisine ait başlık bilgisi.....	39
Çizelge 4.3 Period04 programı ile normal noktalar üzerinden frekans analiz sonuçları..	42
Çizelge 4.4 Period04 programı ile gözlemsel verinin tamamı üzerinden frekans analiz sonuçları.....	44
Çizelge 4.6 HD 49310 yıldızının Dorren ve Macula programından elde edilen leke leke parametreleri.....	48
Çizelge 4.7 HD 171586 yıldızının tek leke varsayımı ile elde edilen çözüm çözüm parametreleri.....	54
Çizelge 4.8 HD 171586 yıldızının iki leke kabulü altında elde edilen çözüm parametreleri.....	55
Çizelge 4.9 HD 171586 yıldızının üç leke kabulü altında elde edilen çözüm parametreleri.....	56
Çizelge 4.10 HD 171586 yıldızının dört leke kabulü altında elde edilen çözüm parametreleri.....	56
Çizelge 4.11 HD 170973 yıldızının tek leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri.....	60

Çizelge 4.12 HD 170973 yıldızının iki leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri.....	61
Çizelge 4.13 HD 170973 yıldızının üç leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri.....	63
Çizelge 4.14 HD 170973 yıldızının dört leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri.....	63



1. GİRİŞ

Yıldızları sınıflandırma yollarından biri, nitel ve nicel atmosfer analizleri sonuçlarına göre, yani kimyasal özelliklerine göre sınıflandırmaktır. Görünür bölge tayflarında, daha yaygın bilinen ‘normal’ yıldızlarınkinden farklı olarak, sahip oldukları fiziksel parametrelerinden beklenenin dışında kimyasal yapı içeriği sebebi ile; “kimyasal sıra dışı yıldızlar, (chemically peculiar)” olarak tanımlanan yıldız tiplerinin varlığı, yıldız astrofiziğinin ilgi alanı içerisinde yer almaktadır. Geç B - erken F tayf türü aralığındaki yıldızların bir kısmını teşkil eden “kimyasal sıra dışı yıldızlar”, bu tayf türünden normal yıldızlara nazaran bazı olağan dışı özellikler arz etmektedir. Bu yıldızların özelliklerinin ve gelişim safhalarının açıklanması bağlamında mevcut teoriler şimdilik her şeyi açıklamaktan uzaktır. Çünkü bu gruba dâhil yıldızların, ortak nitelikleri bulunduğu gibi her birinin kendisine has özellikleri de vardır. Bu sebeple bu tipten mümkün mertebe çok sayıda yıldızın incelenmesi, ortak özelliklerinin tespiti ve evrimlerinin tahmini, astrofizik alanına hatırı sayılır katkı sağlar. Hertzsprung-Russell (HR) diyagramında, manyetik özellik sergilemeyen HgMn (civa-mangan) ve *Am* (metal çizgili) tipi yıldızların bulunduğu bölgede, “manyetik özellikli kimyasal sıra dışı (mCP)” şeklinde isimlendirilen bir yıldız tipi de mevcuttur (Yüce 2015).

Manyetik özellikli kimyasal sıra dışı (mCP) yıldızların çoğu tayfsal, fotometrik ve manyetik değişkenlikler gösterir. Bu yıldızların görünür bölge tayflarında Sr, Cr, Eu, ve Si elementlerinin tayf çizgileri, sıra dışı bir görünüm sergilemektedir. Üst ve orta anakol yıldızları olarak da bilinen bu yıldız tipleri, tayflarında beklenenin dışında anormal kimyasal element bolluklarıyla ve farklı enerji dağılımlarıyla karakterize edilirler. mCP yıldızları, normal yıldızların aksine görünür ve moröte bölgeye ait tayflarda, birçok genişlemiş çizgi profil özelliklerine sahiptir. Bu grubun görünür bölgedeki en baskın özelliği $\lambda 5200\text{\AA}$ çizgisinin merkez bölgesidir. Prof. Dr. Saul J. Adelman’nın ‘spektrofotometrik çalışmaları’ bu özelliklerin mCP yıldızları için optik bölge belirteçleri olduğunu göstermektedir (Yüce 2015).

Auriere vd. (2007) yıldızlara özgü geliştirilmiş ‘magnetometre’ kullanarak mCP yıldızlarında en az 300 Gauss şiddetinde manyetik alanlar tespit etti. Bu yıldızlarda

görülen bölgesel kuvvetli manyetik alanlar, homojen olmayan yüzey element dağılımına neden olmaktadır (örn. Netopil vd. 2017).

Kimyasal sıra dışı yıldızların yüksek çözünürlüklü tayfsal verileri kullanılarak, Doppler görüntüleme tekniğinin (Deutsch 1970) geliştirilmesiyle birlikte yıldız atmosferleri haritalandırılmaktadır. Bu teknik sayesinde, mCP'lerin yüzey element dağılımlarının homojen olmadığı anlaşılmıştır (örn. Kochukhov ve Wade 2010, Silvester vd. 2014, Kochukhov 2017). Ancak söz konusu bu teknik, yüksek çözünürlüklü tayflar veren spektroskoplar gerektirir ve aletsel kabiliyete bağlı olarak, belli bir hız aralığında dönen yıldızlar için idealdir. Bu türden kaliteli tayfsal verileri elde etmek ve daha sonra bunları ayrıntılı bir araştırma için analiz etmek zaman alıcı bir süreçtir (Paunzen vd. 2015a).

Kimyasal sıra dışı (tuhaf, peküler) yıldızların (CP) fotometrik değişkenlikleri özellikle son 30 yılda Yer tabanlı gözlemsel verilere dayalı olarak ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir (örn. Adelman vd. 1992, North ve Adelman 1995, Adelman 2004). Birçok mCP tipi yıldız (CP2/CP4: Preston 1974 sınıflaması), dönmeye bağlı değişimlerin bir sonucu olarak fotometrik değişkenlik göstermektedir. Güneş benzeri yıldızlarda gözlenen bu değişkenlik, yıldız içyapısındaki dinamo hareketinin bir sonucu olarak oluşan lekelerin yarattığı aktiviteden kaynaklanırken; mCP tipi yıldızlarda gözlenen fotometrik değişkenliklerin fiziksel doğası, lekeli bölgelerin diğer bölgelere göre farklı donukluk kaynaklarına sahip olmaları ile doğrudan ilintilidir (Krtićka vd. 2012).

Yıldızın yüzeyinde lekeli bölgelerin varlığı, dönme hareketi nedeniyle periyodik olarak gözlemlenen fotometrik değişkenliğe sebep olur. Dönme modülasyonunun analizi, yıldızın bazı temel özelliğın belirlenmesine izin verir. Bunlardan en erişilebilir olanı, frekans analizi yardımıyla rahatlıkla tespit edilebilen 'dönme periyodu' parametresidir (Kipping 2012).

Fotometrik çalışmalar, uydu ile elde edilmiş verilerin dahil edilmesi ile birlikte yıldız astrofiziğı açısından daha da önemli hale gelmiştir. Uzay teleskopları, oldukça duyarlı, kesintisiz, uzun zaman aralığını kapsayan fotometrik veriler ürettiğinden, yıldızların dönme periyodunun belirlenmesi süreçlerinde önemli gereçlerdir. mCP yıldızları için

de uydu verilerine dayalı (örn. CoRoT, Kepler, Gaia) incelenmeler başlamıştır (örn. Lüftinger vd. 2010, Paunzen vd. 2015a, Hummerich vd. 2018).

Bu yüksek lisans tez çalışması, mCP tipi HD 170973 ve HD 171586 yıldızları için, CoRoT (CONvection, ROTation and planetary Transits; Baglin vd. 2006) uzay teleskobundan temin edilen gözlemsel fotometrik veriler yardımıyla, dönme periyodlarının belirlenmesi ve yüzey lekelerinin modellenmesi araştırmalarını içermektedir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Manyetik Kimyasal Sıra dışı Yıldızlar (mCP)

1900'lü yılların başlarında astronomlar yıldız tayflarını kullanarak belirli çizgi özelliklerine göre onları sınıflandırırken, bazı yıldızların tayflarında “normal” bilinen yıldızlardan farklı olarak, sıra dışı bir şekilde güçlü veya zayıf çizgilerin varlığını tespit ettiler (Lockyer ve Baxandall 1906; α And, θ Aur, α CVn ve ϵ Uma). Amie Jump Cannon (1863-1941) ve Antonia Maury (1866-1952) tarafından Henry Draper kataloğu hazırlandığında bu farklılıklar dikkate alınarak bu yıldız tipi, “p; peculiar (sıra dışı)” olarak simgelenendirildi (Morgan 1931).

Kimyasal sıra dışı yıldızlar, geç B - erken F tayf türü ve $1.5M_{\odot}$ - $7M_{\odot}$ kütle aralığında (Netopil vd. 2017) yer alan, tayflarında bir ya da birden fazla elementin sıra dışı bolluklarıyla karakterize edilen yıldızlardır. Aynı zamanda bu yıldız tipleri, 0.1 kadire varan maksimum ışık değişim genlikleri gösteren fotometrik değişken yıldızlardır (Adelman ve Woodrow 2007).

Kimyasal sıra dışı yıldızlar ilk kez Morgan (1933) tarafından, sıra dışılık sebebi sayılan etkin uyarılma düzeylerine göre sınıflandırılarak beş gruba ayrıldı: Mangan (B8-A0), $\lambda 4200$ (B9-A0), Europium (B9-F0), Krom (A0-F0) ve Stronsiyum (A2-F0). Morgan, bu yıldızları böyle sınıflamakla birlikte, tuhaflığın sebebi ile ilgili bir öneri sunmadı. Babcock (1947) kimyasal sıra dışı A (A_p) tipi yıldız olan 78 Virginis'de manyetik alan bulunduğunu gözlemsel olarak tespit etti. Daha sonraki yıllarda Babcock (1958), Zeeman yarılması yöntemini kullanarak hemen hemen tüm A_p (peküliyer A) yıldızlarının, yüzeylerinde manyetik alanlara sahip olduğunu gösterdi ve bu alanların periyodik olarak değiştiğini öne sürdü (Preston 1971).

Preston (1974), CP tipi yıldızları tayfsal yolla sınıflandırarak dört gruba ayırdı (Çizelge 2.1). Preston tarafından yapılan sınıflandırmada, tayflarında belirgin metal çizgileri bulunan Am/Fm yıldızları CP1, kayda değer manyetik özellik gösteren ve tayflarında Silisyum (Si), Stronsiyum (Sr), Krom (Cr) ve Evropiyum (Eu) elementlerine ait tayf çizgilerinin bulunduğu Ap/Bp yıldızları CP2, tayflarında şiddetli Civa (Hg) ve

Mangan (Mn) çizgileri olanları (HgMn yıldızları) CP3, zayıf şiddette Helyum çizgileri olanları ise CP4 şeklinde kodladı.

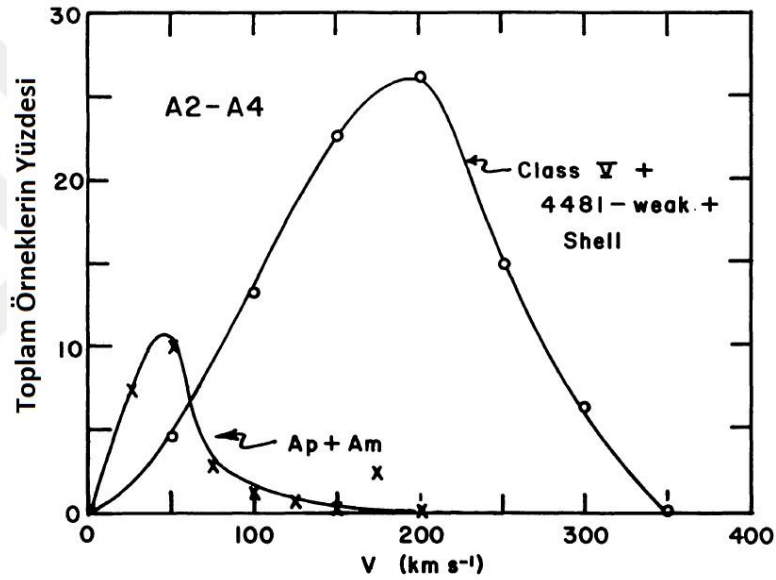
Çizelge 2.1 Kimyasal sıra dışı yıldızların sınıflama çizelgesi (Preston 1974)

CP Grup	Tip ismi	Keşif Kriteri	Dönme	Çift Sistem olma Sıklığı	Çift Sistem Dönemi	Sıcaklık
1	Metalik çizgili (Am)	Zayıf CaII ve/veya ScII şiddetli ağır metaller	yavaş	yüksek	anormal	7000-10000 K
2	Manyetik Ap	Şiddetli Si, Cr, Sr, Eu vd.	yavaş	düşük	anormal	8000-15000 K
3	HgMn	Şiddetli HgII 13984, MnII	çok yavaş	normal?	anormal?	10000-15000 K
4	Helyumca zayıf	$Q(Sp) > Q(UBV)$	yavaş ?	?	?	13000-20000 K?

“Manyetik özellikli sıra dışı yıldız” kavramı, ilk başlarda etkin sıcaklıkları 8000 K ile 15000 K aralığına düşen, HR diyagramında anakol üzerinde bulunan ve tayflarında Mn, Si, Sr, Cr, Eu gibi kuvvetli çizgiler ile karakterize edilmiş sıra dışı yıldızlar (Ap), olarak tanımlandı (Preston 1971). Preston (1974)’un sınıflandırmasından sonra manyetik özellik gösteren “silikon” ve “soğuk Ap” yıldızlarının dahil olduğu CP2 ve “helyum değişenleri” nin dahil olduğu CP4 grubu yıldızlar sıklıkla manyetik CP (mCP) yıldızlar olarak anıldı (örn.; Adelman ve Fried 1993). Kurtz (2000), kimyasal sıra dışı yıldızları, manyetik özellik gösteren ve manyetik özellikli olmayan şeklinde iki gruba ayırdı.

Bu yıldızlarda (mCP) gözlenen değişimler, homojen olmayan yüzey element dağılımına sahip yıldızların dönme hareketlerinin gözlemsel sonuçları olarak kabul edilmektedir (Pyper ve Adelman 2004). Babcock (1949) tarafından önerilen ve Stibbs (1950) ve Deutsch (1958) tarafından geliştirilen, manyetik alan ekseninin büyük ölçüde dönme eksenini ile eğimli olduğu “eğik dönücü” (rigid oblique-rotator) model bu değişimi açıklamada kullanılabilir (Pyper 1969). Bu modelde, manyetik alanın yerel olarak sabit olduğu kabul edilmektedir (Adelman 1992). Manyetik kutup, yıldızın dönme ekseninin kutbu ile çakışık olmadığından gözlenen manyetik alan şiddeti, yıldızın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu değişir. Manyetik kutup bölgelerinde kimyasal farklılaşmadan kaynaklı aynı şekilde fotometrik ve tayfsal değişim de görülebilir. Modelde, yıldızın yüzeyinde, dönme eksenine göre simetrik olmayan leke bölgelerinin bulunması, element bolluklarının homojen olmadığına yorulmakta ve bunun sebebi olarak, yerel manyetik

alanın düzgün olmayışı gösterilmekte, ancak, 100 yıllık bir zaman ölçeğinde ortalama manyetik alanın sabit olduğu kabul edilmektedir. Manyetik alan, ışık değişimi, radyal hız ve tayf çizgi şiddetleri yıldızın dönme periyoduna eşit bir süre ile değişmektedir, çünkü yıldız döndükçe lekenin bakış doğrultusundaki konumu gözlemciye göre değişecektir. Eğik dönme modeline göre; A_p yıldızları normal A tipi yıldızlarla karşılaştırıldığında nispeten yavaş dönen yıldızlardır. A_p yıldızlarında gözlemlenen dönme hızları ($v_e \sin i$), normal yıldızlarınkine nispeten düşük değerleri ile tutarlı olmuştur (Netopil vd. 2017, Zorec ve Royer 2012). Bu durum, Abt ve Morrell'in (1995) çalışmalarında açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 A2-A4 tayf türünden yıldızların ekvatoryal dönme hız dağılımı. Sağdaki geniş dağılım, 242 ‘normal’ Anakol yıldızı ve 31 zayıf şiddetli $\lambda 4481$ çizgili yıldızın dağılımını; solda ise difüzyon sebebiyle sıra dışı kimyasal bolluklara sahip 38 $A_p + A_m$ yıldızının dağılımını içermektedir (Abt ve Morrell 1995)

mCP yıldızlarda genel kabul, büyük ölçekli dipol (çift kutuplu) manyetik alanların fotosfer boyunca değişken bir yapıya sahip olması ve atmosferlerinin, hidrodinamik süreçler aracılığıyla element bolluk dağılımlarında bölgesel farklılıklar meydana getirmesidir (Pyper ve Adelman 2004).

mCP tipi yıldızların yüzey atmosferlerindeki element bolluk farklılıkları ile ilgili çeşitli teoriler geliştirilmiştir. George Michaud (1970)'un önerdiği ve Vauclair vd. (1978)

tarafından geliştirilen ‘difüzyon teorisi’ literatürde öne çıkmaktadır. Buna göre radyal difüzyon süreçleri, kimyasal farklılaşmanın en muhtemel nedeni olarak düşünülmektedir. Difüzyon süreçleri, yıldız atmosferlerindeki bolluk anormallikleri için, genel kabul gören bir açıklamadır. Radyal doğrultudaki basınç ve bölgesel gravitasyon arasındaki denge; bir elementin yüeydeki bolluğunun artmasına veya azalmasına yol açar. Eğer karşı koyan hidrodinamik süreçler yok ise veya etkin değilse, atomik difüzyon gözlenenden daha büyük bolluk anomalileri üretebilir. Yüzeyde türbülans varsa veya yıldızda kütle kaybı meydana geliyorsa bahsi geçen elementlerin bolluk miktarlarında azalma beklenebilir (Yüce 2015).

Farklı elementlerin farklı difüzyon hızları vardır. Bu sebeple bazı elementler yüzeyde aşırı miktarda olabilirken; bazıları az olabilir. Bir yıldız atmosferinin farklı derinliklerinde farklı elementlerin az veya çok olması, o elemente ait tayf çizgisinin şiddetli veya zayıf olmasına yol açar. Çünkü atmosferde bol olan elementlere ait atomlar, yüzeyden o elementin yaydığı ışımaları soğuracaktır. Bu husus, yıldız yüzeyinde farklı parlaklık bölgelerinin oluşumuna sebep olur. Bu süreçler yerel manyetik alan şiddetine ve alanın dönme eksenine yaptığı açıya ve yıldızın Sıfır Yaş Anakol’da olduğu zamandan bu yana element bolluğu ile manyetik alanın evrimine bağlıdır (Michaud ve Proffitt 1993).

mCP tipi yıldızlar birkaç yüz Gauss’dan birkaç bin Gauss şiddetine varan bölgesel manyetik alanların varlığı ile diğer kimyasal sıra dışı yıldızlardan ayrılırlar (Auriere vd. 2007, Kochukhov 2011). Auriere vd. (2007), ‘Zeeman tekniği’ni kullanarak incelediği 28 tane *Ap/Bp* yıldızının neredeyse tamamının, ölçülebilir manyetik alana sahip olduğunu göstermiştir.

Yıldızlardaki manyetik alanın, iki kökenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Güneş benzeri soğuk yıldızların manyetik alanları, radyatif bölge ile konvektif bölge arasındaki diferansiyel dönme ve konvektif çevrimin birlikte etkisi ile üretilmekte ve ‘Dinamo Teorisi’ olarak bilinmektedir. mCP yıldızları, konvektif bir çekirdek ve dışta radyatif bir katmandan oluşur. Konvektif çekirdekte işleyen dinamo teorisi, manyetik alan çizgilerinin yönelimlerini açıklasa da bu yıldızların anakol ömrü boyunca ($t = 10^7$ - 10^9 yıl) konvektif çekirdeği çevreleyen ışımsal zarf aracılığıyla manyetik alanın dışa nüfuz edememesi söz konusudur (Glagolevskij 2017). Bununla beraber Glagolevskij,

çalışmasında, kimyasal yapı içeriğine göre SrCrEu tipi yıldızlardaki konvektif çekirdeğin küçüldüğüne dikkat çekmiştir.

Manyetik alanın kökeni için başka bir olasılık, yıldızın oluştuğu bulutsularda bulunan galaktik manyetik alandır (Cowling 1945, Spitzer 1968 ve Mestel 1967). Gravitasyonel çöküş sürecinde, bir yıldız oluşum bulutunun manyetik alanı korunur ve gaz bulutunun çökmesi ile birlikte alan da şiddetlenir. Manyetik alan çizgileri sıklaşır ve yıldız oluşana kadar bu sıklaşma devam eder. Böylece manyetik özellikli bir yıldız oluşur. mCP yıldızları gibi bazı yıldızlarda ‘neden manyetik alanların bulunduğunu’ açıklayan bu teori, “fosil alan teorisi” olarak da adlandırılmaktadır.

2.1 HD 171586 Yıldızı

HD 171586 yıldızının (FR Ser, CoRoT 8158, BD+04 3801, HIP 91142) Henry Draper (Cannon ve Pickering, 1918–1924) kataloğunda 6.72 kadir fotografik parlaklığa sahip olduğu ve tayf türünün A0 ile kodlandığı kaydedilmiştir.

HD 171586’nin Gaia uydu verileri ile güncellenmiş 2015.5 yılı ekvatorial koordinatları; $\alpha = 18^{\text{sa}} 35^{\text{dk}} 36^{\text{s}}.52$, $\delta = +04^{\text{sa}} 56^{\text{dk}} 09^{\text{s}}.123$ ve galaktik koordinatları, $l = 35^{\circ}.537$, $b = +05^{\circ}.764$ dir.

Yıldızın görsel parlaklığını (m_v), Warren (1973) $6^{\text{m}}.44$, Abt (1985) $6^{\text{m}}.5$ ve Catalano (1998) $6^{\text{m}}.46$ olarak tespit etmiştir. Gomez vd. (1998), Hipparcos uydu verilerinden HD 171586’nın uzaklık değerini $r=103$ parsek, görünen mutlak parlaklığını ise $M_v = 1.1$ kadir olarak belirlemiştir.

Yıldızın literatürde yer alan Strömgren dar-band fotometrik sistemdeki parametreleri çizelge 2.2’de sunulmaktadır.

Adams vd. (1935), HD 171586 yıldızının tayfında güçlü Sr II $\lambda 4077$ ve $\lambda 4215$ çizgilerini tespit etmiştir. Babcock (1958) ise yıldızın güçlü Sr ve Cr tayf çizgilerine sahip olduğunu teyit ederek, $\lambda 4215$ tayf çizgisinde bir değişim belirlemiş ve tayf türünü A2p olarak sınıflandırmıştır. Daha sonra Bertaud ve Floquet (1967), yıldız tayflarında Sr III $\lambda 4078$ ve $\lambda 4215$ ile CrII $\lambda 4171$ ve $\lambda 4111$ tayf çizgilerinin şiddetli olduğunu rapor etmiştir. Yazarlar yıldızın tipik Sr tipi bir yıldız olduğunu belirtmiştir. Yıldız, Abt (1985)

tarafından A1Vp (Sr-Cr-Si) ve Gray ve Corbally (2002) tarafından A0 Vp (Sr-Eu-Cr) olarak sınıflandırılmıştır. Abt (2004)'ın yaptığı çalışmaya göre yıldız, güçlü Si çizgileri ve zayıf Mg çizgilerine sahip ve A0V (Sr-Si) tayf türü ile uyumludur.

Çizelge 2.2 HD 171586'nın Strömgren $uvby\beta$ Fotometrik Sistemi'ndeki gözlemsel ölçümleri (kadir biriminde)

b-y	c ₁	m ₁	H _{β}	Kaynaklar
0.033	1.02	0.194		Warren 1973
0.027	0.996	0.216	2.891	Cameron 1966
0.029	1.005	0.207	2.891	Hauck vd. 1997
0.030	1.008	0.205	2.891	Paunzen 2015b

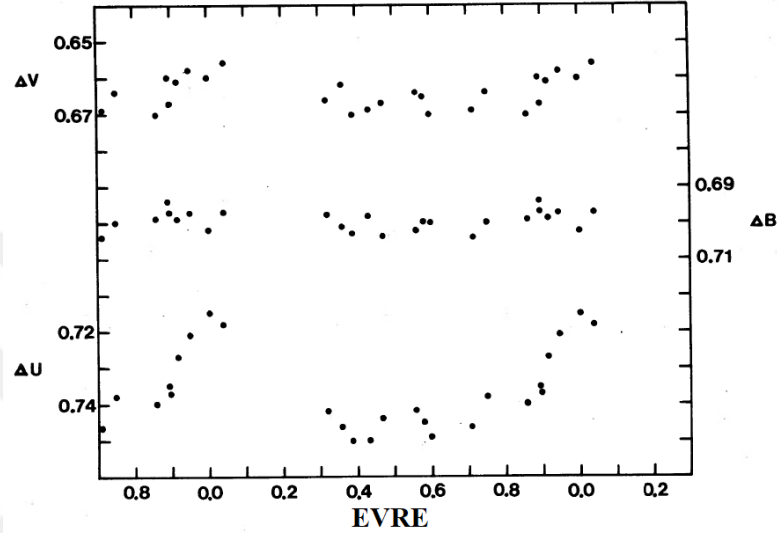
Yıldızın etkin sıcaklığı, Floquet (1981) tarafından Ca II çizgilerinden 9500 ± 150 K, Glagolevskij (1994) tarafından ise çoklu renk fotometrik çalışmasından 9300 K olarak belirlenmiştir. Kochukhov ve Bagnulo (2006) etkin sıcaklığı Geneva fotometrik sisteminin kalibrasyonunu kullanarak (Golay 1972) 9268 ± 294 K olarak belirlemiştir. Glagolevskij (2019) tarafından manyetik yıldızlar için oluşturulan katalogda HD 171586 yıldızı için etkin sıcaklık, fotometrik olarak 8650 K, sıcaklık-parlaklık bağıntısından hareketle yarıçap $2.22 R_{\odot}$, yüzey çekim ivmesi ($\log g$) 4 dex ve kütlesi $2.13 M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir. Gebran vd. 2016 tarafından yıldızın etkin sıcaklığı 8600 K, yüzey çekim ivmesi 3.7 dex, dönme hızı ($v \sin i$) 50 km/s ve demir bolluğu $[Fe/H] = -0.1$ dex olarak verilmiştir.

HD 171586 yıldızının manyetik alanı Babcock (1958) tarafından (740 ± 157) Gauss olarak tespit edilmiştir. Glagolevskij (2007) tarafından yıldızın ortalama yüzey manyetik alanı $B_s = 1.6$ kG ve ortalama etkin manyetik alanı $B_e = 285$ G olarak belirlenmiştir. Auriere (2007), yıldızın dönme hızını ($v \sin i$) 37 km/s, boylamsal manyetik alan şiddetini $B_t = -375 \pm 56$ Gauss olarak tespit etmiştir. Ayrıca, Winzer (1974a) tarafından verilen periyod değerini (2.1436 gün) kullanarak eğim açısını $i = 48 \pm 19^\circ$ olarak belirlemiştir.

Winzer (1974a), Johnson UBV bandlarında gerçekleştirdiği gözlemlerden yıldızın ilk ışık eğrisini literatüre kazandırmıştır (Şekil 2.2). Işık elemanları aşağıdaki gibidir:

$$JD (U_{\max}) = 2441460.79 + 2.1436 E.$$

Winzer, ışık eğrisinin U bandında 0.03 kadir genlikte bir ışık değişimi olduğunu belirlemiş ve olası bir ikincil maksimum olduğunu belirtmiştir. 0.005 kadir genlikli B bandında ise kayda değer herhangi bir değişim tespit edememiştir. Adelman (1998), Hipparcos fotometrisi verilerinden yıldızın ışık değişim genliğini, Winzer (1974a) ile uyumlu olarak 0.03 kadir bulmuştur.



Şekil 2.2 HD 171586 yıldızının $JD(U_{\max}) = 2441460.79 + 2.1436E$ ışık elemanlarına göre evrelendirilmiş Johnson UB band ışık eğrisi (Winzer 1974a)

2.3 HD 170973 Yıldızı

HD 170973 (MV Ser, HR 6958, HIP 90858, HR 6958, CoRoT 8081), Henry Draper (Cannon ve Pickering, 1918–1924) kataloğunda 6.32 kadir fotoğrafik parlaklığında ve tayf türü B9 olarak kaydedilmiştir.

HD 170973 yıldızının Gaia uydu verilerinden elde edilen 2015.5 yılı için ekvatorial koordinatları; $\alpha = 18^{\text{sa}} 32^{\text{dk}} 06^{\text{sn}}.89$, $\delta = +03^{\text{sa}} 39^{\text{dk}} 34^{\text{sn}}.63$ ve galaktik koordinatları $l = 033^{\circ}.997$, $b = +05^{\circ}.964$ dir.

Yıldızın m_v görsel parlaklığını Eggen (1955) $6^{\text{m}}.43$, Slettebak ve Nassau (1959) $6^{\text{m}}.34$ ve Catalano (1998) $6^{\text{m}}.43$ olarak vermiştir. HD 170973 yıldızının Güneş'ten olan uzaklığı Hipparcos verilerine göre $r = 3.29 \pm 0.39$ pc (van Leeuwen, 2007) dir. Glagolevskij (2019) ise görünen mutlak parlaklık değerini $M_v = -1.2$ kadir olarak belirtmiştir.

Edwards (1930), yıldızı A2 tayf türünde kabul etmiş, Slettebak ve Nassau (1959) ise A0p (Si-Sr-Cr) tayf türünden kimyasal sıra dışı bir yıldız olduğunu belirlemiştir. Bertaud ve Floquet (1967), 60 Å/mm çözünürlüğüne sahip tayfsal gözlemlerden yıldızın tayf türünü A0p (Si-Sr-Cr) olarak belirlemiştir. Cowley vd. (1969), yıldızın tayfında güçlü Cr I λ 4012 çizgisini tespit etmiş ve yıldızın tayf türünü A0p (Si-Cr) olarak kaydetmiştir. Abt ve Morrell (1995), zayıf Ca ve Mg tayf çizgilerini belirlemiş ve tayf türünü A0Vp (Si-Sr-Eu) olarak bildirdi ve ayrıca yıldızın $v \sin i$ değerinin 10 kms^{-1} olarak vermiştir.

Crawford (1963) yıldızın E(B-V) ve E(U-B) renk artışı değerlerini, sırasıyla, $-0^m.06$ ve $-0^m.24$ olarak vermiştir. Yıldızın literatürde Strömgren dar-band fotometrisine ait bilgiler çizelge 2.3’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.3 HD 170973 Strömgren $uvby\beta$ Fotometrik Sistemi’ndeki gözlemsel ölçümleri (kadir biriminde)

b-y	c_1	m_1	H_β	Kaynak
-0.052	0.816	0.201	2.784	Cameron 1966
-0.021	0.809	0.172	2.769	Crawford vd. 1973
-0.024	0.805	0.177		Grønbech ve Olsen 1976
-0.025	0.812	0.181		Heck ve Manfroid 1980
-0.023	0.809	0.176	2.764	Hauck vd. 1997
-0.031	0.811	0.183	2.77	Paunzen 2015b

Floquet (1981), Ca II çizgisinden yıldızın etkin sıcaklığını 9700 K olarak belirlemiştir. Adelman ve Rayle (2000), spektrofotometrik gözlemlerden HD 170973 yıldızının etkin sıcaklığı için (10750 ± 200) K değerini önermiştir.

Bohlender vd. (1993), Western Ontario Üniversitesi (Kanada) gözlemevinin 1.2 metre çaplı teleskobu ve Pockels hücre polarimetre yöntemi ile yaptığı gözlemler ile yıldızın boylamsal manyetik alanını $B_\ell = (590 \pm 320)$ Gauss olarak hesaplamıştır. Aynı araştırmacılar tarafından, yıldızın boylamsal manyetik alan değerinin -650 ile 870 Gauss aralığında değiştiği gösterildi. Glagolevskij (2019), HD 170973 yıldızının yüzey manyetik alanını $B_s = 100$ Gauss olarak hesapladı.

HD 170973 yıldızının dönme hızı ($v \sin i$) değeri; Uesugi ve Fukuda (1980), Mathys (1995), Abt ve Morrell (1995) ve Ghazaryan vd. (2018) tarafından, sırasıyla, 20, 11.9, 10 ve 4 km/s olarak belirlenmiştir.

Gebran vd. (2016), yıldızın etkin sıcaklığını 10529 K, yüzey çekim ivmesini ($\log g$) 3.83 dex, dönme hızını 18 km/s ve demir bolluğunu $[\text{Fe}/\text{H}]$ 0.74 dex olarak tespit etmiştir. Glagolevskij (2019)'in manyetik yıldızlar için oluşturduğu katalogda HD 170973 yıldızı için etkin sıcaklık 10730 K, yarıçap $3.27 R_{\odot}$, yüzey çekim ivmesi ($\log g$) 3.82 dex ve kütle $2.64 M_{\odot}$ olarak listelenmiştir.

Winzer (1974b), yıldızın 0.9451 gün periyotlu fotometrik bir değişim gösterdiğini tespit etmiştir. Burke ve Barr (1981), yıldızın dönme periyodunu Winzer'in (1974b) bulduğu değere çok yakın (0.945099 ± 0.00008 gün) hesapladı. Johnson U bandındaki ışık değişim genliğini $0^{\text{m}}.025$ olarak belirledi.

Adelman (1997), yıldızın tayfındaki keskin tayf çizgilerini incelediğinde Winzer (1974b) ve Burke & Barr (1981) tarafından tespit edilen periyot ile tutarsız periyot değerleri buldu. Bunun üzerine yıldızı FCAPT (Four College Automated Photoelectric Telescope, Arizona) Strömgren *uvby* fotometrisi gözlem programına dahil ederek programın ilk beş gözlem sezonunda toplam 379 adet *u* bandı verisi elde etti. Verilerin analizi sonucu periyodun 18.072 gün olduğunu belirledi. Winzer (1974b) ile Burke & Barr (1981)'in Johnson U bandı verilerini de kullanarak elde ettiği ışık elemanları;

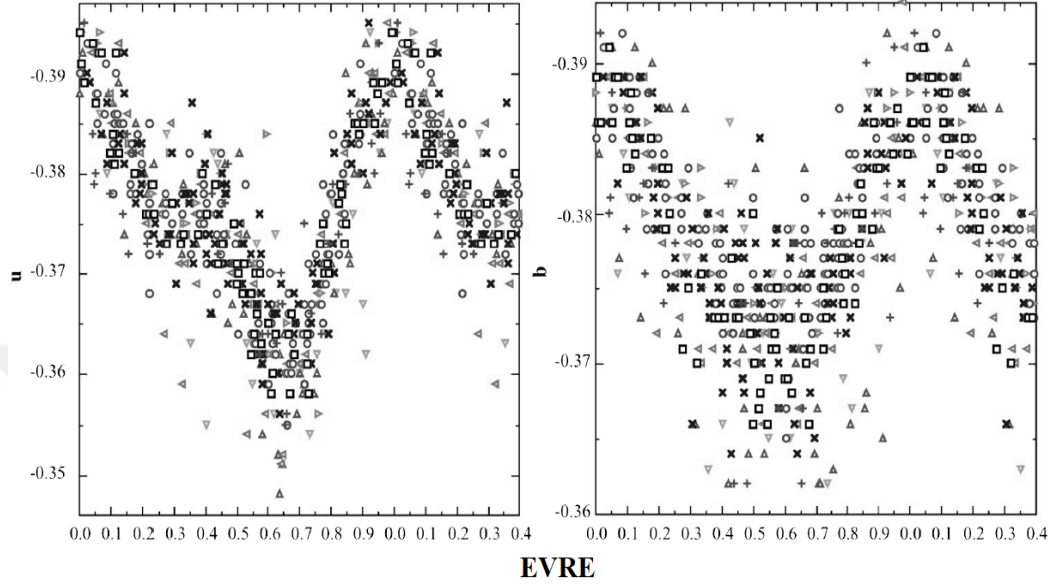
$$\text{HJD} (u_{\text{max}}) = 2441459.136 (\pm 0.007) + 18.065 (\pm 0.001) \text{ E}$$

dir. Adelman (1997), özellikle Strömgren *u* bandındaki ışık eğrisinin hem maksimum hem de minimumlarında asimetric şekilde değiştiğini belirtmiştir. Işık değişim genlikleri *u*, *v*, *b* ve *y* bandları için, sırasıyla; $0^{\text{m}}.03$; $0^{\text{m}}.02$; $0^{\text{m}}.02$ ve $0^{\text{m}}.015$ dir.

Adelman (2008), 2003-2004 gözlem sezonunda 68, 2005-06'da 58 ve 2006-07'de 37 yeni FCAPT *uvby* gözlem noktaları elde etti. FCAPT gözlemsel *u* band verilerinin tamamı kullandığında, yıldızın dönme periyodunu 18.0642 gün olarak tespit etti. Böylece yıldızın ışık elemanlarını,

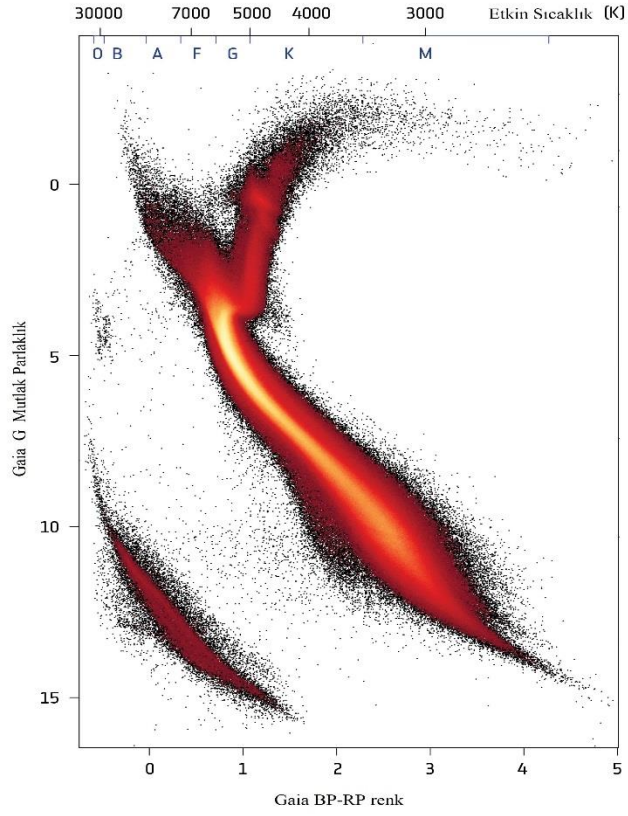
$$\text{HJD} (u_{\text{max}}) = 2441459.136 (\pm 0.007) + 18.0642 (\pm 0.0005) \text{ E}$$

Olarak güncelledi. Adelman (2008) tarafından elde edilen ışık elemanları ile evrelendirilmiş u ve b bandı gözlemsel verilerin ışık eğrileri şekil 2.3’de verilmiştir.

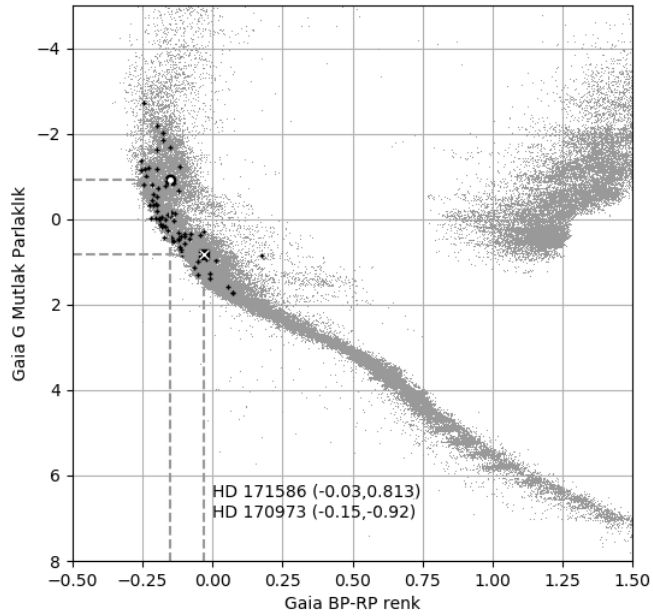


Şekil 2.3 HD 170973 yıldızının FCAPT verilerinden elde edilen, evrelendirilmiş Strömgren u ve b bandı ışık eğrisi (Adelman 2008)

Gaia gözlemsel Hertzsprung-Russell diyagramı şekil 2.4’de görülmektedir. HD 170973 ve HD 171586 yıldızlarının ve diğer mCP tipi yıldızların Gaia gözlemsel verilerinden elde edilen Hertzsprung-Russell diagramındaki konumlarını gösteren bir kesit şekil 2.5’de verilmiştir. Hipparcos uydusunun mirası olarak adledilen Gaia uzay teleskop gözlemlerine dayalı bu diyagram, 78713 adet Hipparcos yıldızından oluşturulmuştur. Yıldızların Gaia gözlemlerine dayalı paralaks değerleri kullanılarak bulunan mutlak parlaklık değerleri ile arşivde her bir yıldız için listelenen kızarma katsayısından yararlanılarak Gaia BP-RP renklerinden elde edilmiştir.



Şekil 2.4 Gaia gözlemsel HR Diyagramı (www.esa.int/ESA_Multimedia/Images)



Şekil 2.5 Hipparcos kataloğundaki 78713 yıldızın Gaia verilerinden elde edilen HR diagramı kesiti. ‘x’ simgesi ile gösterilen HD 170973, ‘•’ ile gösterilen ise HD 171586 yıldızıdır. Bilinen 74 mCP yıldızı, bu diğramda “+” ile gösterilmiştir

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Yıldız Seçimi

Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenmek üzere seçilecek yıldızlar için Renson ve Manfroid (2009) kataloğundan yararlanılmıştır. Toplamda 8205 adet kimyasal sıra dışı yıldız içeren katalogda 3652 yıldız, *Ap* yıldızıdır. Preston (1974)'a göre, *Ap* yıldızlarının çoğu manyetik özellikli CP yıldızlarıdır.

Uydu ile elde edilen fotometrik gözlem verilerinin kesintisiz ve uzun zaman aralığını kapsamasından ötürü, gözlemsel veri olarak uzay teleskop verileri tercih edilmiştir. Bu amaçla, Renson ve Manfroid kataloğundaki mCP tipi yıldızların erişime açık olan Kepler, Gaia ve CoRoT uzay teleskoplarının görüş alanına düşen yıldızlar olup olmadığı tek tek tarandı. Bu tarama işlemi, her üç uydu arşivinin kendine has ID numaraları olması nedeniyle her bir yıldız için olası ID numaraları, SIMBAD veri tabanından temin edilerek yapılmıştır.

- Gaia ışık eğrisi arşivinde sadece bir adet mCP yıldızına ait veri bulunmaktadır ve o yıldızın gözlemsel veri setinde nokta sayısının az ve ışık eğrisinin tamamını kapsamıyor olması sebebiyle, söz konusu yıldız incelemeye alınmamıştır.
- Kepler arşivinde 3 mCP yıldızının gözlemsel verileri vardır; fakat bu yıldızlar literatürde çalışılmıştır.
- CoRoT arşivindeki mevcut 7 mCP yıldızın 3 tanesinin literatürde çalışılmış olduğu, iki yıldızın verilerinde de saçılmanın fazla olduğu tespit edilmiştir. Böylece bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, gözlemsel fotometrik verileri temin edilebilir ve literatürde verileri çalışılmamış iki (2) mCP yıldızına ait CoRoT arşivi tercih edilmiştir: HD 170973 ve HD 171586.

3.2 Gözlemsel Uydu Verilerinin Temini: CoRoT

27 Aralık 2006 tarihinde başarılı bir şekilde yörüngeye oturtulan CoRoT (CONvection, ROTation and planetary Transits; Baglin vd. 2006) teleskobu Avusturya, Belçika, Brezilya, ESA, Almanya ve İspanya'nın katkılarıyla CNES (Centre National d'Etudes

Spatiales - Ulusal Uzay Çalışmaları Merkezi) tarafından geliştirilerek, kullanıma sunulmuştur. 27 cm çaplı birincil aynaya sahip teleskobun odak uzaklığı 1100 mm dir. Uydu düzleminin eğimi, $90^{\circ}.002$ olan kutupsal yörüngededir. Uydu yörüngesinin enöte ve enberi noktalarının mesafeleri, sırasıyla, 911 ve 888 km ve yörünge periyodu 6184 saniyedir (103.067 dakika) (Auvergne vd., 2009). CoRoT verilerinin fotometrik band aralığı 370 - 950 nm ve ortalama zaman çözünürlüğü astrosismoloji gözlemleri için 32 saniye, ötegezegen gözlemleri için 512 saniyedir.

CoRoT, esasen ötegezegenlerin transit geçiş yöntemine dayalı keşiflere katkı sağlamak amacıyla tasarlanmış orta büyüklükte bir teleskoptur. Uydunun ikinci görevi ise duyarlı zaman serisi fotometrik veriler elde ederek yıldızların içyapısının astrosismoloji açısından incelenmesine katkı sağlamaktır.

CoRoT uydusu, gözlem programına 31.01.2007 tarihinde başlamış, 2.10.2012 tarihinde bu görevi sonlandırmıştır. Toplamda 26 gözlem programına ayrılmıştır. Her bir gözlem programının başlangıç tarihi ile gözlem süresi çizelge 3.1’de verilmiştir. HD 171586 yıldızı ‘LRc02’ gözlem programında yer almakta iken; HD 170973 yıldızı 'LRc05' gözlem programındadır.

CoRoT uzay teleskobu iki farklı gözlem kanalına sahiptir (Baglin vd. 2006):

AN2_STAR dosyaları: Astrosismoloji kanalı olarak adlandırılan parlak yıldız kanalından elde edilen ışık eğrileridir.

EN2_STAR dosyaları: Ötegezegen (exoplanet) kanalı olarak adlandırılan sönük yıldız kanalından elde edilen ışık eğrileridir.

CoRoT uzay teleskobunun parlak yıldız kanalı ile yapılan gözlemlerde aşağıdaki yıldız tiplerine gözlemsel öncelik tanınmıştır (Baglin vd. 2016):

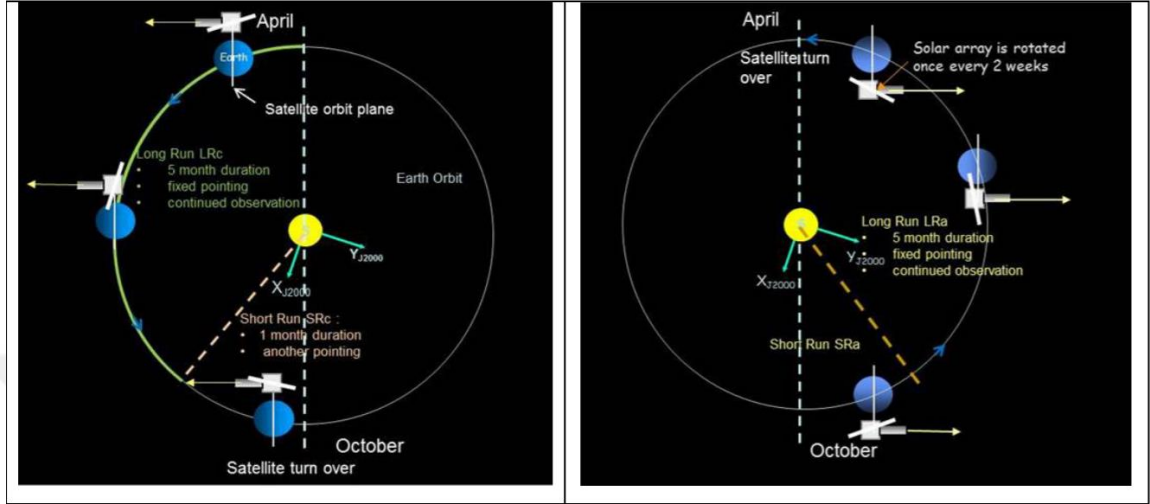
- Güneş benzeri yıldızlar;
- A ve erken F yıldızları daha ayrıntılı bir şekilde incelemek için δ Scuti ve γ Dor değişkenleri;
- Sıra dışı (peküler) yıldızlar;
- Nadir cisimler.

CoRoT uzay teleskobunun sönük yıldız kanalı ile yapılan gözlemlerde ise bilimsel öncelik ötegezegenleri tespit etmektir. Genel olarak 10 - 16 kadir parlaklık aralığındaki V, IV ve III ışınım sınıfına ait yıldızların gözlemi esas alınmıştır.

Çizelge 3.1 CoRoT gözlem programları (Baglin vd. 2016)

No	Program	Başlangıç Tarihi	Süre (gün)
1	IRa01	31.01.2007 11:06	60.84
2	SRc01	11.04.2007 15:07	27.67
3	LRc01	11.05.2007 13:10	156.73
4	LRa01	18.10.2007 08:57	137.04
5	SRa01	05.03.2008 22:34	25.38
6	LRc02	11.04.2008 20:55	148.13
7	SRc02	09.09.2008 23:03	26.32
8	SRa02	08.10.2008 22:44	34.41
9	LRa02	13.11.2008 22:49	117.49
10	LRc03	01.04.2009 20:49	91.29
11	LRc04	04.07.2009 02:58	87.30
12	LRa03	01.10.2009 20:57	150.49
13	SRa03	02.03.2010 21:17	26.45
14	LRc05	06.04.2010 21:13	89.35
15	LRc06	07.07.2010 01:30	79.28
16	LRa04	28.09.2010 00:14	79.20
17	LRa05	17.12.2010 19:26	94.51
18	LRc07	06.04.2011 15:57	83.14
19	SRc03	01.07.2011 18:30	3.46
20	LRc08	06.07.2011 14:59	85.64
21	SRa04	04.10.2011 19:06	54.51
22	SRa05	29.11.2011 18:14	40.74
23	LRa06	10.01.2012 18:24	78.69
24	LRc09	10.04.2012 20:47	85.34
25	LRc10	06.07.2012 14:22	86.71
26	LRa07	02.10.2012 19:59	31.01

CoRoT gözlem programı boyunca teleskop, Nisan'dan Eylül ayına kadar olan “yaz dönemi” (Şekil 3.1, sol panel), Ekim'den Mart ayına kadar ise “kış dönemi” (Şekil 3.1, sağ panel) olarak gözlem yönünü değiştirmektedir.



Şekil 3.1 CoRoT uzay teleskobunun yaz ve kış döngüsü (Baglin vd. 2016)

HD 171586 ve HD 170973 yıldızlarının gözlemsel CoRoT uydu verileri “fits” formatında olup, “IAS CoRoT Public Archive (<http://idoc-corot.ias.u-psud.fr/>)” veri tabanından 2018 yılında temin edilmiştir. HD 170973 ve HD 171586 yıldızları için parlak yıldız kanalında mevcut olan veriler incelenmiştir. Veri tabanından temin edilen, fotometrik verilerin bulunduğu dosyaların içeriği çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 CoRoT uydu verilerinin fits dosyası veri içeriği

No.	Veri İsmi	Açıklama
0	PRIMARY	Fits dosyasının başlık bilgileri
1	RAW	Bazı arka plan düzeltmelerinin ve uydunun titreşiminin düzeltilmesi bulunduğu zaman ölçeğinin karasal zaman ölçeği olan ham veriler.
2	BAR	Ham veriler üzerinde maske değişimi, sıcaklık ayar noktasının değişimi ve uzun vadeli verim kaybı nedeniyle akıdaki farklılıkların düzeltilmesi.
3	BARREG	Inpainting yöntemini (Pires vd. 2015) kullanarak geçersiz ve eksik verilerin düzeltilmesi. Eksik veriler interpolasyon yöntemi ile eklenmiştir.

Bu çalışmada her iki yıldız için, aletsel etkilerden kısmen arındırılmış ‘BARREG’ verileri kullanılmıştır. Bu veriler zaman verisi, akı değerleri ve standart sapmalardan oluşur.

Zaman verisi ‘DATEBARREGTT’ şeklinde isimlendirilmiş ve Güneş merkezli referans çerçevesini temel alan Jülyen günü biriminde kaydedilmiştir. Yıldızdan uyduya ulaşan akı değerlerinin yer aldığı dosyalar ‘FLUXBARREG’ şeklinde isimlendirilmiş ve saniyedeki elektron sayısı cinsinden ifade edilmiştir. Akı ölçümünün standart sapması da saniyede elektron sayısı biriminde olup ‘FLUXDEVBARREG’ olarak adlandırılmıştır.

3.3 Period Analizi

Period analizi için iki ayrı bilgisayar programından yararlanılmıştır:

- i) Lomb-Scargle (Lomb 1976; Scargle 1982)
- ii) Period04 (Lenz ve Breger 2005)

Lomb - Scargle periodogramı (Lomb 1976; Scargle 1982) düzensiz örneklenmiş zaman serilerinde periyodikliği saptamak ve karakterize etmek için kullanılan bir paket programdır. Fourier benzeri bir algoritma ile rastgele örneklenmiş verilerden verimli bir şekilde frekans hesaplanmasını sağlayan bir yöntem sunar.

Period04, büyük astronomik zaman serisi içeren veri setlerinin istatistiksel analizini gerçekleştiren bir bilgisayar programıdır. Program, bireysel frekansları zaman serisinin çoklu periyodik içeriğinden çıkarmak için araçlar sunar. Zaman serisindeki boşlukları da dikkate alarak çoklu frekans uyarlamalarını gerçekleştirmek için esnek bir arayüz sağlamaktadır.

3.4 Leke Modellemesi

Yıldızlardaki fotosferik lekelerin yol açtığı etkilerin modellenmesinde iki temel yöntem karşımıza çıkar. İlki, analitik hesaplama tekniğine dayanan “Işık eğrisi modelleme” (Light Curve Modeling- LCM) yöntemidir (örn.; Budding 1977, Dorren 1987, Eker 1994, Kipping 2012). Bu yöntem ile lekenin oluşturduğu etkiyi modelleyen teorik ve gözlemsel ışık eğrisi verileri karşılaştırılarak aralarında uyum aranır. İkinci yöntem ise “Tersinden ışık eğrisi analizi” (Light Curve Inversion - LCI) adı verilen nümerik yöntemdir. Bu yöntem ile yıldız yüzeyi pikselleştirilmiş sayısal ızgaralara ayrılarak bir görüntüsü oluşturulup her bir ızgara için lekenin katkısının da dahil olduğu akıların hesaplanması üzerine kurgulanmıştır (örn.; Collier Cameron 1997, Lanza vd. 2010, Boisse vd. 2012, Oshagh vd. 2013).

LCI yönteminde yıldız yüzeyinin pikselleştirilmesi ve modelin kurgulanması yüksek hesaplama gücü gerektirmekle birlikte, modern bilgisayarların geliştirilmesi ile bu yöntem kullanılabilir hale gelmiştir. Özellikle bu yöntem, tam tutulma gösteren çift yıldız sistemlerindeki lekeli bölgelerin konumlarının belirlenmesinde başarılı olmuştur (örn. Özavcı vd. 2018). Ne var ki bu yöntem, leke konumlarının tek yıldızlarda aynı kesinlikte belirlenmesine imkân tanımamaktadır. Analitik yönteme dayalı LCM tekniği, lekenin tam konumunu aynı şekilde belirlemekle birlikte, hesaplama hızı bakımından LCI tekniğinden üstündür ve yıldızların fotometrik incelemesinde önemli bir yere sahiptir (Montalto vd. 2014).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen yıldızların leke modellemelerinde, sırasıyla, J. D. Dorren (1987) ve D. M. Kipping (2012) tarafından geliştirilen “Dorren” ve ‘Macula (1.4 versiyonu)’ Fortran kodları kullanılmıştır. Her iki bilgisayar programı, kullanıcı tarafından yüklenen girdi parametrelerine göre sentetik ışık eğrileri üretmektedir.

Dorren (1987) yönteminde kullanılan parametreler; yıldızın periyodu P , dönme ekseninin gözlemci bakış doğrultusuyla yaptığı açı i , doğrusal kenar kararma katsayısı μ , lekenin enlemi β , lekenin boylamı λ , lekenin açısız yarıçapı γ , leke ile onu çevreleyen fotosfer arasındaki akı oranı κ ile tanımlanmaktadır. κ , parlak (sıcak) leke için 1’den büyük bir değer alırken; soğuk (gri) leke için 1’in altında değer alır.

Macula yönteminde doğrusal kenar kararma katsayısı yerine dört parametrelili doğrusal olmayan kenar kararma katsayıları (c_1, c_2, c_3, c_4) kullanılmaktadır. Ayrıca leke göçünün modellenenebilmesine imkân tanıyan diferansiyel dönme katsayıları ile lekenin oluşma ve kaybolma zamanına ilişkin parametreler de yer almaktadır.

Dorren kodu sadece tek leke için çözüm üretmekte ve eşitlik (1)’deki doğrusal kenar kararma yasasını kullanmaktadır.

$$I'_*(\lambda) = I_*(\lambda)(1 - \mu_* + \mu_* \cos \theta), \quad I'_s(\lambda) = I_s(\lambda)(1 - \mu_s + \mu_s \cos \theta) \quad (1)$$

Burada, θ yıldız veya leke yüzeyi normalinin gözlemci ile yaptığı açı, $I'_*(\lambda)$ ve $I'_s(\lambda)$ yıldız ve lekenin dalgaboyuna bağlı olarak kenar kararma etkisini de içeren akı, μ_* ve μ_s ise sırasıyla yıldız ve leke için kenar kararma katsayısıdır.

Çizelge 3.3 Dorren kodu girdi parametre seti (Dorren 1987)

DORREN configuration file		
0.200	<TSTART>	Starting JD
1.20	<TSTOP>	Stopping JD
0.02	<STEP>	Time step
1.000	<PROT>	Period of rotation
60.0	<YNC>	Stellar inclination
0.4	<BSTAR>	Star limb darkening
15.0	<ALPHA>	Spot radius (degrees)
60.0	<CHI>	Latitude of spot center (degrees)
180.0	<PSI0>	Longitude of spot center (degrees)
0.6	<FSPOT>	Ratio of flux from spot/star
0.4	<BSPOT>	Spot limb darkening

Dorren ile yapılan leke çözümlerinde, girdi parametrelerinin tanımlandığı dosya içeriği çizelge 3.3'deki gibi metin dosyası şeklindedir. Program, metin dosyasındaki parametre değerlerini kullanarak teorik ışık eğrisi üretmektedir.

Macula kodu, istenilen leke sayısı kadar çözüm üretmekte ve dört parametrelilik kenar karar yasasını kullanmaktadır:

$$I'_*(r) = 1 - \sum_{n=1}^4 c_n (1 - \mu^{n/2}), \mu = \cos \theta \quad (2)$$

Burada θ , yıldız yüzeyinin normalinin gözlemci ile yaptığı açıdır. $\cos \theta = \sqrt{1 - r^2}$, $0 \ll r \ll 1$, yıldız diskinin normalize edilmiş radyal koordinatlarıdır (Kipping 2012). Eşitlik 2'deki $I'_*(r)$, kenar karar etkisini içeren akıyı, c_n , ($n = 1, 2, 3, 4$) ise sırasıyla dört parametrelilik kenar karar katsayılarını gösterir.

Macula yönteminde, parametrelerin tanımlandığı “maculacall.f90” ve leke modellemesinin yapıldığı “macula.f90” isimli Fortran dilinde yazılmış kod dosyaları yer almaktadır. “maculacall.f90” dosyasında parametreler kullanıcı tarafından tanımlandıktan sonra her iki kod, Fortran derleyici ile derlenir. Derlenen program, tanımlanan parametrelere göre teorik ışık eğrisi üretmektedir. Macula programında kullanılan girdi parametreler çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Macula kodunun girdi parametre seti (Kipping 2012)

```

! INPUTS:
! -----
! Theta_star(j) = Parameter vector for the star's intrinsic parameters
! -----
! Istar          = Theta_star(1)          ! Inclination of the star [rads]
! Peq            = Theta_star(2)          ! Rot'n period of the star's equator [d]
! kappa2         = Theta_star(3)          ! Quadratic differential rotation coeff
! kappa4         = Theta_star(4)          ! Quartic differential rotation coeff
! c1             = Theta_star(5)          ! 1st of four-coeff stellar LD terms
! c2             = Theta_star(6)          ! 2nd of four-coeff stellar LD terms
! c3             = Theta_star(7)          ! 3rd of four-coeff stellar LD terms
! c4             = Theta_star(8)          ! 4th of four-coeff stellar LD terms
! d1             = Theta_star(9)          ! 1st of four-coeff spot LD terms
! d2             = Theta_star(10)         ! 2nd of four-coeff spot LD terms
! d3             = Theta_star(11)         ! 3rd of four-coeff spot LD terms
! d4             = Theta_star(12)         ! 4th of four-coeff spot LD terms
! -----
! Theta_spot(j,k) = Parameters of the k^th spot
! -----
! Lambda0(k)     = Theta_spot(1,k)        ! Longitude of spot at time tref(k)
! Phi0(k)        = Theta_spot(2,k)        ! Latitude of spot at time tref(k)
! alphamax(k)    = Theta_spot(3,k)        ! Angular spot size at time tmax(k)
! fspot(k)       = Theta_spot(4,k)        ! Spot-to-star flux contrast of spot k
! tmax(k)        = Theta_spot(5,k)        ! Time at which spot k is largest
! life(k)        = Theta_spot(6,k)        ! Lifetime of spot k (FWFM) [days]
! ingress(k)     = Theta_spot(7,k)        ! Ingress duration of spot k [days]
! egress(k)      = Theta_spot(8,k)        ! Egress duration of spot k [days]
! -----
! Theta_inst(j,m) = Instrumental/nuisance parameters
! -----
! B(m)           = Theta_inst(1,m)        ! Blend factor for m^th data set
! -----
! -----
! Non-fitted input parameters
! -----
! Tstart(m)      ! Time stamp @ start of m^th data series
! Tend(m)        ! Time stamp @ end of m^th data series
! t(i)           ! Time stamp of i^th data point [days]
! ndata          ! Number of data points
! mmax           ! Number of data sets
! Nspot          ! Number of starspots (over all times)
! derivatives     ! Compute partial derivatives?
! temporal       ! Compute temporal derivatives?
! TdeltaV        ! Compute transit depth variations?
! plot           ! Produce plotting data?
! -----
! OUTPUTS:
! -----
! Fmod(i)        ! Model flux
! deltaratio(i)  ! Transit depth variations prediction
! dFmod_star(i,j) ! Partial derivs of Fmod wrt Theta_star
! dFmod_spot(i,j,k) ! Partial derivs of Fmod wrt Theta_spot
! dFmod_inst(i,j,m) ! Partial derivs of Fmod wrt Theta_inst
! dFmoddt(i)     ! Partial derivs of Fmod wrt time

```

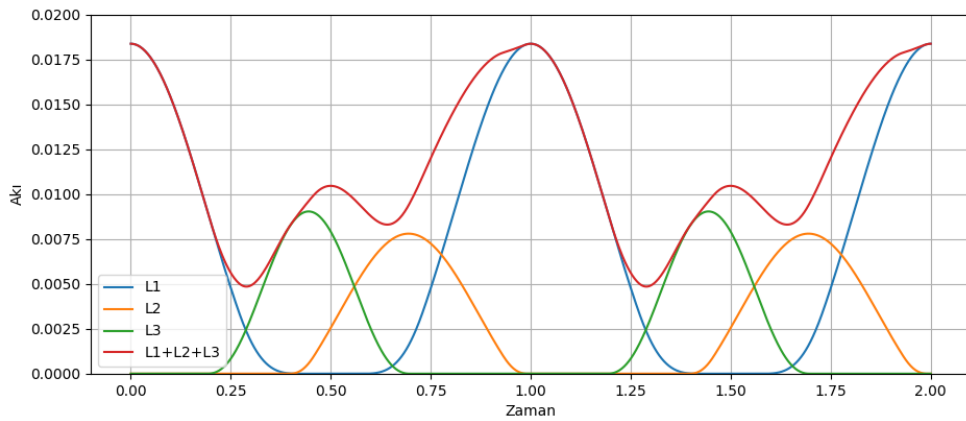
CoRoT verileri kullanılarak bazı mCP tipi yıldızların leke modellemesi, Lütfinger vd. (2010) ve Paunzen vd. (2015a) tarafından gerçekleştirilmiştir. Lütfinger leke modellemesinde, Budding (1977)'in, Paunzen vd. (2015a) ise Dorren (1987)'in yöntemini kullanmıştır.

Bu tez çalışmasında Dorren kodunun linux platformunda Fortran derleyici yardımıyla kullanılması sağlandı. Dorren; girdi parametrelerine göre tek leke modeli için teorik ışık eğrisi üretmektedir. Teorik ışık eğrilerinin grafiğini çizmek için Python programlama dili kullanıldı. İstenilen sayıda leke çözümü için Dorren kodu her leke parametresi için yeniden çalıştırıldı ve verilerin toplamı alındı. Python dili ile yazılan betik temel olarak şu şekilde çalışmaktadır:

```
ak1_1 = dorren (leke1 parametreleri)
ak1_2 = dorren (leke2 parametreleri)
ak1_3 = dorren (leke3 parametreleri)
ak1_4 = dorren (leke4 parametreleri)

Toplam ak1 = ak1_1 + ak1_2 + ak1_3 + ak1_4
```

Şekil 3.2, üç leke kabulü altında Dorren kodu ile üretilen teorik ışık eğrisini göstermektedir. Örneğin, $P=1$ gün, $i = 60^\circ$, $\kappa = 1.25$ olmak üzere birinci leke için $\lambda_1=0^\circ$, $\beta_1=40^\circ$, $\gamma_1=15^\circ$, ikinci leke için $\lambda_2=110^\circ$, $\beta_2=10^\circ$, $\gamma_2=10^\circ$, üçüncü leke için $\lambda_3=200^\circ$, $\beta_3=-40^\circ$, $\gamma_3=20^\circ$ olarak tanımlandı.



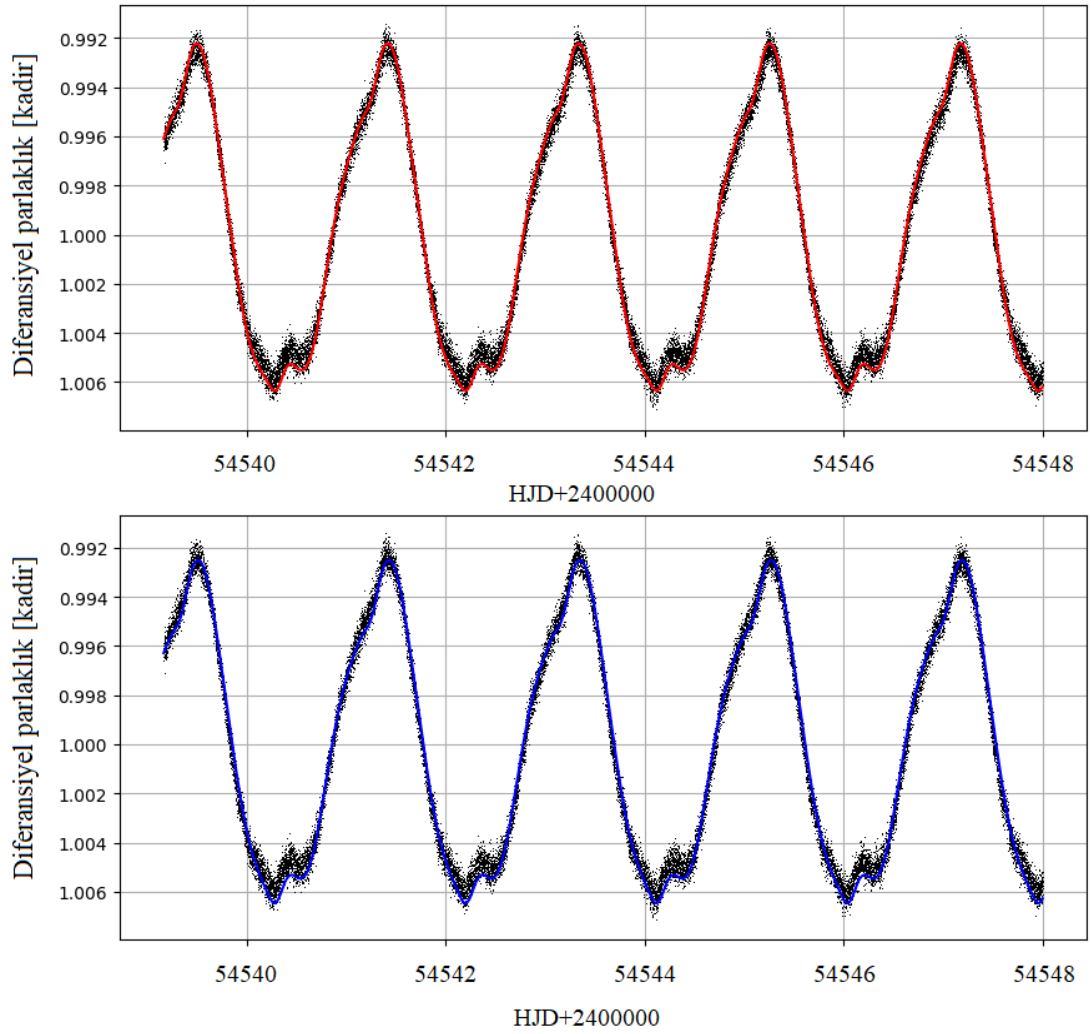
Şekil 3.2 Dorren kodu kullanılarak üretilen üç leke etkisinin dahil olduğu teorik ışık eğrisi. Kırmızı renkli çizgi üç lekenin toplam etkisini göstermektedir

Her bir işlem için komut satırında Dorren kodunu çalıştırmak gerekir. CoRoT gözlemlerinin leke çözümü üzerine literatürde çalışılmış mCP tipi HD 49310 yıldızının verileri arşivden temin edilerek dorren kodunun işleyişi öncelikli olarak bu tez çalışmasında tarafımızdan test edilmiştir. Paunzen vd. (2015a)'ın Dorren kodu ile elde ettiği leke parametreleri (çizelge 3.5) kullanılarak, çalışmada önerilen dört lekeli çözüm parametrelerinin kullanımından üretilen teorik ışık eğrisinin gözlemsel verilerle karşılaştırılması, şekil 3. 3 (üst panel)'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 HD 49310 yıldızının dört lekeli çözüme ilişkin parametreler (Paunzen vd. 2015a)

Parametreler		
Eğim açısı (°)	i	56.9 ± 0.1
Dönem (gün)	P	1.91909 ± 0.00002
Leke kontrastı	κ	1.47 ± 0.01
Birinci Leke		
Enlem (°)	λ_1	320.5 ± 0.1
Boylam (°)	β_1	64.2 ± 0.1
Yarıçap (°)	γ_1	26.4 ± 0.1
İkinci Leke		
Enlem	λ_2	132.2 ± 0.1
Boylam	β_2	64.0 ± 0.1
Yarıçap	γ_2	23.7 ± 0.1
Üçüncü Leke		
Enlem	λ_3	237.1 ± 0.1
Boylam	β_3	-0.3 ± 0.1
Yarıçap	γ_3	10.7 ± 0.1
Dördüncü Leke		
Enlem	λ_4	38.5 ± 0.1
Boylam	β_4	-47.9 ± 0.1
Yarıçap	γ_4	15.8 ± 0.1

Bu çalışmada kullanılan bir diğer leke model programı David M. Kipping (2012) tarafından geliştirilen Macula (1.4 versiyonu) dır. Kodun, bu tez çalışmasındaki işleyişi, HD 49310 yıldızı için Paunzen vd. (2015a)'ın Dorren kodundan elde ettiği değerler kullanılarak test edilmiştir. HD 49310 yıldızının Macula programı ile gerçekleştirilen analizlerden elde edilen teorik ışık eğrisinin gözlemsel verilerle olan uyumu şekil 3.3 (alt panel)'de verilmiştir.



Şekil 3.3 HD 49310 yıldızının Paunzen vd. (2015a)'in önerdiği parametreler kullanılarak Dorren (üst panel) ve Macula (alt panel) kodlarıyla üretilen teorik ve gözlemsel ışık eğrisi

3.4.1 Dorren ve Macula programlarının Python arayüzüne uyarlanması

HD 170973 ve HD 171586 yıldızlarının detaylı leke çözüm analizlerine başlamadan, gözlemsel ve kuramsal verilerin uyumunu görebilmek ve işleyişi hızlandırmak için, bu teze özgü aşağıdaki algoritmalar tarafımızdan geliştirilmiştir:

i) Python programlama dili ile bir betik yazıldı. Yazılan betik, parametreleri tanımlanmış Fortran kodlarının çalıştırılması ve çıktı verilerinin okunması işlemini yerine getirmektedir.

ii) Yıldız yüzey lekelerini oluşturan olası parametreleri belirleyebilmek için gözlemsel ışık eğrileri ile teorik ışık eğrileri arasında yeterli uyum aranması gerekir. Bu uyum için teorik ışık eğrisini oluşturan parametreleri her defasında değiştirmek gerekir. Bunun için Python'un eğri fit paketi LMFIT (Newville 2019) bir alternatif olarak düşünüldü. Ancak bu işlem için çok sayıda iterasyon gerçekleştirilmesi gerekir. Python içerisinde sürekli parametreleri değiştirerek Fortran kodlarını çalıştırmak ve sonuç verisinin gözlemsel verimiz ile uyumunu kontrol etmek uzun sürmektedir. Sorunun çözümü için Fortran kodlarının Python içerisinde modül olarak kullanılabilir hale getirilmesi gerekir. Fortran kodları derlendikten sonra Python içine bir modül halinde eklenerek kullanımı sağlanacak şekilde bir yöntem geliştirildi.

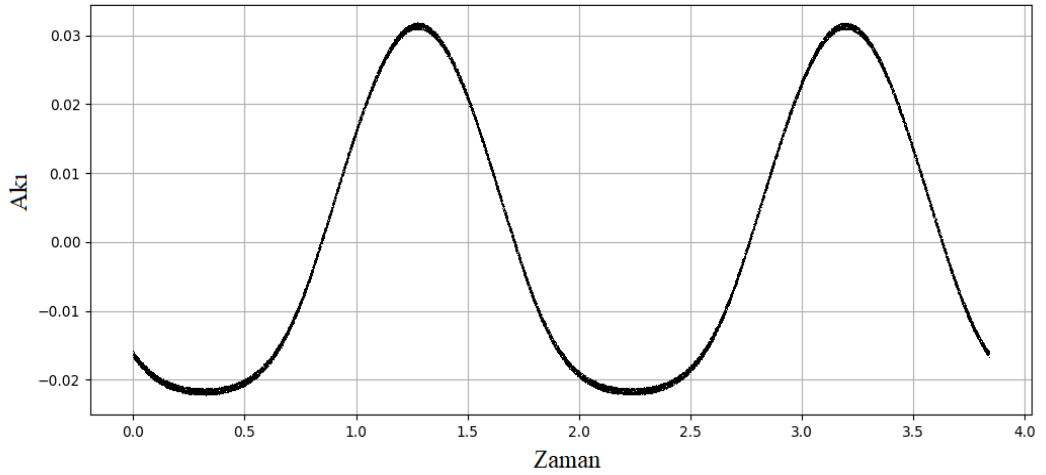
iii) Eğri fit işlemi için LMFIT paketinin en küçük kareler yöntemi olan Levenberg–Marquardt (LM) versiyonu kullanıldı. Bu metotta tanımlanan parametreler, teorik ve gözlemsel verilerin fark-kare toplamı ($\chi^2 = \sum (O - C)^2$) en küçük oluncaya kadar değiştirilir. Minimum değere ulaştıran parametre seti, sistemi tanımlayan olası parametrelerdir. Ancak bulunan minimumun parametre uzayında yerel bir minimuma karşılık gelebilme olasılığı vardır. Diğer olası minimumları da dikkate alabilmek için, LM metodunu kullanan yeni bir algoritma yazıldı. Bu algoritmanın işleyişi özetle aşağıdaki gibidir:

- Dorren ve Macula programları kullanarak teorik ışık eğrileri üreten model fonksiyonu tanımlandı.
- LMFIT ile model fonksiyonda çalıştırılmak üzere kullanılacak parametreler tanımlandı. Bu parametreler lekelerin enlem, boylam, açısız yarıçap, kontrast değeri ile yıldızın dönem ve eğim açısı bilgisini içermektedir.
- İterasyon sayısına göre yeni bir fonksiyon tanımlandı. Bu fonksiyonda serbest bırakılan her bir parametreye kendi değer aralığı içerisinde rastgele değer atandı.
- Rastgele seçilen başlangıç değerleri ile eğri fit işlemi gerçekleştirildi. Elde edilen parametreler, uyumun “Chi²; χ^2 ” değerleri ile birlikte kaydedildi.
- Kaydedilen parametreler içerisinde χ^2 değeri en düşük olan parametre seti başlangıç parametreleri olarak belirlendi ve tekrar eğri fit işlemi yapıldı.
- Sonuç olarak bulunan parametreler, sistemin olası parametreleri olarak dikkate alındı.

Hazırlanan algoritma, yüksek iterasyon değerleri (örn. 1000) kullanarak leke modeli oluşturan parametreleri belirlemeye imkân tanımaktadır. LMFIT metodunun tekrar tekrar çalıştırılması, belirlenen parametrelerin gerçek değerlere yakın olarak tahmin edilmesini sağlayacaktır. Yukarıda anılan işleyişin test edilmesi için öncelikle teorik ışık eğrileri ile parametre belirlenmesinin yapılması gerekmektedir.

3.4.2 Sentetik ışık eğrisi üretiminin test edilmesi:

Leke modeli çözümünde kullanılması planlanan algoritmanın test edilmesi için, verilen parametrelere göre Dorren kodu kullanılarak teorik bir model oluşturuldu. Teorik yıldız yüzeyi, ilk etapta tek lekeli bir yıldız modeli için kurgulandı. Kurgu model için kabul edilen girdi parametrelerine göre (çizelge 3.6, 2. kolon) Dorren programından üretilen sentetik ışık eğrisi şekil 3.4’de görülmektedir. Şekilde, ışık eğrisi iki çevrim olarak oluşturuldu. Işık eğrisinin sıfıra normalize işlemi için, her bir teorik akı değeri ile ortalama akı değerinin farkı alınmıştır.



Şekil 3.4 Dorren kodu kullanılarak üretilen tek leke kabulü altında teorik yıldız ışık eğrisi modeli

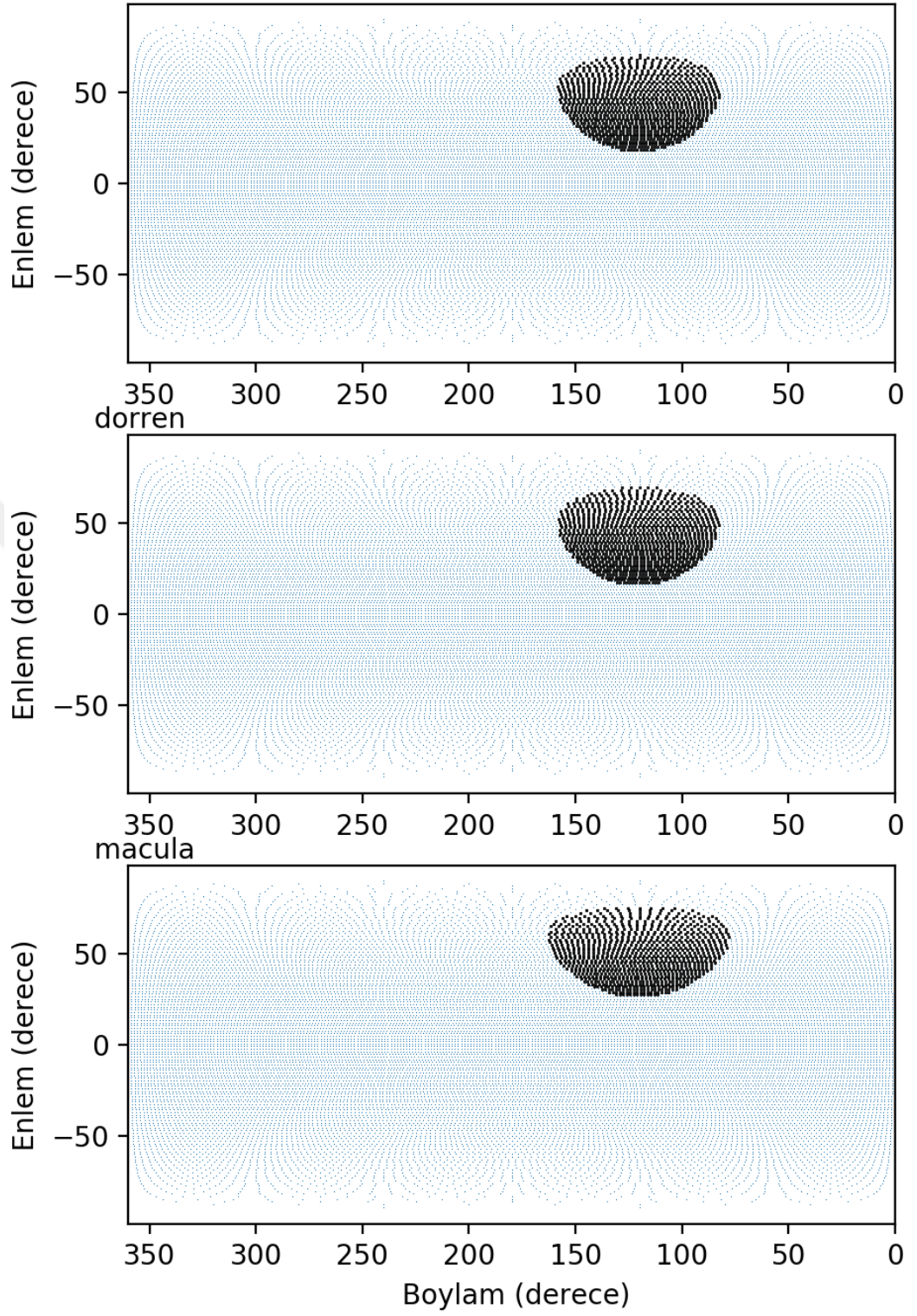
Leke çözümünde periyot (P) sabit parametre olarak, diğer beş parametre (i , λ , β , γ , κ) serbest değişken olarak kullanıldı. Bu adımda amaç, en uygun parametrelerin algoritma tarafından belirlenmesidir. Tek lekeli sentetik modelde iterasyon sayısı 100 olarak belirlendi. Sentetik model kullanılarak, Dorren ve Macula programlarından elde edilen iki boyutlu yüzey leke haritası şekil 3.5’de verilmiştir. Yüzey haritasında, lekenin yıldız yüzeyindeki konumu görülmektedir. Her iki kod ile gerçekleştirilen analiz sonucu ışık

eğrilerine yapılan fit ve artıkları şekil 3.6’da sunulmaktadır. Üst panelde iki boyutlu yüzey haritası, orta panelde 360 dereceye evrelendirilmiş ışık eğrisi ve alt panelde teorik ile hesaplanan ışık eğrileri arasındaki “artıklar” görülmektedir.

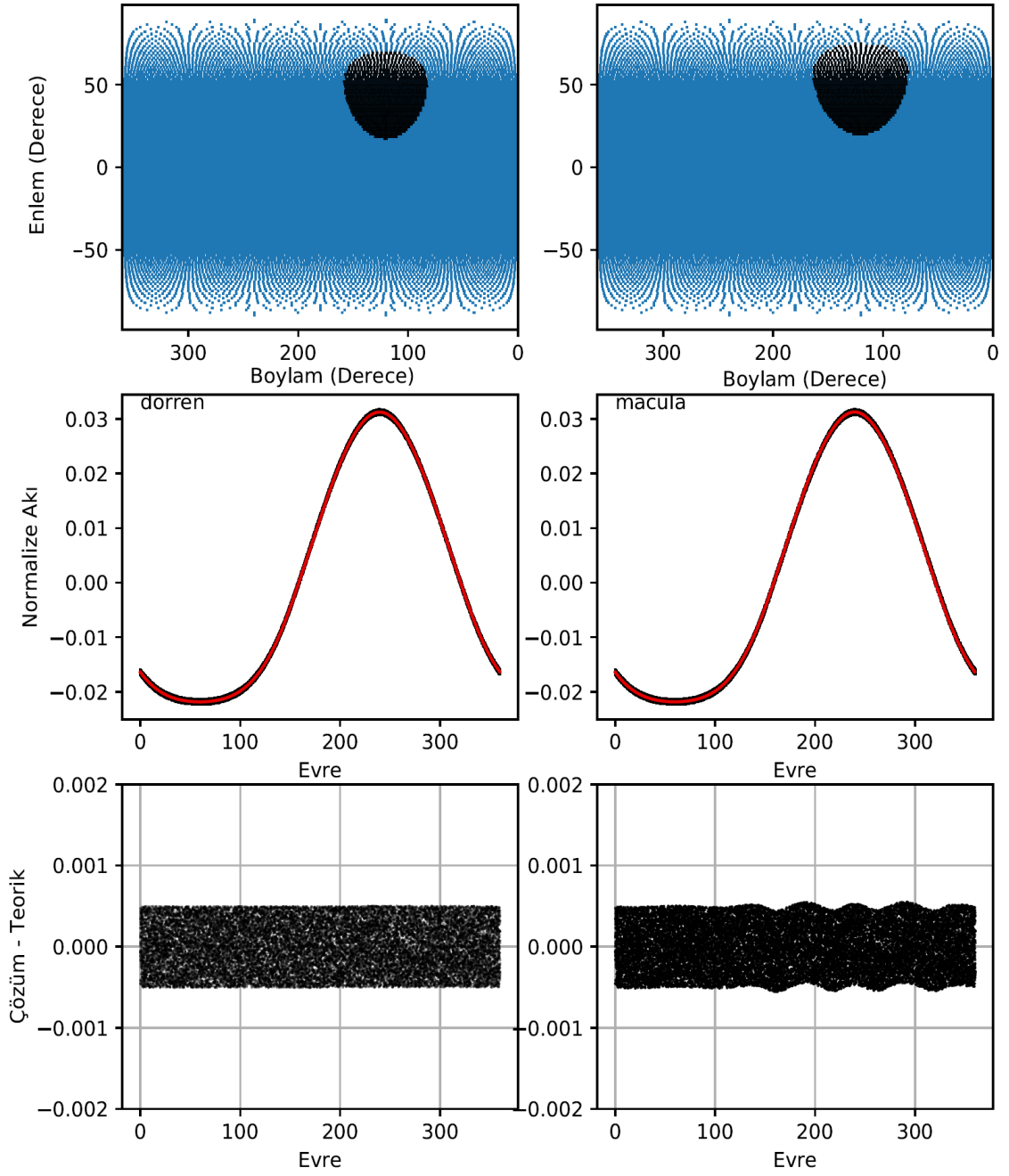
Tek leke kabulü altında teorik test yıldızına ait parametreler ile bu çalışmada hazırlanan algoritma tarafından belirlenen parametreler çizelge 3.6’da verilmiştir. Algoritma her iki kod için sentetik model değerlerine yakın sonuçlar belirlemiştir. Ancak Dorren kodu Macula koduna kıyasla, girdi değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir. Teorik yıldızın Dorren kodu ile oluşturulduğu ve her iki kodun kenar kararma katsayılarının farklı oluşu bu fark için makul bir açıklamadır.

Çizelge 3.6 Tek leke kabulü altında test yıldızının çözüm parametreleri

Parametre	Sentetik girdi değeri	Dorren	Macula
P (gün)	1.91909	1.91909	1.91909
i	55°.6	55°.87 ± 2.37	59°.06 ± 0.21
λ	121°	120°.5 ± 0.01	120°.5 ± 0.01
β	44°.2	43°.68 ± 2.45	47°.32 ± 2.05
γ	26°.4	26°.45 ± 0.27	27°.68 ± 0.07
κ	1.25	1.25 ± 0.009	1°.24 ± 0.009
χ^2		1.70E-05	1.77E-05

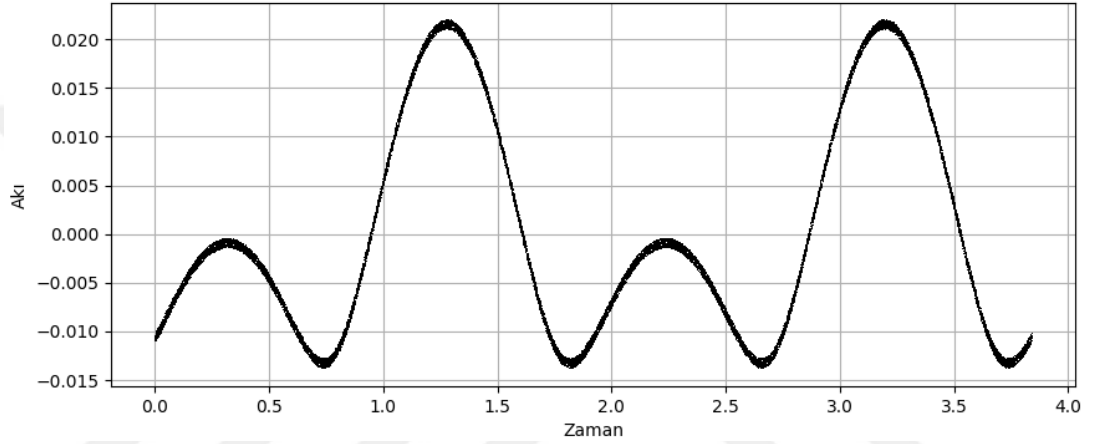


Şekil 3.5 Tek leke kabulü altında teorik yıldızın sentetik çözüm (üst panel), Dorren (orta panel) ve Macula (alt panel) yardımıyla oluşturulan iki boyutlu yüzey haritaları



Şekil 3.6 Tek leke kabulü altında altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) kodları kullanılarak tek lekeli teorik yıldız modelimiz için elde edilen yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıkların evreye göre değişimi

Daha sonra, çizelge 3.7 (2. kolon) girdi parametrelerine göre iki lekeli yeni bir sentetik yıldız modeli, kurgulandı. Kurgulanan yıldızın teorik ışık eğrisi Macula kodu ile oluşturuldu (şekil 3.7). Leke çözümünde sekiz parametre serbest bırakıldı ve iterasyon sayısı 100 olarak belirlendi. Test sonucu yıldıza ilişkin iki boyutlu yüzey leke haritaları şekil 3.8’de sunulmaktadır. Her iki kod ile yapılan analiz sonucu ışık eğrilerine yapılan fit ve artıkları, Dorren için şekil 3.9 (sol panel), Macula için ise şekil 3.9 (sağ panel)’da verilmiştir.

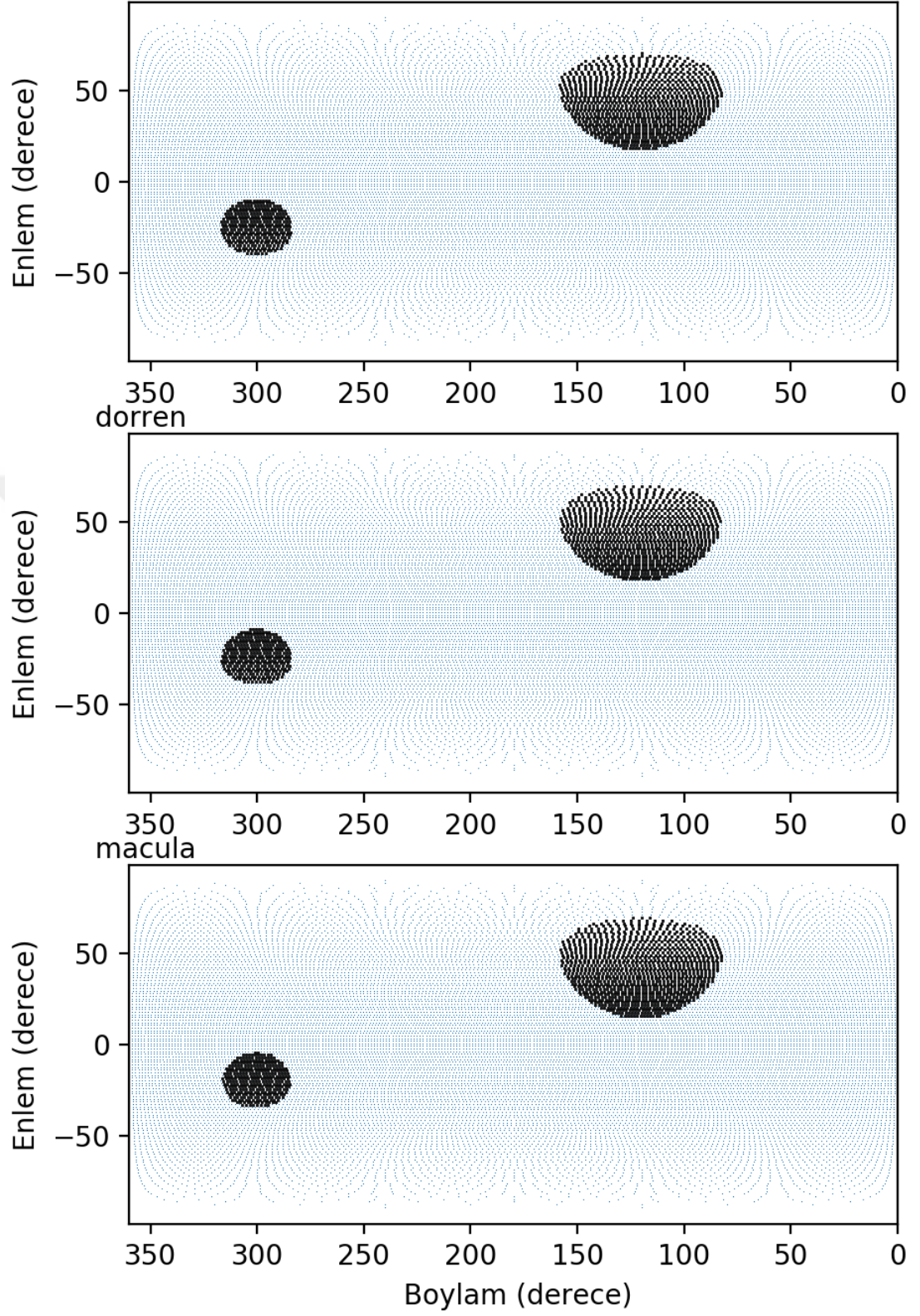


Şekil 3.7 Macula kodu kullanılarak iki leke kabulü altında kuramsal ışık eğrisi

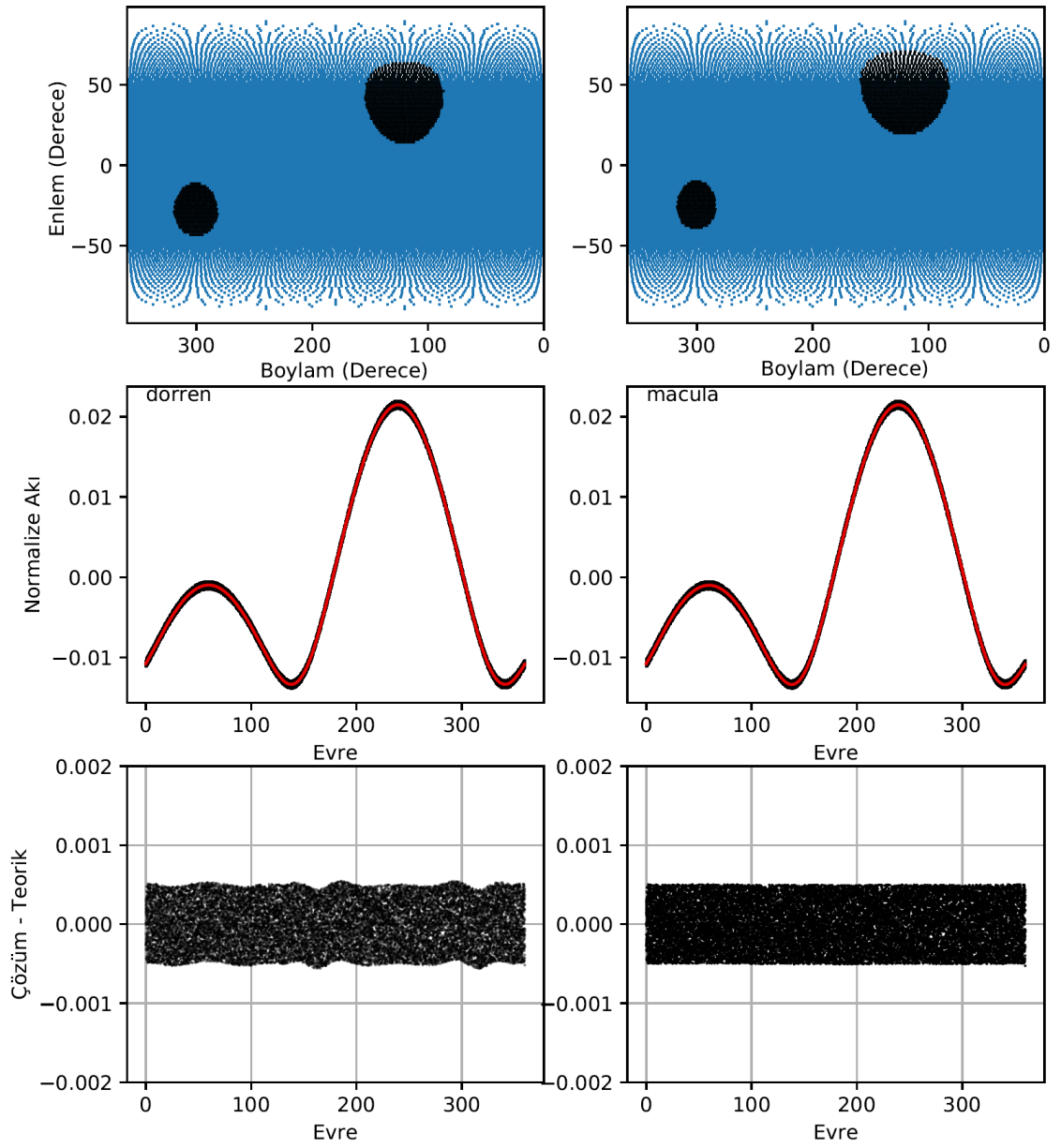
İki lekeli teorik test yıldızına ait parametreler ile bu çalışmada hazırlanan algoritma tarafından belirlenen parametreler çizelge 3.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7 İki leke için test yıldızının çözüm parametreleri

Parametre	Değeri	Dorren	Macula
P (gün)	1.91909	1.91909	1.91909
i	85°.6	83°.6 ± 0.6	85°.76 ± 0.29
λ_1	120°.5	120°.5 ± 0.01	120°.5 ± 0.01
β_1	44°.2	39° ± 2	45° ± 3
γ_1	26°.4	25°.6 ± 0.5	26°.2 ± 0.8
λ_2	300°.5	300°.51 ± 0.02	300°.51 ± 0.02
β_2	-24°.2	-27° ± 3	-25° ± 5
γ_2	15°.4	16°.5 ± 0.4	15°.2 ± 0.7
κ	1.25	1.23 ± 0.02	1.26 ± 0.03
χ^2		1.69E-05	1.59E-05



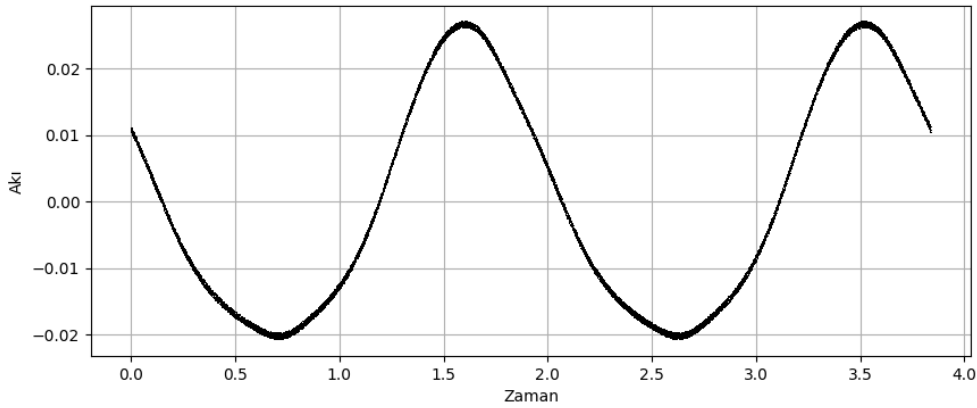
Şekil 3.8 İki leke kabulü altında teorik yıldızın sentetik çözüm (üst panel), Dorren (orta panel) ve Macula (alt panel) yardımıyla oluşturulan iki boyutlu yüzey haritaları



Şekil 3.9 İki leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) kodları kullanılarak iki lekeli teorik yıldız modelimiz için elde edilen yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıkların evreye göre değişimi

İki lekeli test yıldızına ilişkin parametrelerin çözümünde algoritma, her iki kod ile sentetik model değerlerine yakın sonuçlar belirlemiş ancak teorik yıldız Macula kodu ile oluşturulduğu için Macula, Dorren koduna kıyasla girdi değerlere daha yakın sonuçlar elde etmiştir. Lekenin konumuna ilişkin boylam (λ), enlem değerine nazaran daha hassas belirlenmiştir.

Çizelge 3.8 (2. kolon) girdi parametrelerine göre üç lekeli bir sentetik yıldız kurgulanarak, Macula kodu ile ışık eğrisi oluşturuldu (şekil 3.10). Leke çözümünde toplamda on bir parametre serbest bırakıldı (bkz. Çizelge 3.8). İterasyon sayısı 500 alınıp, algoritma tarafından parametreler belirlendi. Test sonucu yıldızla ilişkin iki boyutlu yüzey leke haritaları şekil 3.11’de ve her iki kod ile yapılan analiz sonucu ışık eğrilerine yapılan fit ve artıkları Dorren için şekil 3.12 (sol panel), Macula için şekil 3.12 (sağ panel)’de verilmektedir.



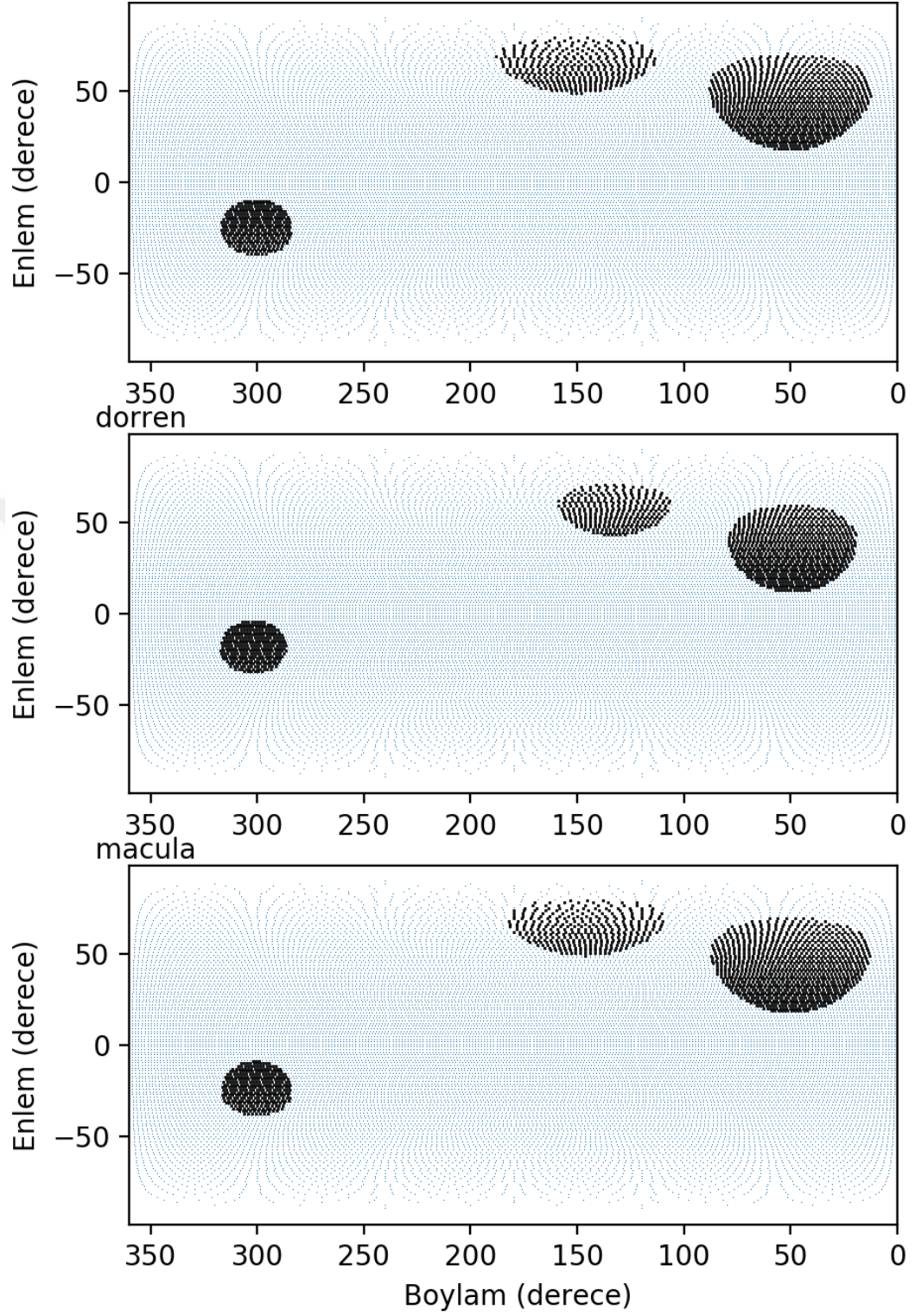
Şekil 3.10 Macula kodu kullanılarak üç leke kabulü altında teorik yıldız ışık eğrisi

Üç lekeli teorik test yıldızına ait parametreler ile bu çalışmada hazırlanan algoritma tarafından belirlenen parametreler çizelge 3.8’de verilmiştir. Algoritma her iki kod için sentetik model değerlerine yakın sonuçlar üretmektedir. Teorik yıldız Macula kodu ile oluşturulduğu için parametrelerin belirlenmesinde Macula, Dorren koduna kıyasla girdi değerlere daha yakın sonuçlar elde etmiştir. Serbest parametre sayısı arttıkça lekeye ilişkin enlem değeri (β) ile yıldızın i eğim açısındaki belirsizlik artmaktadır.

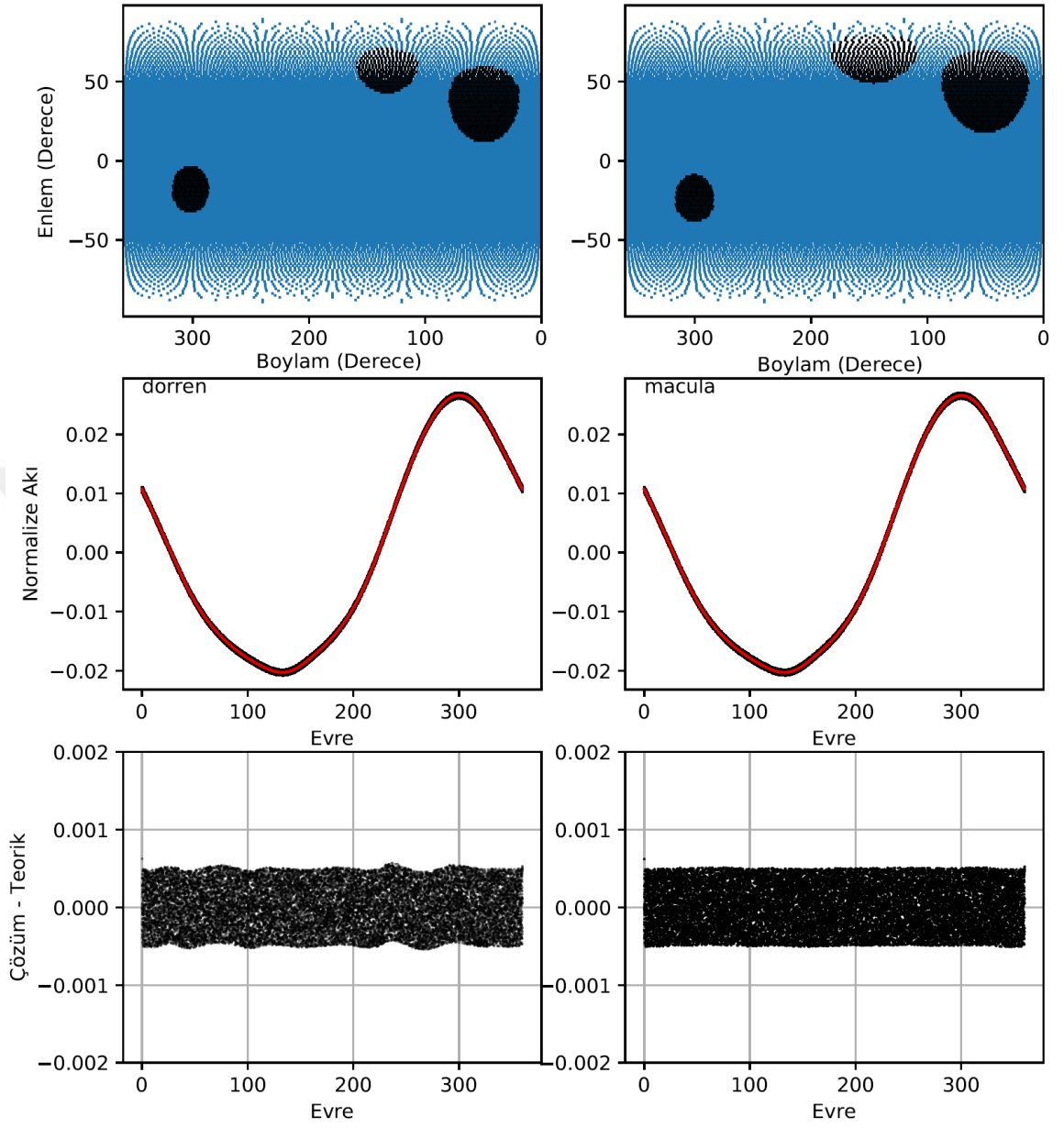
Çizelge 3.8 Üç leke için çözüm parametreleri

Parametre	Değeri	Dorren	Macula
P (gün)	1.91909	1. 91909	1. 91909
i	65°.6	60°.3 $\pm$ 0.8	65°.5 $\pm$ 0.2
λ_1	50°.5	49°.3 $\pm$ 0.2	50°.2 $\pm$ 0.3
β_1	44°.2	36° $\pm$ 1	43°.7 $\pm$ 0.5
γ_1	26°.4	24°.0 $\pm$ 0.2	26°.07 $\pm$ 0.3
λ_2	150°.5	133° $\pm$ 1	146° $\pm$ 3
β_2	64°.2	57° $\pm$ 1	64°.3 $\pm$ 0.8
γ_2	15°.4	14°.1 $\pm$ 0.2	15°.4 $\pm$ 0.2
λ_3	300°.5	301°.9 $\pm$ 0.1	300°.4 $\pm$ 0.2
β_3	-24°.2	-17°.8 $\pm$ 0.8	-23°.51 $\pm$ 0.7
γ_3	15°.4	14°.7 $\pm$ 0.3	15°.1 $\pm$ 0.3
κ	1.25	1.256 $\pm$ 0.009	1.22 $\pm$ 0.002
χ^2		1.82E-05	1.71E-05

Teorik kurgu yıldızlar oluşturularak yapılan test işleminde kullanılan Macula ve Dorren kodları, test yıldızlarının yüzey parlaklık dağılımı modellemesinde ve tanımlanan parametrelerin belirlenmesinde başarılı olmuştur. Teorik yıldızın hangi kod ile oluşturulduğuna bağlı olarak belirlenen parametrelerin gerçek değerlere yakın olup olmadığı değişmektedir. Söz konusu fark, her iki leke model kodunun kullandığı kenar karar katsayıları arasındaki fark ile ilintilidir. Algoritmada kullanılan serbest değişken sayısı arttıkça, algoritma tarafından bulunan parameterelere ilişkin değerlerin gerçek değerlerden olan farkları arttığı gözlenmiştir.



Şekil 3.11 Üç leke kabulü altında yıldızın sentetik çözüm (üst panel), Dorren (orta panel) ve Macula (alt panel) yardımıyla oluşturulan iki boyutlu yüzey haritaları



Şekil 3.12 Üç leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) kodları kullanılarak teorik yıldız modelimiz için elde edilen yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıkların evreye göre değişimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada HD 171586 ve HD 170973 yıldızlarının CoRoT arşiv verileri kullanılarak periyot analizi ve leke modellemesi yapılmıştır. Analizler, HD 171586 için 11 Nisan - 6 Eylül 2008 tarih aralığını kapsayan 144 günlük, HD 170973 için 6 Nisan 2010 ile 5 Temmuz 2010 tarih aralığındaki 89 günlük kesintisiz gözlem verisi dikkate alınarak yapılmıştır. Fotometrik ışık eğrileri, HD 171586 ve HD 170973 yıldızları için, sırasıyla, 392857 ve 239898 adet gözlem noktası kullanılarak oluşturulmuştur. HD 171586 ve HD 170973 için CoRoT verilerinin ilk 380 gözlem noktası, sırasıyla, Ek 1 ve Ek 2’de listelenmiştir. “Fits” tablo formatlı gözlemsel veri setinin başlık kısmında yıldız ile ilgili bazı bilgiler yer almaktadır (bkz. çizelge 4.1, 4.2).

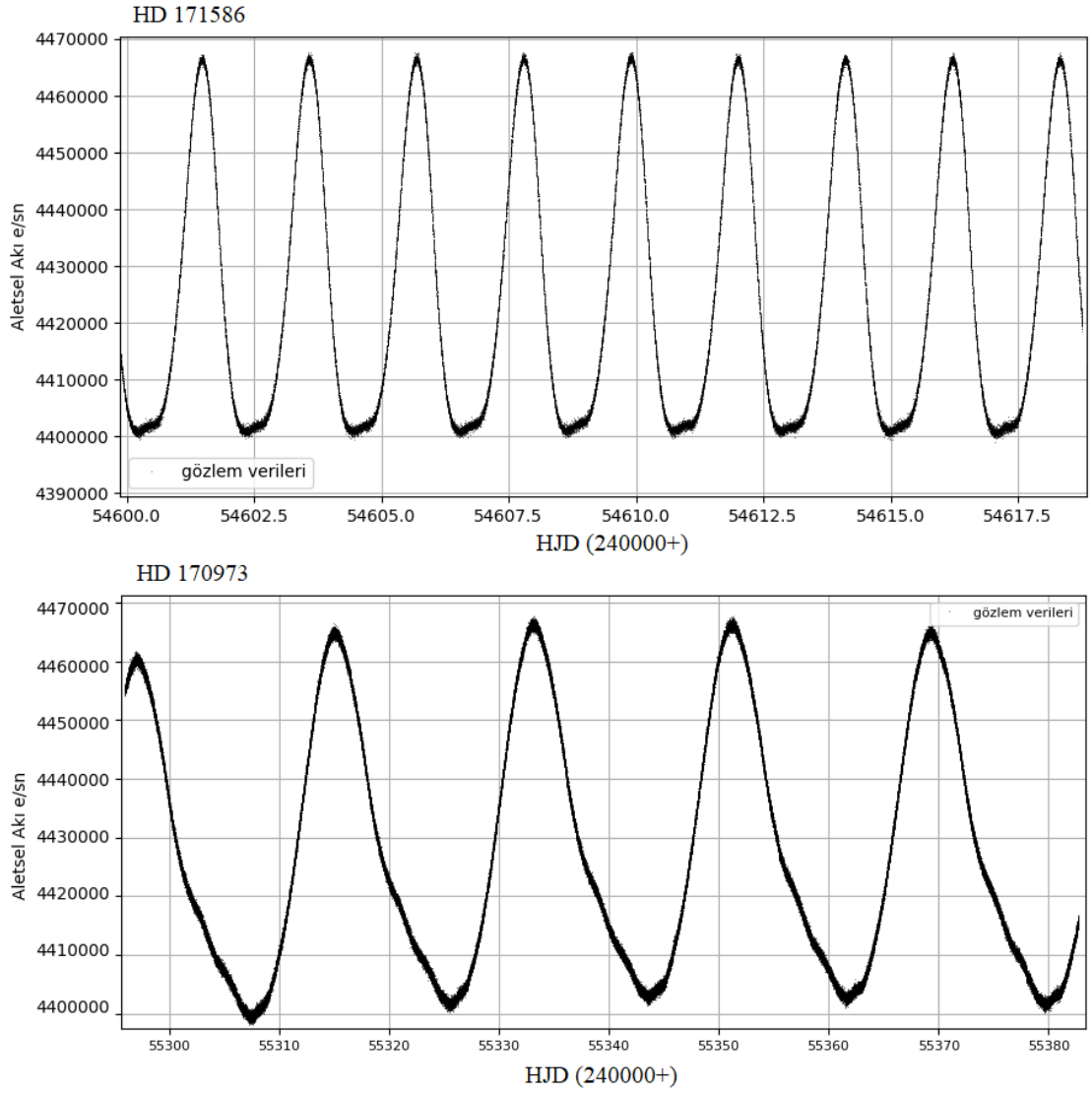
Çizelge 4.1 HD 170973’in CoRoT fotometrik verisine ait başlık bilgisi

SIMPLE	=	T /Written by IDL: Tue Nov 24 09:08:03 2015
BITPIX	=	8 /
NAXIS	=	0 /
EXTEND	=	T /File contains extensions
TELESCOP	=	'COROT ' /Telescope name
ORIGIN	=	'CDC ' /processing site
CREA_DAT	=	'2015-11-24T09:08:03' /file generation date
FILENAME	=	'AN2_STAR_0000008081_20100406T211338_20100705T054428.fits' /name of
N2_VER	=	'4.4 ' /version of the N2 data
PIPE_VER	=	'4.9 ' /name/version of the process
STARTDAT	=	'2010-04-06T21:13:38' /UT date of the first meas.
END_DATE	=	'2010-07-05T05:44:28' /UT date of the last meas.
COROTID	=	'8081' /ID of the CoRoT target
RUN_CODE	=	'LRc05 ' /code of the run
HLFCCDID	=	'A2R ' /ref. of the half ccd
ALPHA	=	278.029 /Right ascension of the star
DELTA	=	3.65960 /Declination of the star
STARNAME	=	'HD 170973' /Usual name of the star (COROTSKY)
MAGNIT_V	=	6.43000 /Star mag. V (COROTSKY)
ABSM_V	=	-0.260000 /Absolute. star mag. V (COROTSKY)
COL_B_V	=	-0.0400000 /Color difference (COROTSKY)
SPECTYPE	=	'A ' /Spectral type (COROTSKY)
SUBCLASS	=	'0 ' /Spectral subclass (COROTSKY)
LC_MEAN	=	4.40055E+06 /Mean of the lightcurve, electrons
LC_RMS	=	330989. /RMS of the light curve, electrons
NBHOTPIX	=	-1 /Number of hot pixels detected in the mask.
COR_SLOP	=	-165.743 /Slope of the correction of efficiency corr
COR_DELT	=	5.61285 /Range delta on the estimated cor_slop
NB_CONSI	=	1 /Number of temperature jumps to be corrected

Çizelge 4.2 HD 171586'in CoRoT fotometrik verisine ait başlık bilgisi

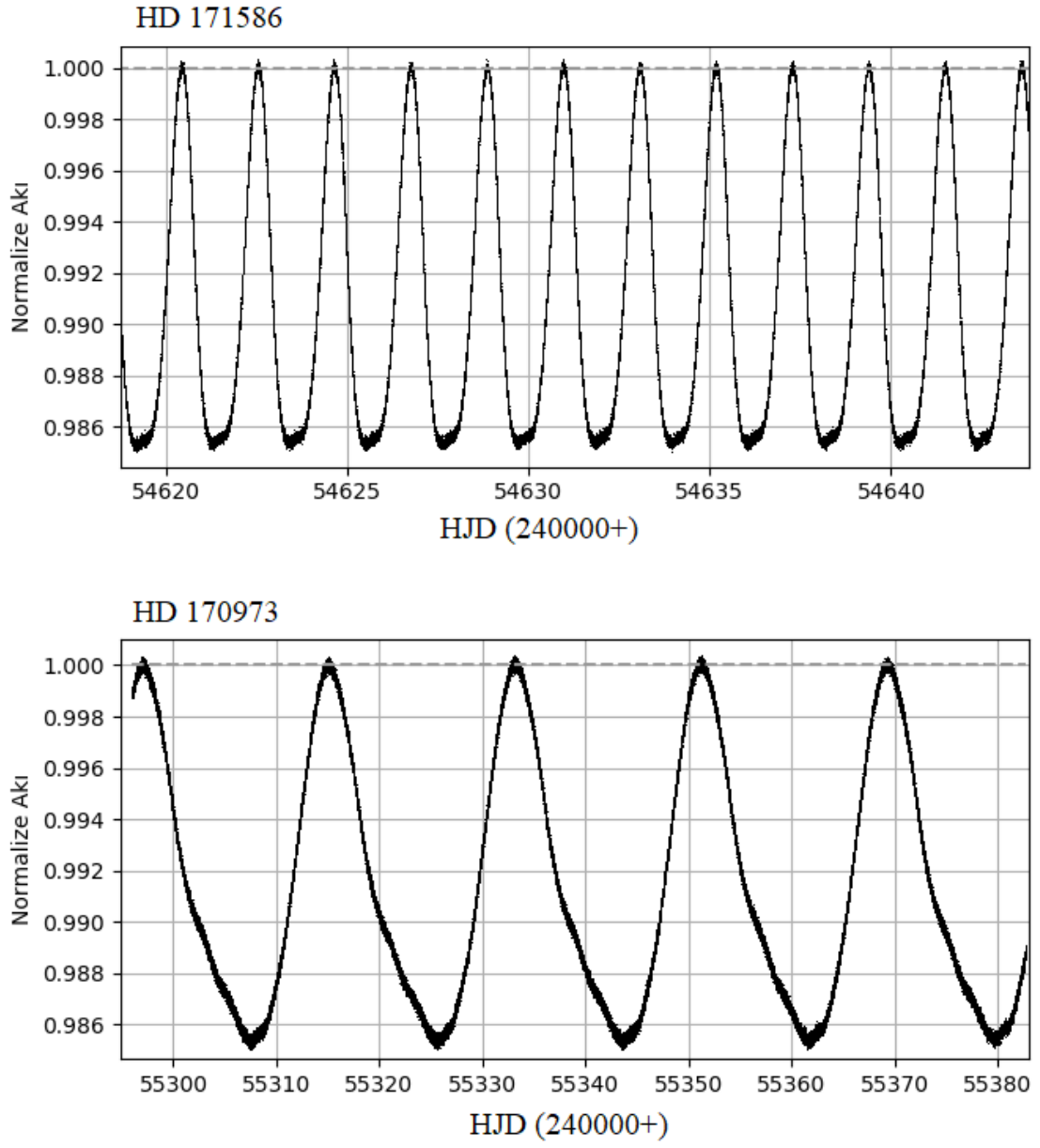
DAT_TPE1	=	3749.8590 /Terrestrial date of the 1st jump
SIMPLE	=	T /Written by IDL: Mon Nov 23 10:26:43 2015
BITPIX	=	8 /
NAXIS	=	0 /
EXTEND	=	T /File contains extensions
TELESCOP	=	'COROT ' /Telescope name
ORIGIN	=	'CDC ' /processing site
CREA_DAT	=	'2015-11-23T10:26:43' /file generation date
FILENAME	=	'AN2_STAR_0000008158_20080411T205530_20080906T235959.fits' /name of th
N2_VER	=	'4.4 ' /version of the N2 data
PIPE_VER	=	'4.9 ' /name/version of the process
STARTDAT	=	'2008-04-11T20:55:30' /UT date of the first meas.
END_DATE	=	'2008-09-06T23:59:59' /UT date of the last meas.
COROTID	=	'8158' /ID of the CoRoT target
RUN_CODE	=	'LRc02 ' /code of the run
HLFCCDID	=	'A1R ' /ref. of the half ccd
ALPHA	=	278.902 /Right ascension of the star
DELTA	=	4.93599 /Declination of the star
STARNAME	=	'HD 171586' /Usual name of the star (COROTSKY)
MAGNIT_V	=	6.46000 /Star mag. V (COROTSKY)
ABSM_V	=	1.40000 /Absolute. star mag. V (COROTSKY)
COL_B_V	=	0.0700000 /Color difference (COROTSKY)
SPECTYPE	=	'A ' /Spectral type (COROTSKY)
SUBCLASS	=	'2 ' /Spectral subclass (COROTSKY)
LC_MEAN	=	4.40360E+06 /Mean of the lightcurve, electrons
LC_RMS	=	292457. /RMS of the light curve, electrons
NBHOTPIX	=	-1 /Number of hot pixels detected in the mask.
COR_SLOP	=	-165.442 /Slope of the correction of efficiency corr
COR_DELT	=	5.59831 /Range delta on the estimated cor_slop
NB_CONSI	=	1 /Number of temperature jumps to be corrected
DAT_TPE1	=	3113.0347 /Terrestrial date of the 1st jump

Her iki yıldızın CoRoT ışık eğileri şekil 4.1’de verilmiştir. Işık eğrisinin yatay ekseninde zaman (HJD), dikey eksende akı (elektron/saniye) yer alır. Zaman verilerinin çözünürlüğü yaklaşık 32 saniye dir.



Şekil 4.1 HD 171586 (üst panel) ve HD 170973 (alt panel) yıldızlarının CoRoT uzay teleskobuyla elde edilen gözlemsel ışık eğrileri

CoRoT ışık eğrilerinde, uydudaki fotometriden kaynaklandığı düşünülen sistematik bir ölçme hatası tespit edilmiştir (Mislis vd. 2010). CoRoT gözlemlerinde zaman içerisinde ışık eğrilerinde belirgin bir düşüşe neden olan söz konusu ışık şiddeti azalım eğilimi (Mislis vd. 2010), normalize işlemi ile düzeltildi. Normalize işlemi, ışık eğrilerinin her bir periyodunun tepe noktasından noktalar seçilerek polinom fiti yardımıyla, akı değerlerine bölünerek gerçekleştirildi. Normalize edilen ışık eğrileri Şekil 4.2 de verilmektedir.



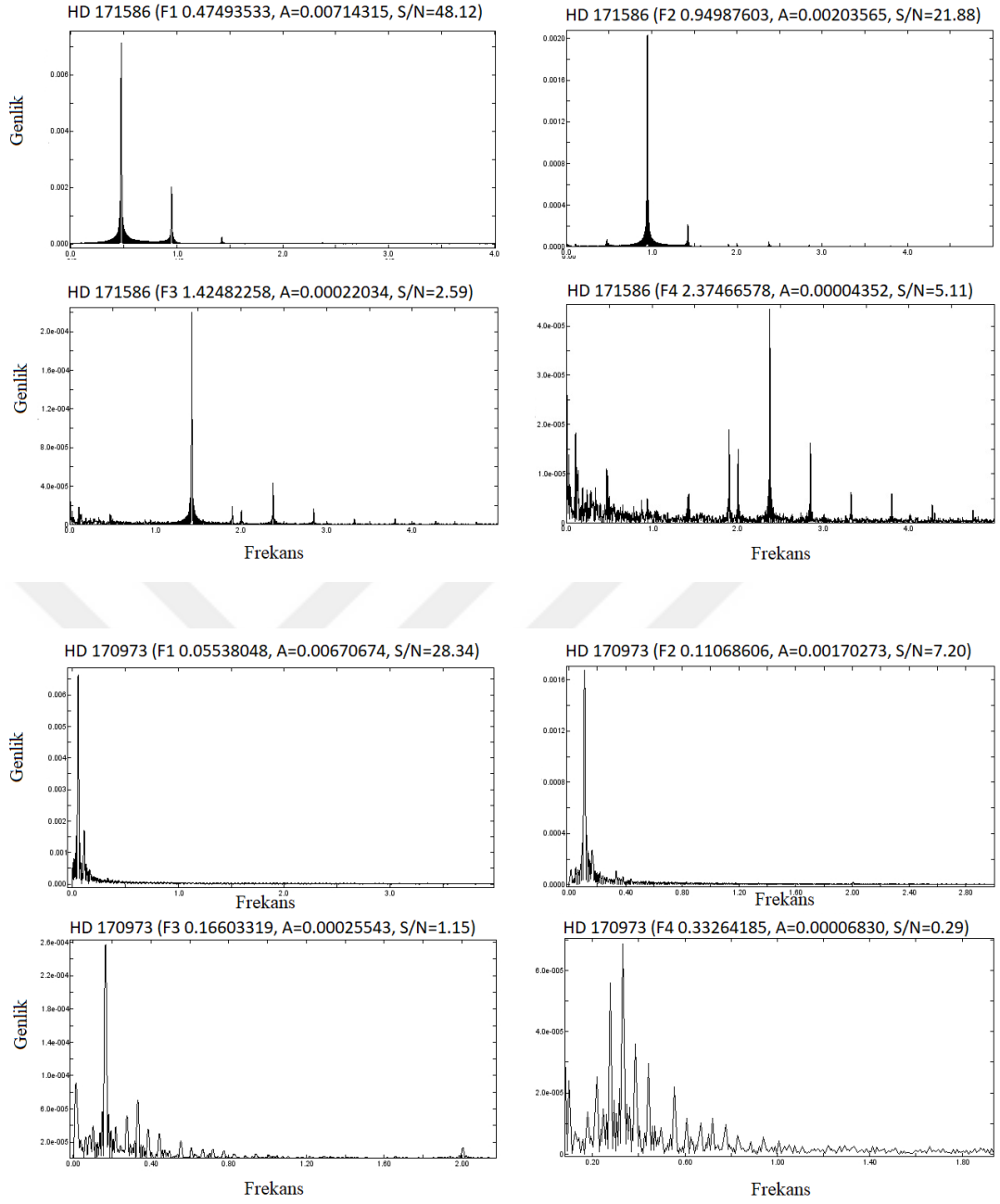
Şekil 4.2 HD 171586 (68 periyottan bir kesit, üst panel) ve HD 170973 (alt panel) yıldızlarının normalize ışık eğrileri

4.1 Period04 programı ile dönme döneminin belirlenmesi

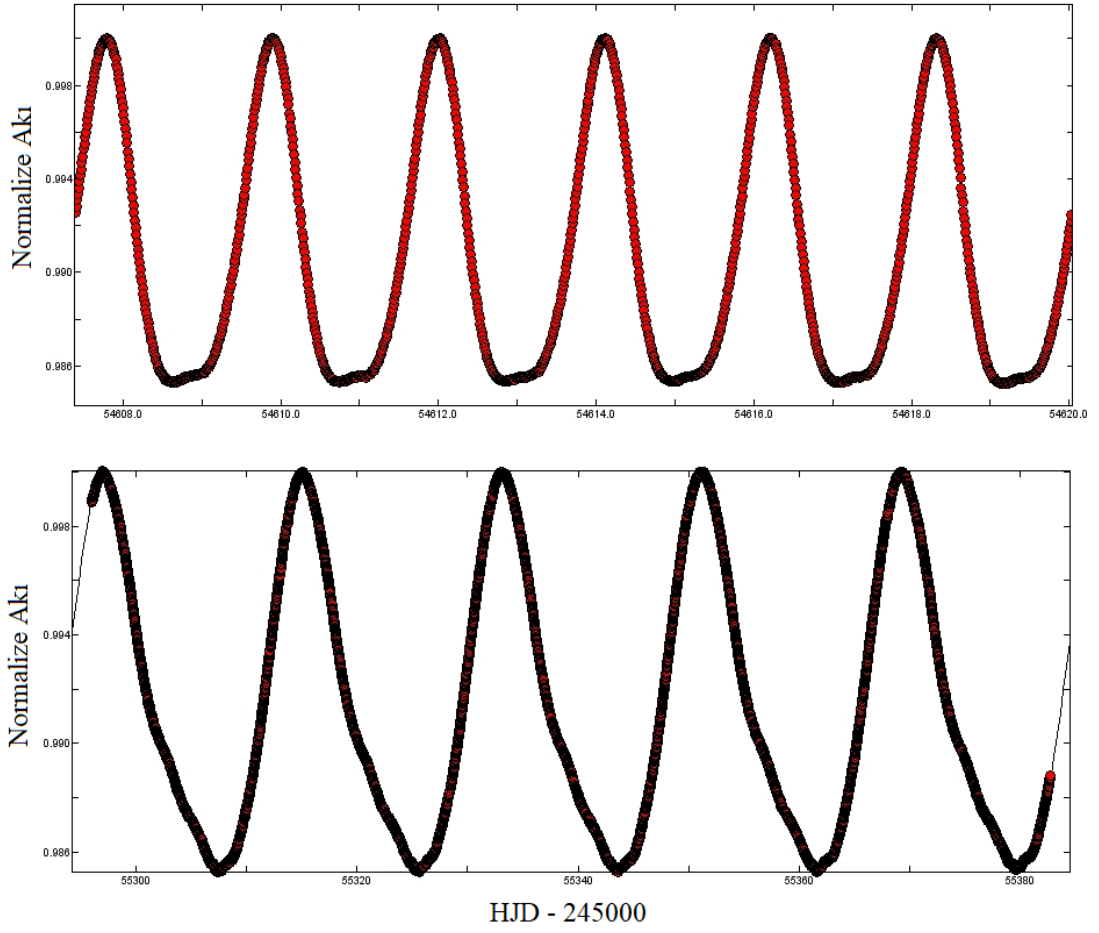
Normalize edilen ışık eğrileri, HD 170973 için 233748 gözlemsel nokta ve dört çevrimden, HD 171586 için 392587 nokta ve 68 çevrimden oluşmaktadır. Başlangıç analizinde programın hızlı işleyişini sağlamak amacıyla, 0.01 zamana aralığı dikkate alınarak normal noktalar oluşturuldu. Analizler HD 170973 yıldızı için 8664, HD 171586 için 14549 nokta sayısı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Frekans analizi neticesinde elde edilen frekanslar, birinci frekansın harmonikleri şeklindedir. Her iki yıldız için bulunan ilk dört frekans ve periyot değerleri çizelge 4.3’de verilmiştir. HD 171586’e ait yapılan frekans analizlerine ilişkin frekans - genlik grafiği Şekil 4.3 ve 68 çevrim verisine ait ışık eğrisi fitleri şekil 4.4’de verilmiştir. HD 170973’a ait yapılan frekans analizlerine ilişkin frekans - genlik grafiği ise Şekil 4.5 ve 68 çevrim verisine ait ışık eğrisi fitlerinden bir kesit şekil 4.6’da verilmiştir. Gözlem noktalarının tamamı üzerinden gerçekleştirilen analizlerin sonuç değerleri çizelge 4.4 ve ışık eğrilerinden birer kesit şekil 4.6’de görülmektedir.

Çizelge 4.3 Period04 programı ile normal noktalar üzerinden frekans analiz sonuçları

Yıldız		Frekans(gün ⁻¹)	Sigma	Genlik (kadir)	sigma	Dönem (gün)	Hata
HD 171586	f1	1f1 0.474935604	7.12E-07	0.00716879	1.34E-06	2.105548608	0.000003
	f2	2f1 0.949878155	2.50E-06	0.00206570	1.34E-06		
	f3	3f1 1.424840040	2.31E-05	0.00022790	1.34E-06		
	f4	5f1 2.374733460	1.17E-04	0.00004353	1.34E-06		
HD 170973	f1	1f1 0.055380484	9.538E-07	0.00670674	1.01E-06	18.0569025	0.000311
	f2	2f1 0.110686064	3.758E-06	0.00170273	1.01E-06		
	f3	3f1 0.166033190	2.719E-04	0.00025544	1.01E-06		
	f4	6f1 0.332641852	9.344E-05	0.00006830	1.01E-06		



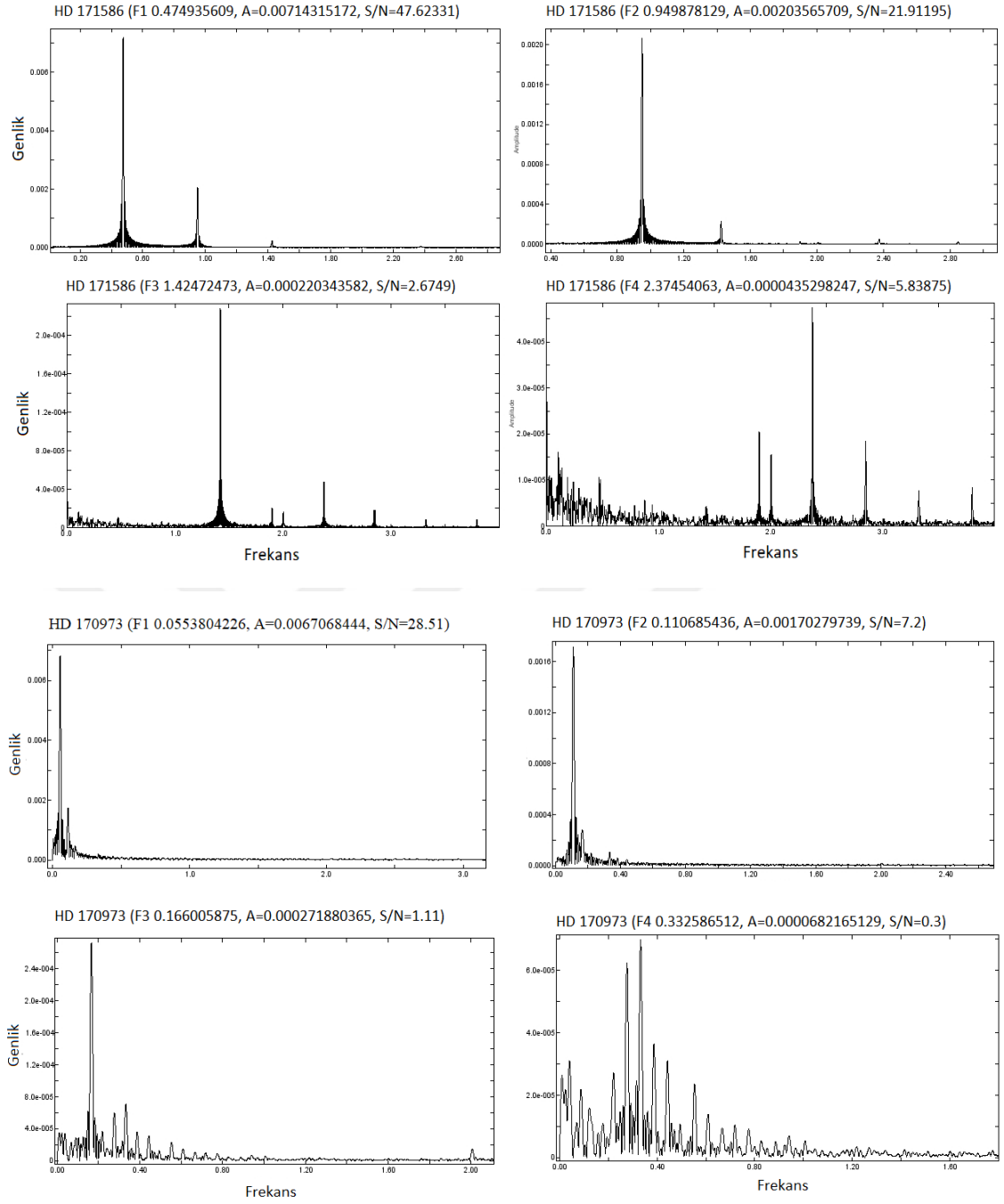
Şekil 4.3 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının normal noktalar üzerinden f1-f4 frekanslarına ait periyodogramları



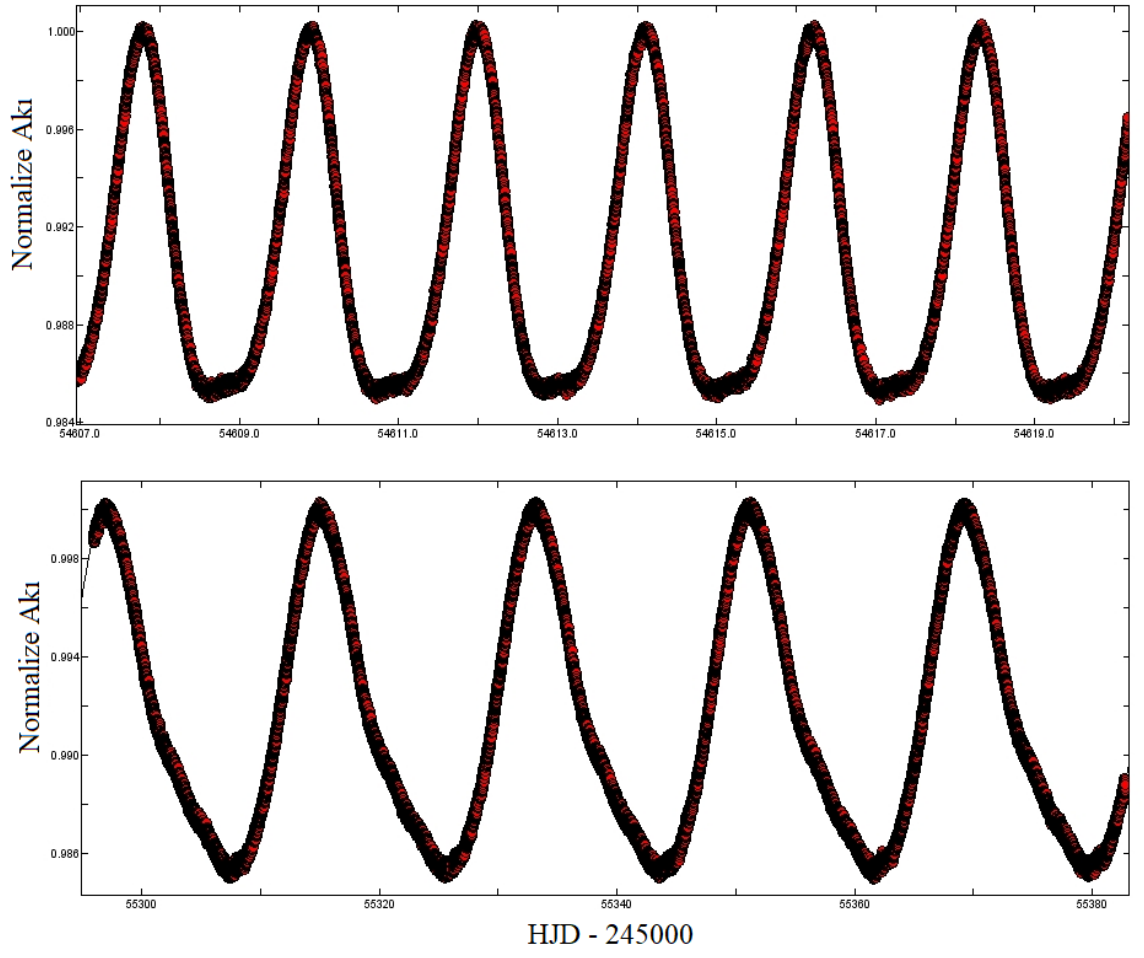
Şekil 4.4 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının normal noktalar üzerinden Period04 ışık eğri fitleri

Çizelge 4.4 Period04 programı ile gözlemsel verinin tamamı üzerinden frekans analiz sonuçları

Yıldız	Frekans(gün ⁻¹)			Sigma	Genlik (kadir)	sigma	Dönem (gün)	Hata
HD 171586	f1	1f1	0.4749356	7.12E-07	0.0071431	1.34E-06	2.10554859	0.000003
	f2	2f1	0.9498781	2.50E-06	0.0020356	1.34E-06		
	f3	3f1	1.4247247	2.31E-05	0.0002203	1.34E-06		
	f4	5f1	2.3745406	1.17E-04	0.0000435	1.34E-06		
HD 170973	f1	1f1	0.0553804	3.677E-06	0.0067068	3.84E-06	18.0569225	0.001199
	f2	2f1	0.1106854	1.803E-05	0.0017028	3.38E-06		
	f3	3f1	0.1660058	8.760E-05	0.0002718	3.52E-06		
	f4	6f1	0.3325865	3.294E-04	0.0000682	3.50E-01		



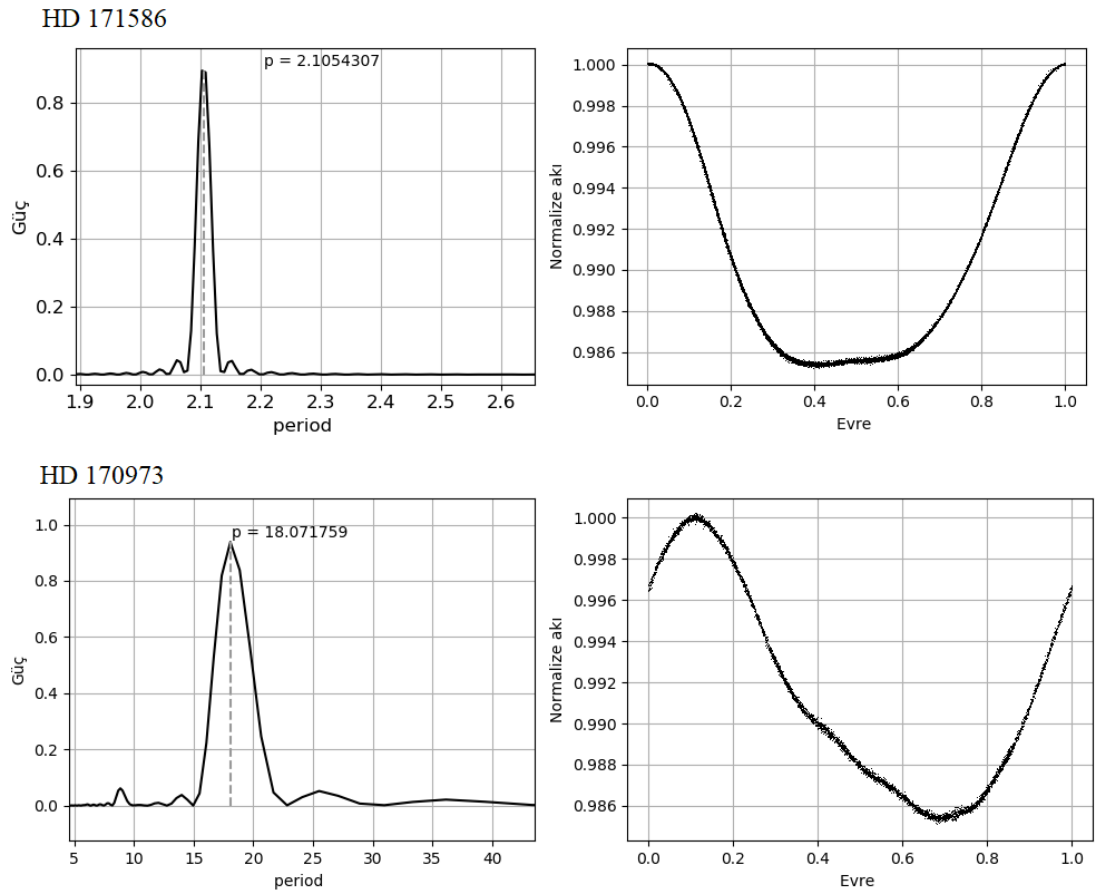
Şekil 4.5 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının gözlemsel verinin tamamı üzerinden f1-f4 frekanslarına ait periyodogramları



Şekil 4.6 HD 171586 (üst panel) ile HD 170973 (alt panel) yıldızlarının gözlemsel verinin tamamı üzerinden Period04 ı ışık eğrisi fitleri

4.2 Lomb Scargle ile periyod analizi

Yıldızların periyotlarını belirlemek için Python programlama dilinin “gatspy.periodic” paketi içindeki ‘Lomb Scargle periyodogram’ kullanıldı. Periyod analizi, indirgenmiş nokta sayıları üzerinden gerçekleştirildi: HD 171586 için 14549 ve HD 170973 için 8664. Lomb Scargle programı ile yapılan çözümlerden elde edilen güç spektrumları ve periyodik ışık eğrileri, sırasıyla, Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Yıldızların dönme periyotları HD 171586 yıldızı için 2.1054307 gün, HD 170973 yıldızı için 18.071759 gün olarak bulunmuştur.



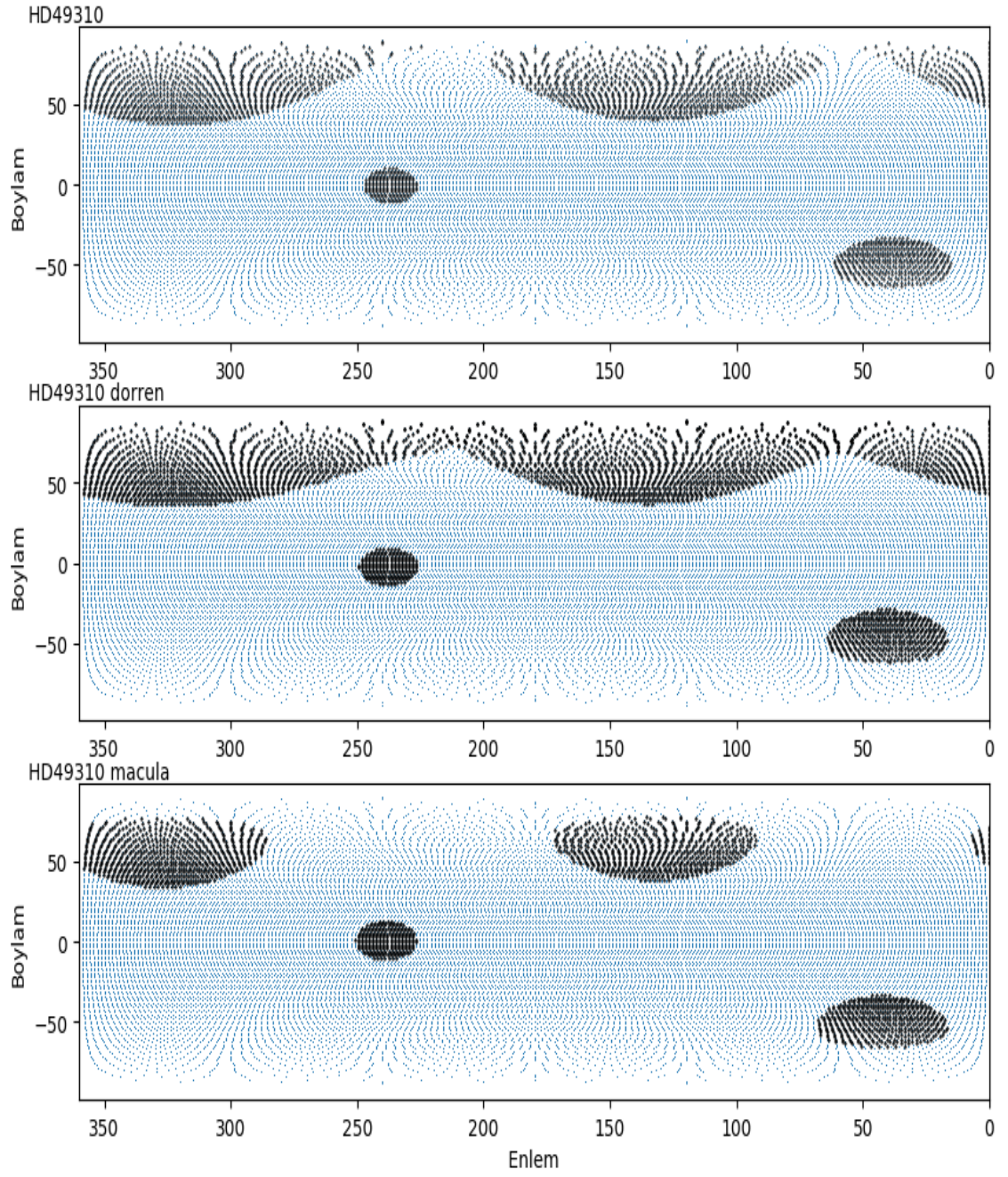
Şekil 4.7 Lomb-Scargle programı kullanılarak HD 171586 (üst panel) ve HD 170973 (alt panel) yıldızlarının periyot-güç grafiği (sol) ve evrelendirilmiş ışık eğrisi (sağ)

4.3 Dorren ve Macula Programları Kullanılarak Leke Modellemesi

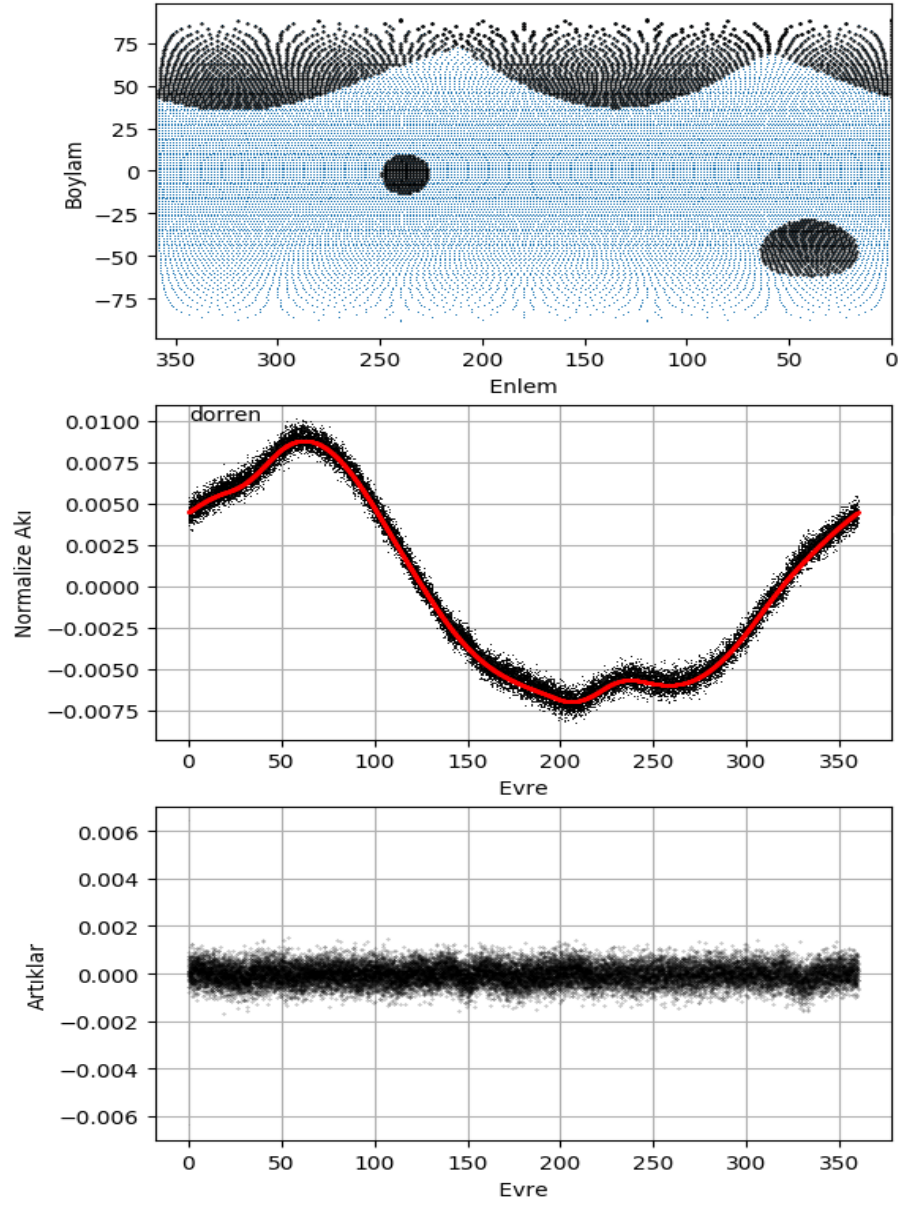
Yıldızların yüzey leke haritalarını oluşturan Dorren ve Macula programlarına ilişkin, bu çalışmada Python programlama dili ile oluşturulan algoritmaların öncelikle test işlemi HD 49310 yıldızında (Paunzen vd. 2015a) gerçekleştirilmiştir. Her iki program ile yapılan test işleminde, veriler sıfıra normalize edildi. Bu işlemde her bir akı değerinden, hesaplanan ortalama akı değeri çıkarıldı. Yıldızın, leke parametreleri çizelge 4.5’de ve iki boyutlu yüzey haritaları Şekil 4.8’da Paunzen’inki ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu tez çalışmasında her iki programdan elde edilen HD 49310’a ait yüzey haritası, ışık eğrisi ve artıklar şekil 4.9 ve şekil 4.10’da görülebilir.

Çizelge 4.6 HD 49310 yıldızının Dorren ve Macula programından elde edilen leke parametreleri

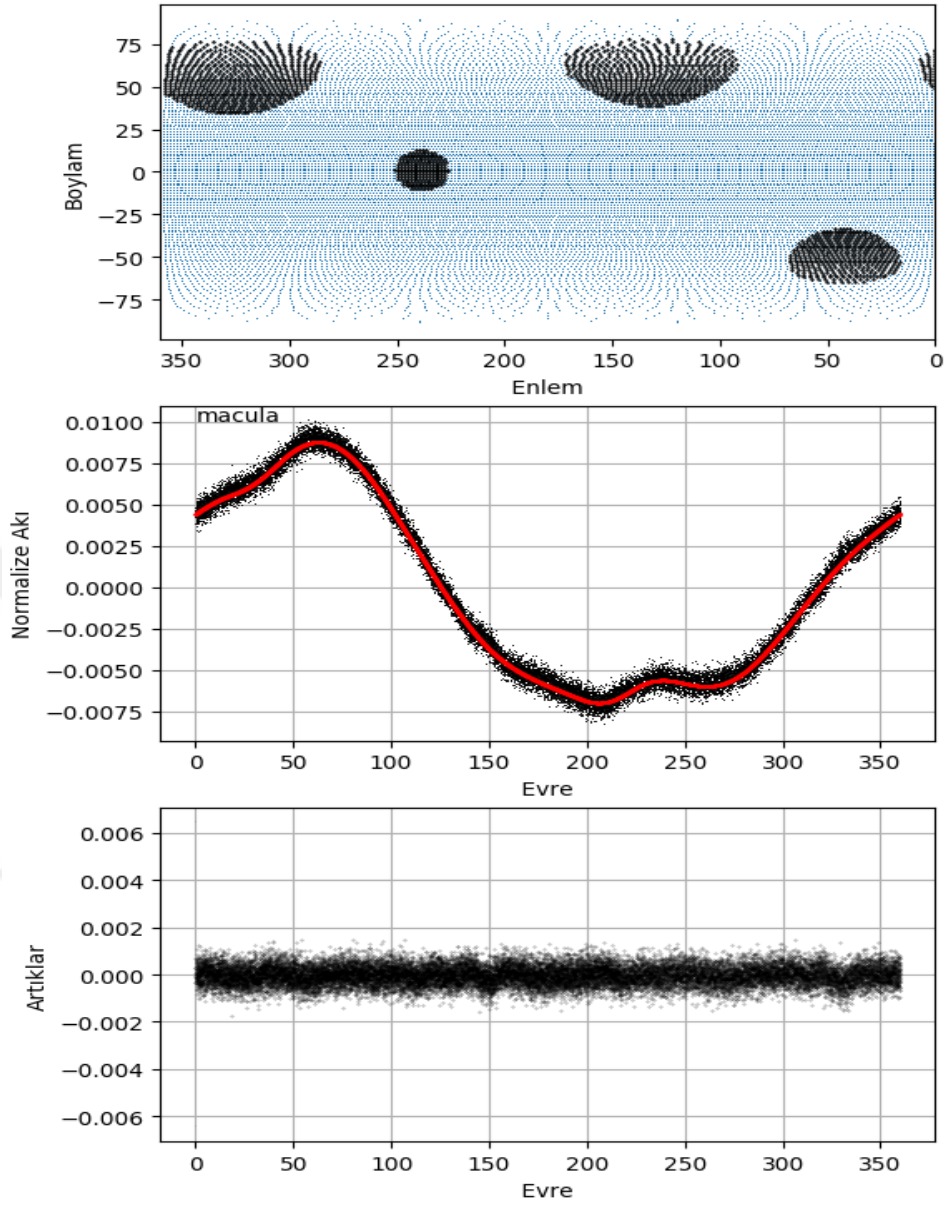
Parametre	Paunzen vd. (2015a)	Dorren	Macula	Fark (Paunzen – Dorren)	Fark (Paunzen – Macula)
λ_1 (boylam)	320°.50	319°.7 $\pm$ 0.3	326°.5 $\pm$ 0.7	0.8	6
β_1 (enlem)	64°.20	72°.3 $\pm$ 0.6	57° $\pm$ 1	8.1	7.2
γ_1 (yarıçap)	26°.4	41° $\pm$ 1	20° $\pm$ 1	14.6	6.4
λ_2	132°.20	134°.6 $\pm$ 0.2	131°.7 $\pm$ 0.7	2.4	0.5
β_2	64°.00	62° $\pm$ 1	60° $\pm$ 1	2	4
γ_2	23°.7	29°.7 $\pm$ 0.7	18° $\pm$ 1	6	5.7
λ_3	237°.00	237°.0 $\pm$ 0.2	238°.9 $\pm$ 0.2	0	1.9
β_3	-0°.30	-2°.4 $\pm$ 0.1	1°.1 $\pm$ 0.2	2.1	1.4
γ_3	10°.7	11°.8 $\pm$ 0.3	11°.1 $\pm$ 0.5	1.1	0.4
λ_4	38°.50	39°.2 $\pm$ 0.4	42°.0 $\pm$ 0.7	0.7	3.5
β_4	-47°.90	-40° $\pm$ 5	-52° $\pm$ 3	7.9	4.1
γ_4	15°.8	18° $\pm$ 3	15° $\pm$ 3	2.2	0.8
i	59°.6	49° $\pm$ 1	59° $\pm$ 1	10.6	0.6
κ	1.47	1.50 $\pm$ 0.01	1.50 $\pm$ 0.02	0.03	0.03
χ^2		4.27E-3	4.27E-3		



Şekil 4.8 HD 49310 yıldızının Paunzen vd. (2015a, üst), Dorren (orta) ve Macula (alt) programlarından elde edilen yüzey haritası



Şekil 4.9 Dorren programı kullanılarak HD 49310 yıldızı için elde edilen yüzey haritası (üst), ışık eğrisi (orta) ve artıklar (alt panel)



Şekil 4.10 Macula programı kullanılarak HD 49310 yıldızı için elde edilen yüzey haritası (üst), ışık eğrisi (orta) ve artıklar (alt panel)

HD 171586 ve HD 170973 yıldızlarının Bölüm 4.1’de Period04’den elde edilen periyot değerleri, Dorren ve Macula programları aracılığıyla yapılan leke modellemelerinde sabit parametre olarak kullanılmıştır.

Kenar kararırma katsayıları için Sing (2010)’in CoRoT uzay teleskobu için hazırladığı kenar kararırma katsayıları kataloğundan yararlanıldı. Bunun için incelenen yıldızların etkin sıcaklık (T_e), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu değerlerinin bilinmesi gerekir. HD 171586 yıldızı için Prugniel vd. (2007) tarafından belirlenen $T_e = 8968$ K, $\log g = 3.7$ dex, $[Fe/H] = -0.1$ dex parametreleri kullanılarak kenar kararırma katsayıları Sing’in kataloğundan alındı. Dorren programı tek parametrelidir, Macula ise dört parametrelidir kenar kararırma yasasını kullanmaktadır. Sing’in kataloğundan HD 171586 için tek parametrelidir denklemler katsayısı;

$$\mu = 0.5507,$$

dört parametrelidir denklemler katsayısı ise;

$$c1 = 0.3921, c2 = 0.6848, c3 = -0.4993, c4 = 0.1235$$

olarak verilmiştir.

HD 170973 yıldızı için $T_e = 10400$ K, $\log g = 3.3$ dex, $[Fe/H] = 0.9$ dex değerleri (Gebran vd. 2016) kullanılarak kenar kararırma katsayıları Sing (2010)’in kataloğundan alındı. HD 170973 için tek parametrelidir kenar kararırma katsayısı;

$$\mu = 0.4939,$$

dört parametrelidir denklemler katsayıları;

$$c1 = 0.464; c2 = 0.6115; c3 = -0.6166; c4 = 0.205$$

dir.

mCP tipi yıldızların atmosferlerinde Helyum, Silisyum, Krom ve Demir elementleri, görünür bölgelerde parlak, uzak UV de karanlık lekeler oluşturmaktadır (Krtićka vd. 2012). Bu tez çalışmasında leke model analizi için kontrast değeri (κ) için parlak leke varsayımı kabul edilmiştir.

HD 171586 yıldızının leke modellemesi, öncelikle tek leke varsayımı altında ve periyot dışındaki diğer parametreler serbest bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Çözüm parametreleri çizelge 4.7'deki gibidir. Her iki kod ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi şekil 4.11'de verilmiştir.

İki lekeli model için kontrast değeri 1.2-1.3 aralığında olacak şekilde serbest bırakılmıştır. Algoritmanın bulmuş olduğu çözüm parametreleri çizelge 4.8'de, her iki kod ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi şekil 4.12'de verilmiştir.

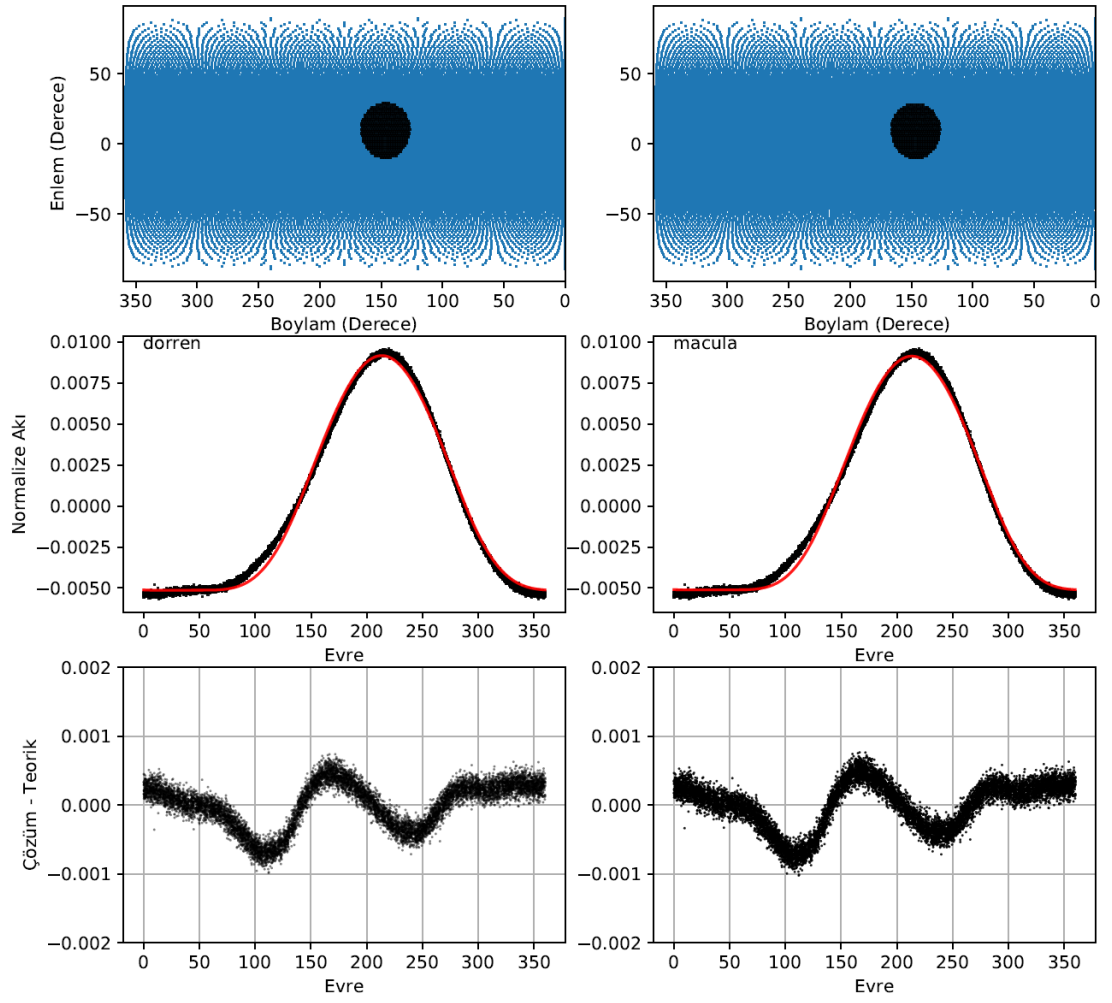
Üçüncü leke varsayımı ile yapılan çözümde, birinci ve ikinci lekeye ilişkin çözümden elde edilen değerler, serbest parametre olarak kullanıldı. Auriere (2007) tarafından verilen $i = 48$ değeri sabit alınarak çözüm arandı. Çözüm parametreleri çizelge 4.9'da, her iki kod ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi şekil 4.13'de sunulmuştur.

Üç leke kabulü altında yapılan çözümde elde edilen artıklar (χ^2 ; Dorren için $8.61E-06$, Macula için $8.09E-06$) dikkate alındığında dört lekeli bir çözüm arandı. Bulunan üç lekenin parametrelerinin değer aralıkları kısıtlanarak serbest bırakıldı. Gebran vd. (2016) tarafından verilen $v \sin i = 50 \text{ km/s}$ ve Glagolevskij (2019) tarafından verilen $R=2.22 R_{\odot}$ değerleri kullanılarak, Stepień (1989) tarafından verilen

$$v \sin i = 50.6 \frac{R(R_{\odot})}{P(\text{gün})} \sin i \quad (3)$$

ifadesinden hareketle $i = 70^{\circ}$ olarak hesaplanarak leke modeli çözümünde HD 171586 yıldızının eğim açısı sabit bırakıldı. Dört leke varsayımı ile yapılan çözüm neticesinde elde edilen değerler, çizelge 4.10'da, her iki kod ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi şekil 4.14'de görülmektedir. χ^2 değerlerinde kayda değer önemli bir değişiklik görülmediğinden başka bir çözüm aranmamıştır.

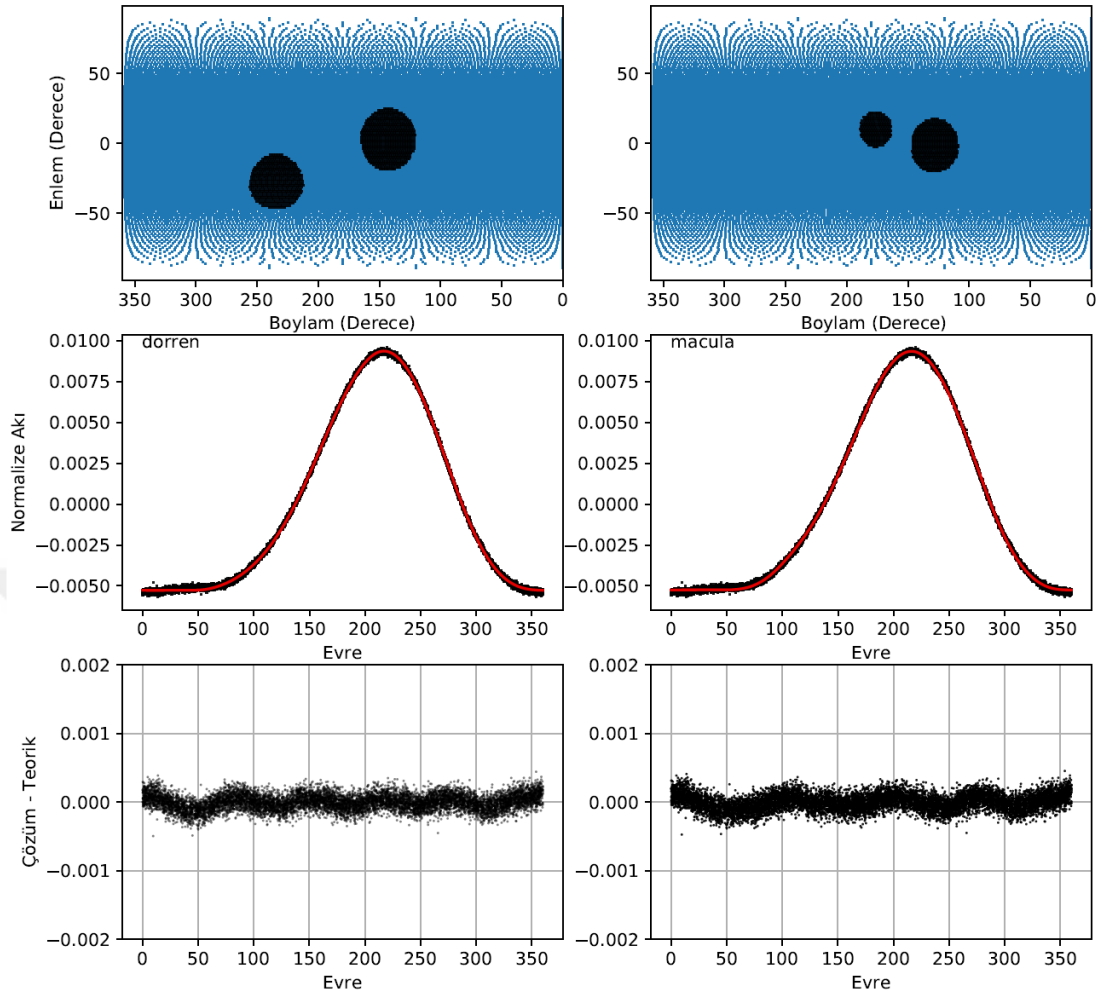
HD 171586 yıldızının dört leke varsayımıyla Macula çözümünden elde edilen farklı evrelerdeki üç boyutlu konfigürasyonu şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.11 HD 171586 yıldızının tek leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi

Çizelge 4.7 HD 171586 yıldızının tek leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri

Parametre	Dorren	Macula
P (gün) sabit	2.1055486	2.1055486
i	$30^\circ \pm 9$	$30^\circ \pm 10$
λ_1	$146^\circ.62 \pm 0.08$	$146^\circ.63 \pm 0.08$
β_1	$10^\circ \pm 5$	$9^\circ \pm 10$
γ_1	$20^\circ \pm 5$	$20^\circ \pm 15$
κ	1.20 ± 0.2	1.20 ± 0.4
χ^2	1.91E-04	2.02E-04



Şekil 4.12 HD 171586 yıldızının iki leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi

Çizelge 4.8 HD 171586 yıldızının iki leke kabulü altında elde edilen çözüm parametreleri

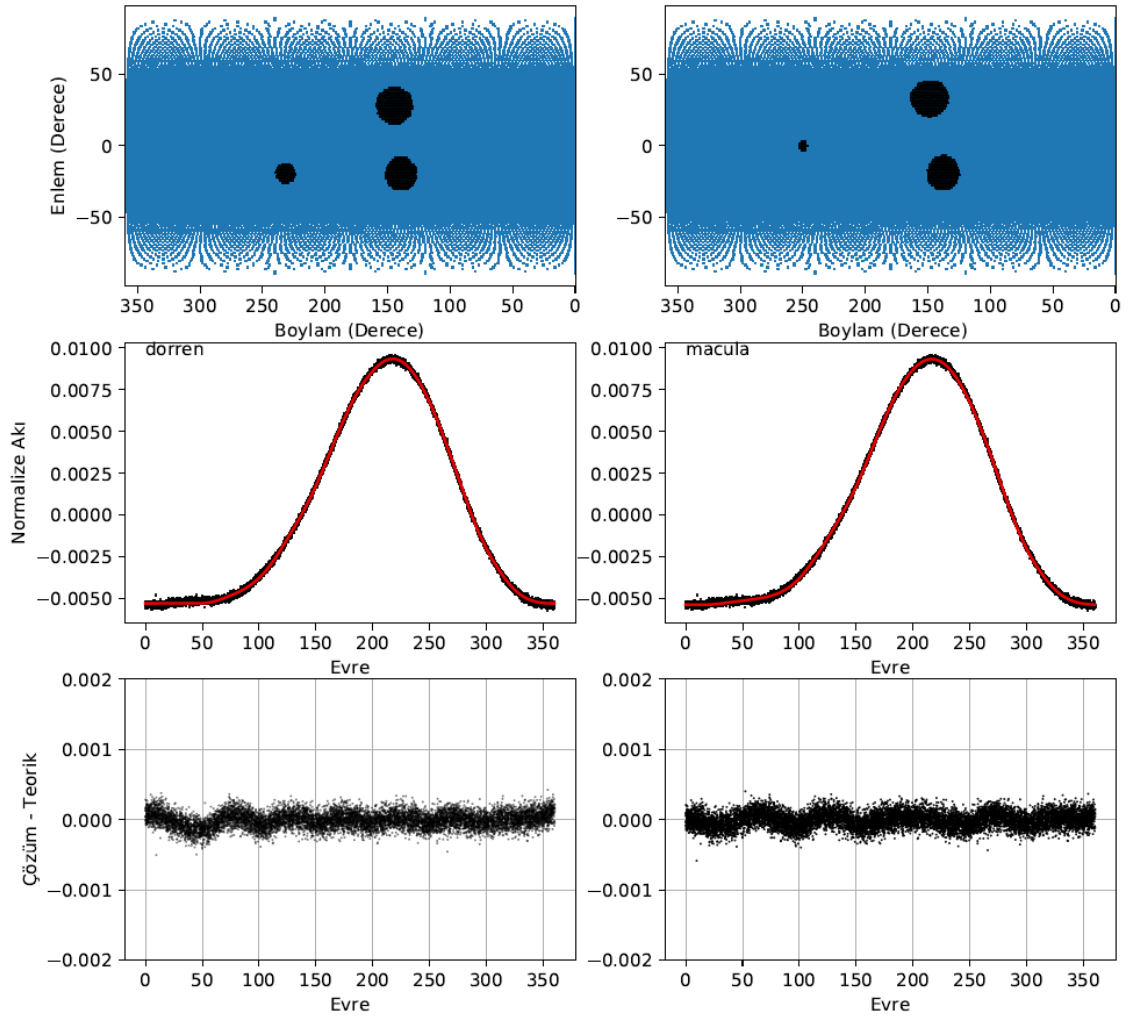
Parametre	Dorren	Macula
P (gün) sabit	2.1055486	2.1055486
i	$30^\circ \pm 5$	$30^\circ \pm 10$
λ_1	$143^\circ.01 \pm 0.09$	$128^\circ.3 \pm 0.3$
β_1	$3^\circ \pm 2$	$-1.8^\circ \pm 0.66$
γ_1	$23^\circ \pm 3$	$20^\circ \pm 6$
λ_2	$234^\circ.4 \pm 0.5$	$176^\circ.5 \pm 0.3$
β_2	$-28^\circ \pm 15$	$10^\circ \pm 4$
γ_2	$20^\circ \pm 11$	$13^\circ \pm 4$
κ	1.20 ± 0.09	1.2 ± 0.2
χ^2	9.48E-06	1.11E-05

Çizelge 4.9 HD 171586 yıldızının üç leke kabulü altında elde edilen çözüm parametreleri

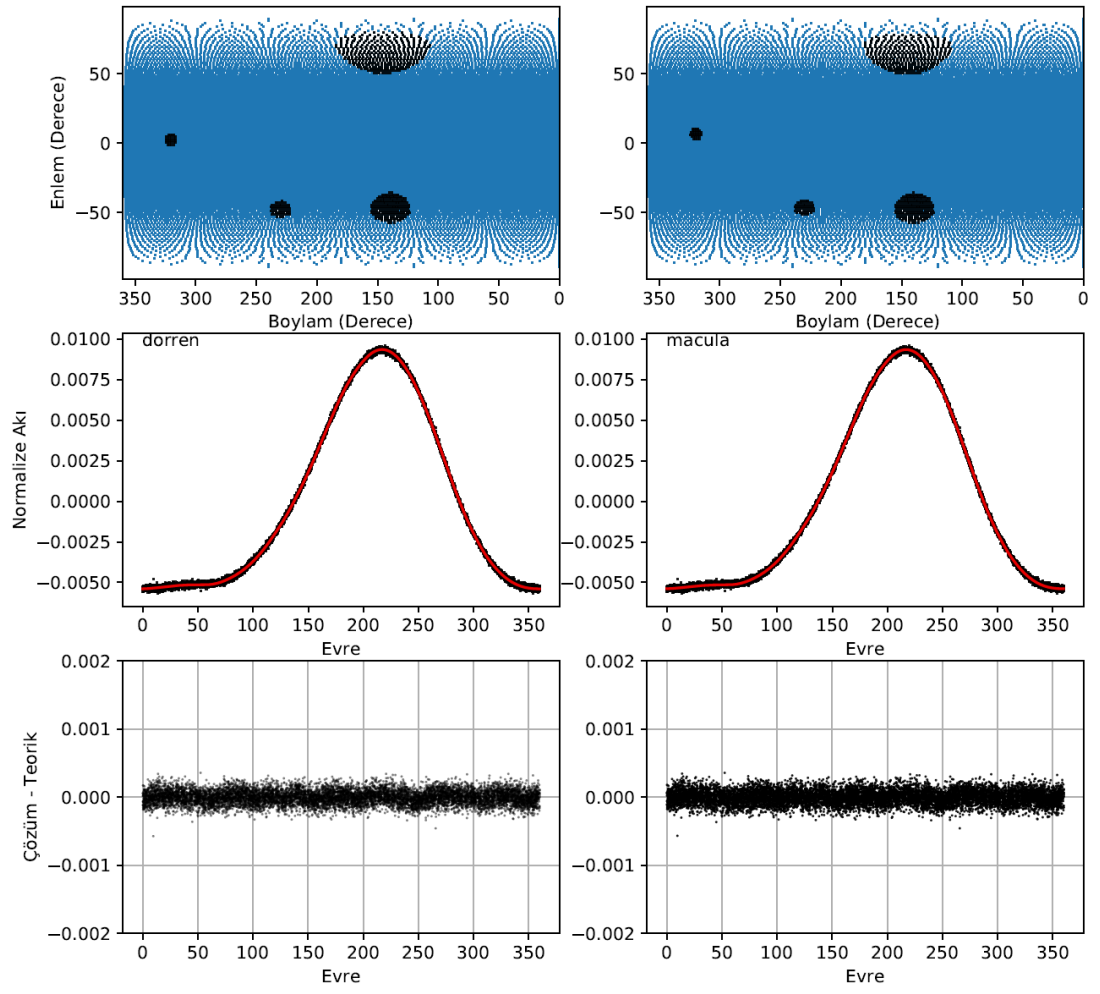
Parametre	Dorren	Macula
P (gün) sabit	2.1055486	2.1055486
i sabit	48°	48°
λ_1	$139^\circ.3 \pm 0.2$	$137^\circ.7 \pm 0.1$
β_1	$-19^\circ.5 \pm 0.3$	$-19^\circ.1 \pm 0.3$
γ_1	$11^\circ.7 \pm 0.3$	$12^\circ.1 \pm 0.3$
λ_2	$231^\circ.6 \pm 0.5$	$250^\circ \pm 2$
β_2	$-19^\circ.3 \pm 0.5$	$0^\circ \pm 2$
γ_2	$7^\circ.2 \pm 0.2$	$3^\circ.52 \pm 0.08$
λ_3	$144^\circ.6 \pm 0.2$	$148^\circ.4 \pm 0.1$
β_3	$27^\circ.9 \pm 0.2$	$32^\circ.8 \pm 0.1$
γ_3	$12^\circ.9 \pm 0.3$	$12^\circ.7 \pm 0.3$
κ	1.26 ± 0.01	1.27 ± 0.01
χ^2	8.61E-06	8.09E-06

Çizelge 4.10 HD 171586 yıldızının dört leke kabulü elde edilen çözüm parametreleri

Parametre	Dorren	Macula
P (gün)	2.1055486	2.1055486
i sabit	70°	70°
λ_1	$139^\circ.4 \pm 0.2$	$139^\circ.6 \pm 0.2$
β_1	$-46^\circ.9 \pm 0.4$	$-47^\circ.0 \pm 0.4$
γ_1	$11^\circ.0 \pm 0.1$	$11^\circ.1 \pm 0.1$
λ_2	$230^\circ.0 \pm 0.5$	$230^\circ.0 \pm 0.6$
β_2	$-47^\circ.8 \pm 0.7$	$-46^\circ.9 \pm 0.8$
γ_2	$6^\circ.1 \pm 0.1$	$5^\circ.7 \pm 0.1$
λ_3	$145^\circ.4 \pm 0.1$	$145^\circ.5 \pm 0.1$
β_3	$65^\circ.2 \pm 0.4$	$64^\circ.2 \pm 0.4$
γ_3	$15^\circ.3 \pm 0.2$	$14^\circ.9 \pm 0.1$
λ_4	$320^\circ.4 \pm 0.2$	$319^\circ.6 \pm 0.2$
β_4	$2^\circ \pm 2$	$7^\circ \pm 3$
γ_4	$4^\circ.76 \pm 0.09$	$4^\circ.56 \pm 0.09$
κ sabit	1.27	1°27
χ^2	9.004e-06	9.54e-06



Şekil 4.13 HD 171586 yıldızının üç leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi



Şekil 4.14 HD 171586 yıldızının dört leke kabulü altında Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi

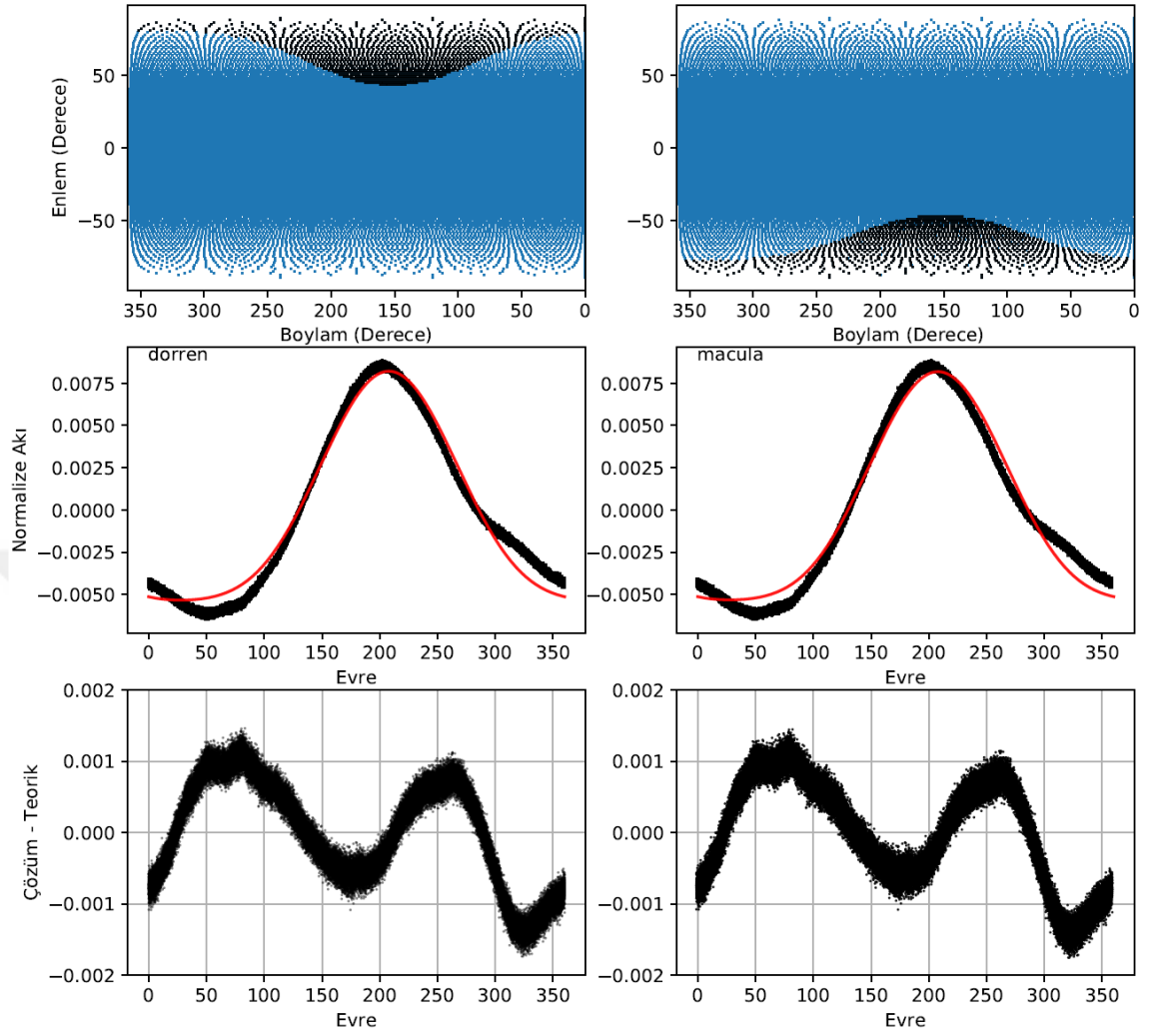
HD 170973 yıldızının çözümüne tıpkı HD 171586 yıldızında olduğu gibi tek leke varsayımıyla başlandı. Periyot değeri dışında bütün parametreler serbest bırakıldı. Çözüm parametreleri çizelge 4.11’de verilmiştir. Dorren ve Macula kodları ile elde edilen HD 170973 yıldızının yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıklar (alt panel) şekil 4.15’de verilmiştir.

İki lekeli model için birinci lekenin boylam değeri (λ) 0 - 5 derece aralığında ve κ değeri 1.1 - 1.4 aralığında olacak şekilde serbest bırakıldı. Algoritmanın bulmuş olduğu çözüm parametreleri çizelge 4.12’de ve her iki kod aracılığı ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıklar (alt panel) şekil 4.16’da verilmiştir.

Üçüncü leke varsayımı ile yapılan çözümde, eğim açısı ile birinci ve ikinci lekeye ilişkin boylam parametreleri sabit bırakılarak çözüm arandı. Bulunan çözüm parametreleri çizelge 4.13’de, her iki kod ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıklar (alt panel) şekil 4.17’de verilmiştir.

Üç leke kabulü altında yapılan çözümden elde edilen artıklar (χ^2 ; Dorren için $2.18E-05$, Macula için $1.76E-05$) dikkate alındığında, dört lekeli bir çözüme gidilmiştir. Bunun için eğim açısı $i = 30$ ve $i = 60$ derece için iki ayrı çözüm üzerinde duruldu. Diğer parametrelerin değer aralıkları kısıtlanarak serbest bırakıldı. Dört leke varsayımı ile yapılan çözüm neticesinde elde edilen parametreler, çizelge 4.14’de, her iki kod ile elde edilen yıldızın yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıklar (alt panel) $i = 30$ için şekil 4.18’de ve $i = 60$ için şekil 4.19’da verilmiştir.

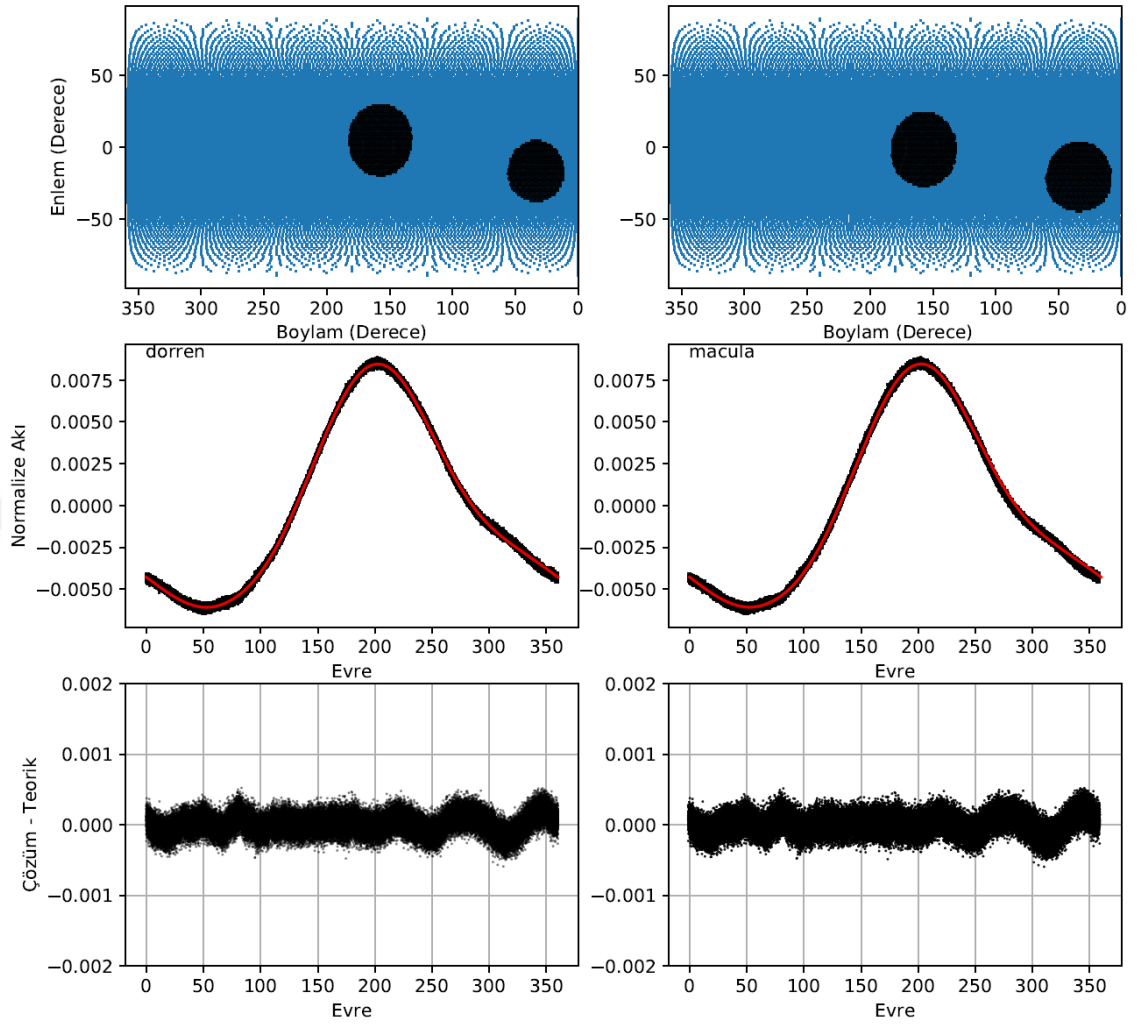
HD 170973 yıldızının dört leke varsayımıyla Macula çözümünden elde edilen farklı evrelerdeki üç boyutlu konfigürasyonu şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.15 HD 170973 yıldızının tek leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi

Çizelge 4.11 HD 170973 yıldızının tek leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri

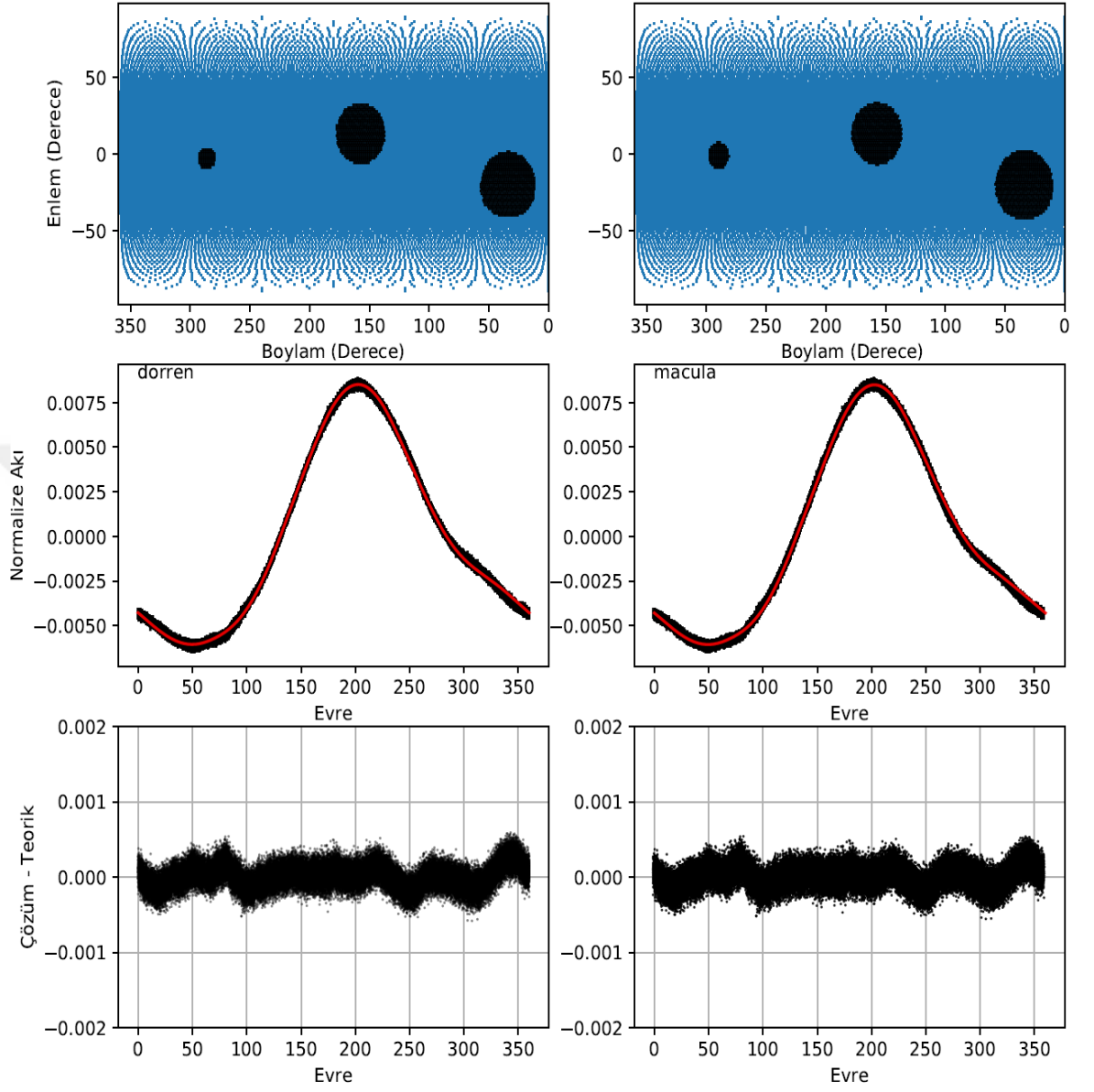
Parametre	Dorren	Macula
P (gün) sabit	18.0569	18.0569
i	$89^\circ \pm 52$	$87^\circ \pm 66$
λ_1	$152^\circ.1 \pm 0.2$	$152^\circ.1 \pm 0.2$
β_1	$72^\circ \pm 32$	$-75^\circ \pm 14$
γ_1	$29^\circ \pm 32$	$29^\circ \pm 53$
κ	1.7 ± 0.2	1.7 ± 0.4
χ^2	1.01E-03	1.02E-03



Şekil 4.16 HD 170973 yıldızının iki leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi

Çizelge 4.12 HD 170973 yıldızının iki leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri

Parametre	Dorren	Macula
P (gün) sabit	18.0569	18.0569
i	$23^\circ \pm 4$	$19^\circ \pm 4$
λ_1	$157^\circ.43 \pm 0.05$	$157^\circ.39 \pm 0.06$
β_1	$5^\circ \pm 2$	$-2^\circ \pm 2$
γ_1	$26^\circ \pm 4$	$26^\circ \pm 4$
λ_2	$33^\circ.8 \pm 0.3$	$33^\circ.9 \pm 0.3$
β_2	$-17^\circ \pm 4$	$-21^\circ \pm 8$
γ_2	$22^\circ \pm 4$	$25^\circ \pm 8$
κ	1.20 ± 0.09	1.3 ± 0.1
χ^2	1.44E-05	1.48E-05



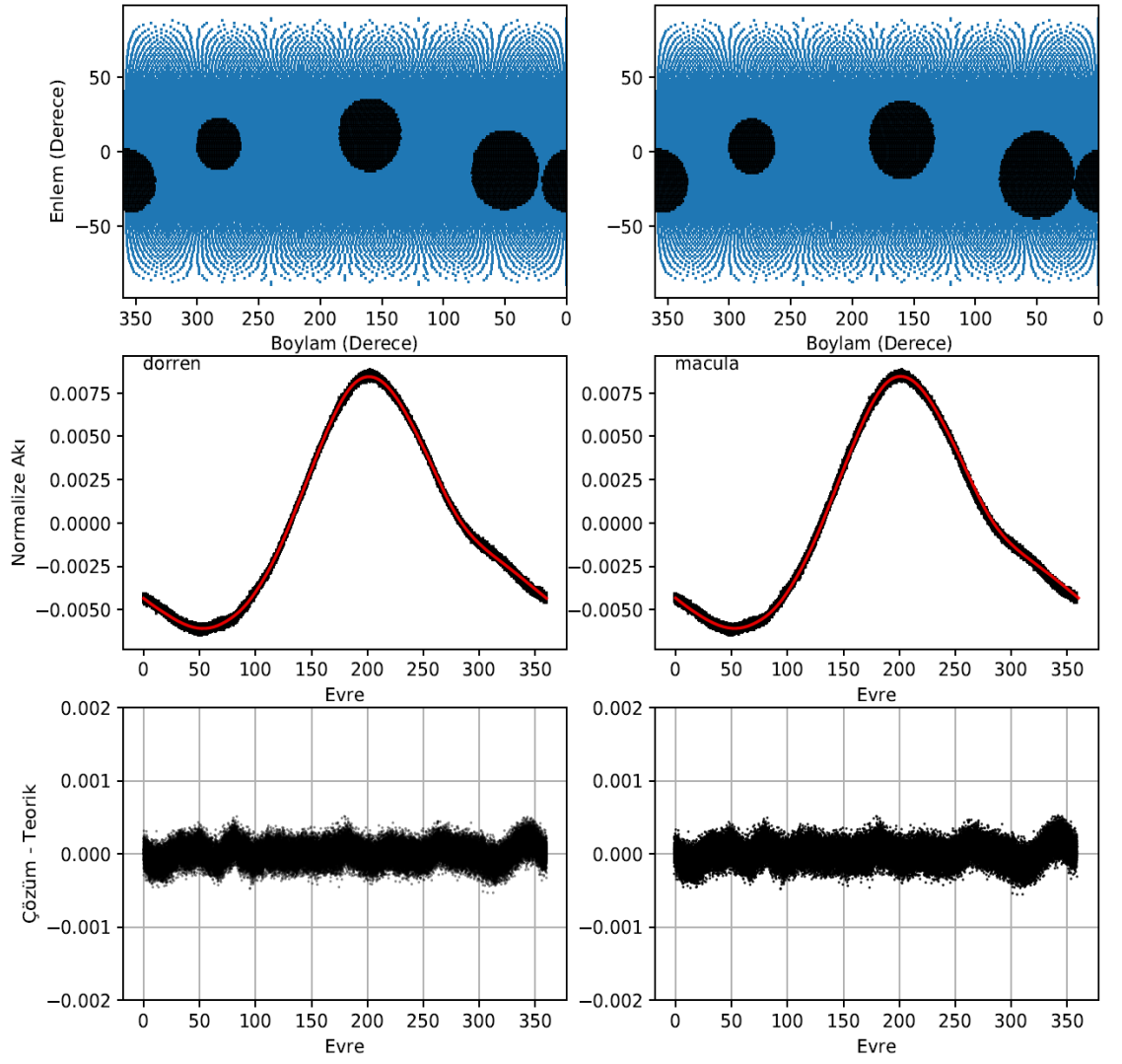
Şekil 4.17 HD 170973 yıldızının üç leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi

Çizelge 4.13 HD 170973 yıldızının üç leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri

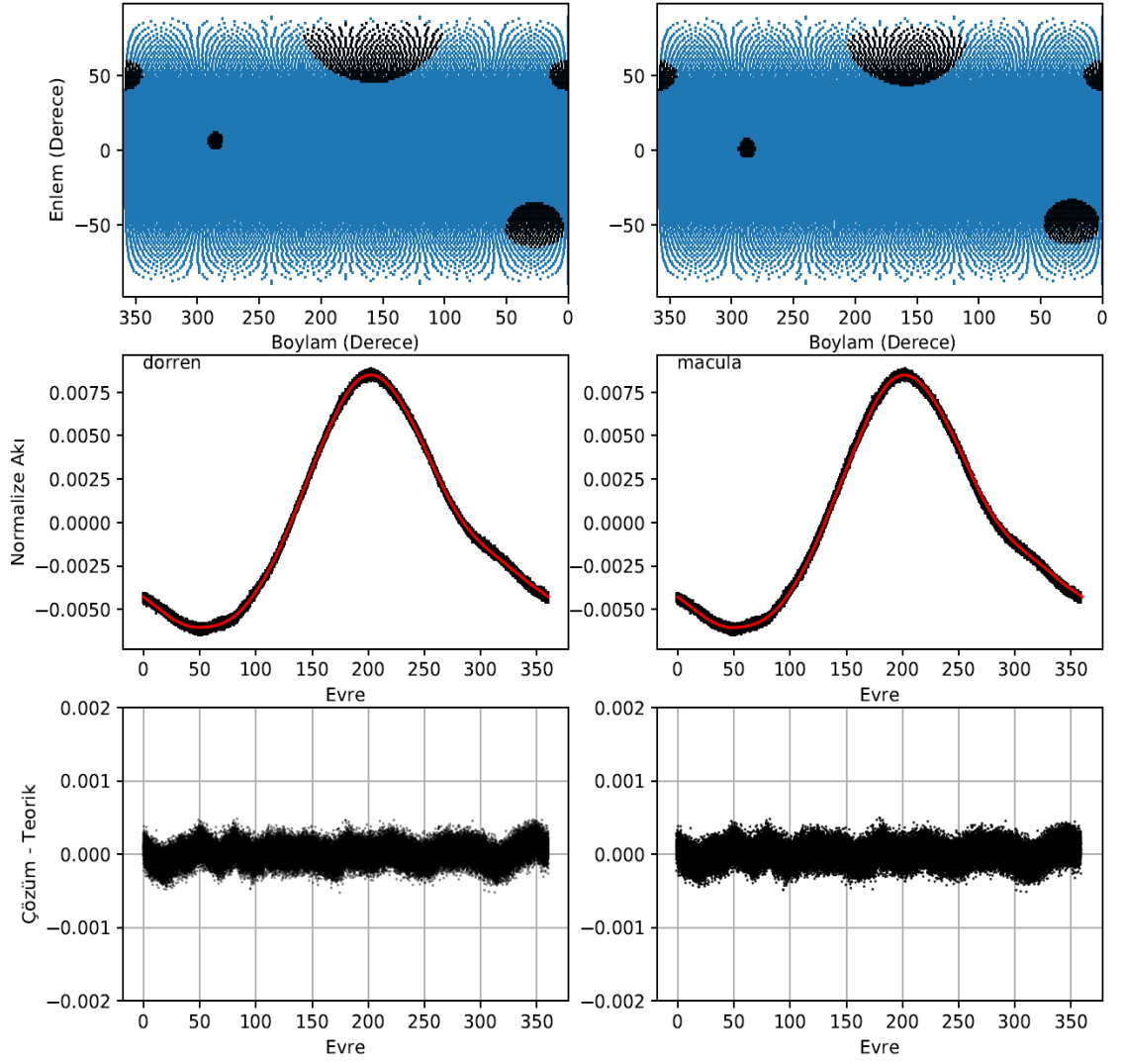
Parametre	Dorren	Macula
P (gün) sabit	18.0569	18.0569
i sabit	30°	30°
λ_1 sabit	$157^\circ.4$	$157^\circ.4$
β_1	$13.6^\circ \pm 0.1$	$12.6^\circ \pm 0.1$
γ_1	$19^\circ.8 \pm 0.2$	$20^\circ.3 \pm 0.1$
λ_2 sabit	34°	34°
β_2	-21 ± 2	-24 ± 3
γ_2	$21^\circ.5 \pm 0.2$	$22^\circ.6 \pm 0.2$
λ_3	$286^\circ.2 \pm 0.3$	$289^\circ.7 \pm 0.2$
β_3	$-2^\circ.9 \pm 0.6$	$-1^\circ.3 \pm 0.3$
γ_3	$7^\circ.1 \pm 0.1$	$8^\circ.6 \pm 0.1$
κ	1.20 ± 0.01	1.20 ± 0.01
χ^2	2.18E-05	1.76E-05

Çizelge 4.14 HD 170973 yıldızının dört leke varsayımı ile elde edilen çözüm parametreleri

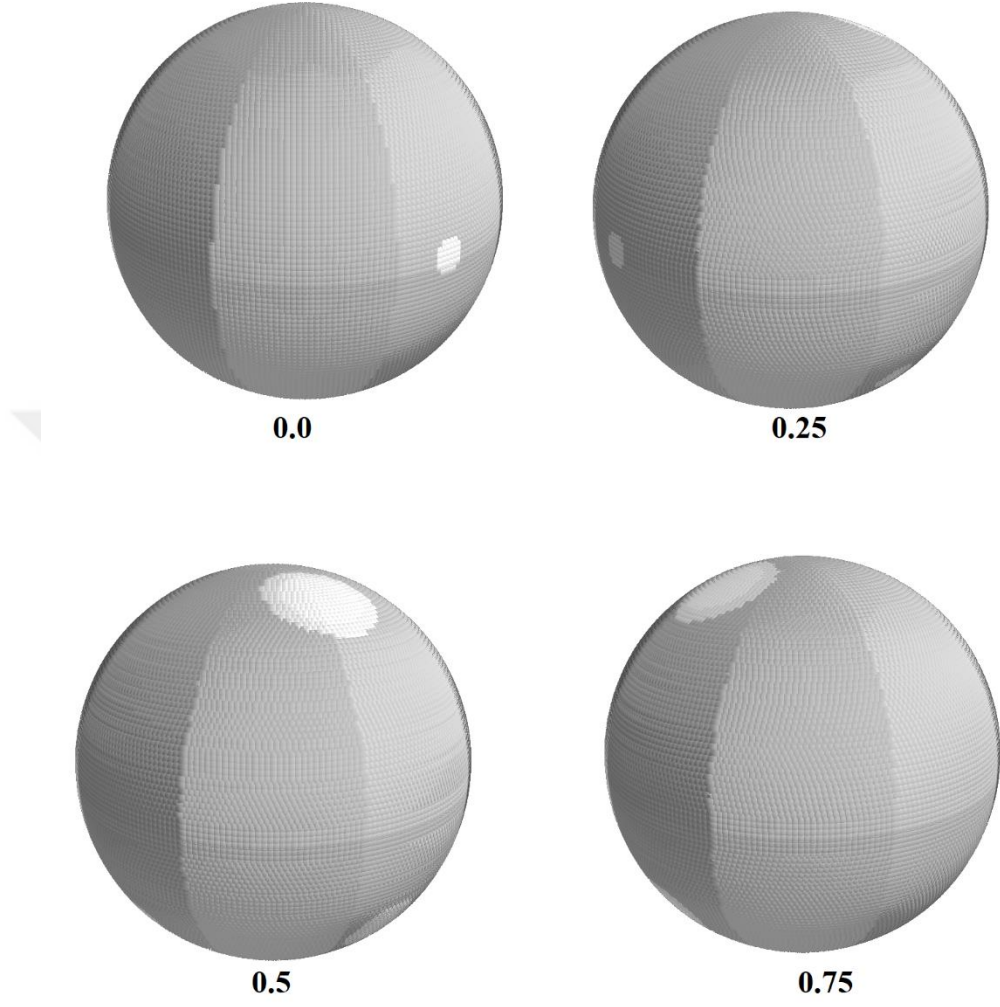
Parametre	Dorren		Macula	
P (gün) sabit	18.0569		18.0569	
i sabit	30°	60°	30°	60°
λ_1	$159^\circ.8 \pm 0.4$	$158^\circ.2 \pm 0.3$	$159^\circ.7 \pm 0.4$	$158^\circ.4 \pm 0.2$
β_1	$11^\circ.3 \pm 0.5$	$66^\circ \pm 2$	$7^\circ.8 \pm 0.5$	$62^\circ.6 \pm 0.5$
γ_1	$24^\circ.6 \pm 0.2$	$20^\circ.4 \pm 0.8$	$26^\circ.0 \pm 0.3$	$19^\circ.8 \pm 0.3$
λ_2	$50^\circ.0 \pm 0.8$	$26^\circ.9 \pm 0.3$	$50^\circ.0 \pm 0.8$	$25^\circ.2 \pm 0.3$
β_2	$-13^\circ \pm 2$	$-50^\circ \pm 2$	$-16^\circ \pm 3$	$-48^\circ \pm 2$
γ_2	$27^\circ \pm 2$	$15^\circ \pm 2$	$30^\circ \pm 3$	$15^\circ \pm 2$
λ_3	$282^\circ.7 \pm 0.7$	$285^\circ.5 \pm 0.5$	$281^\circ.8 \pm 0.8$	$287^\circ.6 \pm 0.5$
β_3	$4^\circ.9 \pm 0.4$	$6^\circ \pm 2$	$3^\circ.5 \pm 0.4$	$1^\circ.0 \pm 0.9$
γ_3	$17^\circ.8 \pm 0.3$	$5.9^\circ \pm 0.2$	$18^\circ.6 \pm 0.4$	$6^\circ.6 \pm 0.1$
γ_4	$357^\circ \pm 2$	$360^\circ \pm 0.8$	$357^\circ \pm 2$	$360^\circ \pm 0.6$
λ_4	$-21^\circ \pm 4$	$50^\circ \pm 2$	$-20^\circ \pm 3$	$49^\circ.6 \pm 0.8$
β_4	$22^\circ \pm 3$	$10^\circ \pm 0.5$	$22^\circ \pm 2$	$10^\circ \pm 0.3$
κ sabit	1.25		1.25	
χ^2	9.70E-06	9.39E-06	1.16E-05	7.93E-06



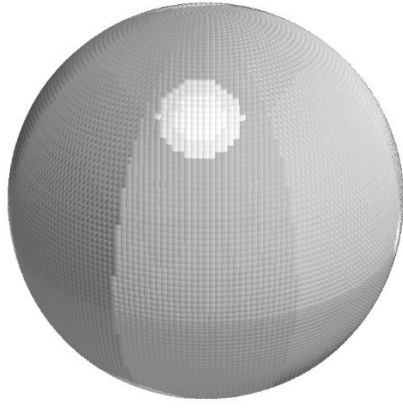
Şekil 4.18 HD 170973 yıldızının dört leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi ($i = 30$)



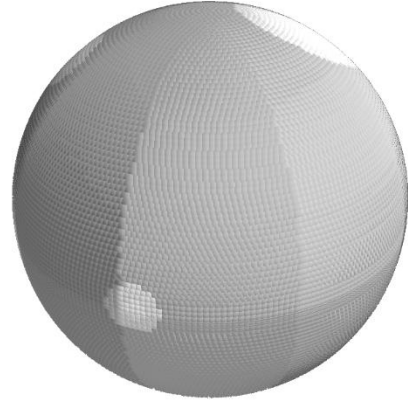
Şekil 4.19 HD 170973 yıldızının dört leke varsayımı ile Dorren (sol panel) ve Macula (sağ panel) ile elde edilen yüzey haritası (üst panel), ışık eğrisi (orta panel) ve artıkların (alt panel) evreye göre değişimi ($i = 60$)



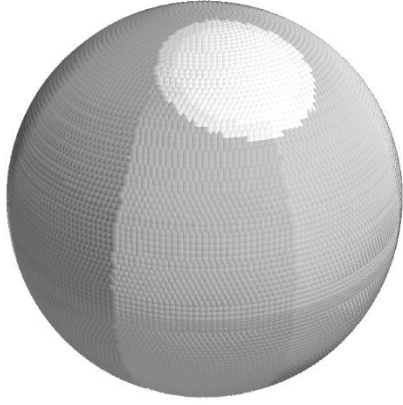
Şekil 4.20 HD 171586 için Dorren çözümünden elde edilen dört farklı evredeki üç boyutlu konfigürasyonu



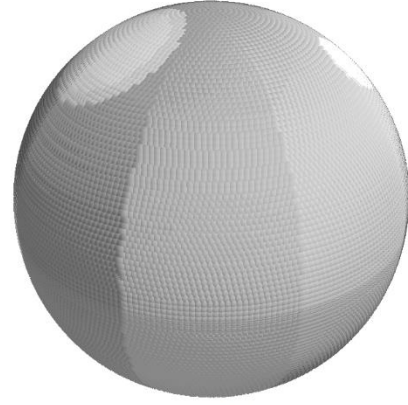
0.0



0.25



0.5



0.75

Şekil 4.21 HD 170973 için Macula çözümünden elde edilen dört farklı evredeki üç boyutlu konfigürasyonu

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında kimyasal bakımdan sıra dışı iki yıldıza (HD 171586 ve HD 170973) ait fotometrik veriler kullanılarak bu yıldızların dönme periyotları belirlendi. Fotometrik ışık eğrileri leke modelleri ile fit edilirken leke sayıları küçükten büyüğe doğru artırılmış ve gözlemlerle en iyi uyumun sağlandığı leke parametreleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda her iki yıldızın farklı enlem ve boylamlarında olmak üzere en az üç sıcak leke ile modellenebileceği anlaşılmıştır.

Leke analizi gerçekleştirilen HD 171586 ve HD 170973 yıldızları, CoRoT arşivinde manyetik özellikli ve kimyasal sıra dışı (mCP) yıldızlar arasında bulunmaktadır. Bu iki yıldızın CoRoT verilerine dayalı olarak gerçekleştirilmiş ilk çalışmadır.

Yapılan analizlerden HD 171586 ve HD 170973 yıldızlarının dönme periyotları sırasıyla 2.1055486 gün ve 18.0569225 gün olarak bulunmuştur. Bu değerler, Yer tabanlı fotometrik verilerle bulunan 2.1436 gün (Winzer 1974a) ve 18.0642(5) gün (Adelman 2008) ile uyumludur ve gözlemsel verilerin zamana göre sürekliliği nedeniyle çok daha duyarlı bir şekilde elde edilmiştir. Sırasıyla HD 171586 ve HD 170973 yıldızları için elde edilen dönme periyotları arasındaki farklar -0.0380514 gün (~ -54.79 dk) ve -0.0072775 gün (~ -10.48 dk), Yer tabanlı fotometrik verilerdeki eksikliklerden kaynaklanabileceği gibi, yıldız yüzeyinde bulunan lekelerin konum ve biçimsel değişiminden kaynaklı olabilir. Gelecekte gerçekleştirilecek çevrim sayısı bakımından fazla, duyarlı ve kesintisiz gözlemsel verilere dayalı benzer araştırmalar, söz konusu mCP tipi yıldızların doğasını anlamamıza katkı sağlayacaktır.

HD 171586 ve HD 170973 yıldızlarının leke modellemesinde kullanılan Dorren ve Macula kodlarının bu tez çalışması ile Python programlama dili üzerinden paket program olarak çalıştırılması sağlanmıştır. Python programlama dilinin LMFIT paketi sayesinde, Dorren ve Macula kodlarının üretmiş olduğu sentetik ışık eğrileri ile gözlemsel ışık eğrilerinin karşılaştırması yapılmış olup, en uygun leke parametreleri bulununcaya kadar parametrelerin değiştirilmesi sağlanmıştır.

Yıldızların yüzey yapılarının modellenmesinde kullanılan parametrelerin belirlenebilmesi için Python programlama dilinde bir algoritma yazılmıştır. Hazırlanan

algoritmanın test edilmesi ve fotometrik analizlere hazır hale getirilmesi için sanal yıldız modelleri kurgulanmıştır. Bu modellerle yapılan fotometrik analizlerde yıldızlara ilişkin gözlem verileri girilmek suretiyle, hem Dorren hem de Macula kodları yardımıyla sentetik ışık eğrileri üretilmiş, leke analizleri gerçekleştirilerek her iki kodun karşılaştırılması yapılmıştır. İki farklı program ile elde edilen sonuçlar arasındaki küçük farklılıkların temel olarak Dorren ve Macula programları tarafından kullanılan kenar kararım katsayılarındaki farklılıklardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Dorren lineer kenar kararım katsayıları kullanırken; Macula programı doğrusal olmayan (dört parametrelili) kenar kararım katsayılarını kullanmaktadır.

Daha önce çalışılmış olan mCP tipi HD 49310 yıldızının gözlemsel verileri bu çalışmada test amacıyla kullanılmış ve yapılan incelemeler sonucunda Paunzen vd. (2015) tarafından belirlenen dört lekeli yıldız modeli ile uyumlu sonuçlara ulaşıldığı anlaşılmıştır.

Üzerinde çalıştığımız HD 171586 ve HD 170973 yıldızları için leke çözümü gerçekleştirilirken eşzamanlı olarak çok lekeli çözüm yerine, öncelikli olarak ışık eğrisinde ana değişime neden olacak tek lekeli çözüm aranmış, ardından çözümün daha da iyileştirilmesi amacıyla ikinci, üçüncü ve dördüncü leke modellerinin eklenmesi şeklinde bir çözüm yöntemi tercih edilmiştir. HD 171586 ve HD 170973 yıldızları için en az üç leke ile yüzey yapıları modellenenmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında yıldız yüzeyinde farklı element bollukları nedeniyle (örn. mCP tipi) veya manyetik etkinlik nedeniyle ortaya çıkabilecek parlaklık değişimlerinin modellenmesi için çeşitli algoritma ve çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Uzay teleskoplarının ürettiği kaliteli fotometrik gözlem verileri, yıldızların fotometrik leke modellenmesinde önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bu çalışma ile uyarlanan Dorren ve Macula kodları ile söz konusu veriler kullanılarak leke modellemesi ile ilgili fotometrik çalışmaların yapılabilmesi mümkün olacaktır. Bu tez kapsamında hazırlanan algoritmanın geliştirilmesi ile birlikte fotometrik çalışmalar, yıldız yüzey yapılarının tayfsal Doppler görüntüleme tekniği ile modellenmesinde tamamlayıcı rol oynayacaktır. Ayrıca algoritmanın zamana göre değişen leke modellerini yapabilecek şekilde geliştirilmesi de mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abt, H. A. 1985. Visual multiples. VIII - 1000 MK types. *Astrophysical Journal Supplement Series* (ISSN 0067-0049), vol. 59, Sept. p. 95-112.
- Abt, Helmut A. and Morrell, Nidia I. 1995. The Relation between Rotational Velocities and Spectral Peculiarities among A-Type Stars. *Astrophysical Journal Supplement* v.99, p.135.
- Abt, Helmut A. 2004. Spectral Classification of Stars in A Supplement to the Bright Star Catalogue. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 155, Issue 1, p. 175-177.
- Adams, Walter S., Joy, Alfred H., Humason, Milton L., Brayton, Ada Margaret. 1935. The Spectroscopic Absolute Magnitudes and Parallaxes of 4179 Stars. *Astrophysical Journal*, vol. 81, p.187.
- Adelman, S. J. 1997. UVBY photometry of the magnetic chemically peculiar stars HD 37776, HR 2258, HR 6958, and 108 Aquarii. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, Vol. 125, October 1997, p.65-70.
- Adelman, S. J. 1998. On the HIPPARCOS photometry of chemically peculiar B, A, and F stars. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, v.132, p.93-97.
- Adelman, S. J. 2008. FCAPT uvby Photometry of the mCP Stars HD 86592, HR 4330, HR 6958, and HR 7786. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 120, Issue 866, p. 367.
- Adelman, S. J. 2004. The extraordinary photometric changes of the CP2 star HR 7224. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 351, Issue 3, p.823-825.
- Adelman, S. J., Dukes, R. J., Jr., Pyper, D. M. 1992. Photometry of eight magnetic peculiar A stars. *Astronomical Journal* (ISSN 0004-6256), vol. 104, no. 1, p. 314-326.
- Adelman, S. J. and Fried, R. 1993. UBV and UVBY photometry of the magnetic CP star 56 ARIETIS - 1990 and 1991. *Astronomical Journal* (ISSN 0004-6256), vol. 105, no. 3, p.1103-1107.
- Adelman, S. J. and Rayle, K. E. 2000. On the effective temperatures, surface gravities, and optical region fluxes of the CP stars. *Astronomy and Astrophysics*, v.355, p.308-314.
- Adelman, S. J. and Woodrow, S. L. 2007. uvby FCAPT Photometry of Six Small-Amplitude mCP Stars. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 119, Issue 861, p.1256-1267.
- Aurière, M., Wade, G. A., Silvester, J., Lignières, F., Bagnulo, S., vd. 2007. Weak magnetic fields in Ap/Bp stars. Evidence for a dipole field lower limit and a tentative

- interpretation of the magnetic dichotomy. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 475, Issue 3, December I 2007, p.1053-1065.
- Auvergne, M., Bodin, P., Boissard, L., Buey, J. -T., Chaintreuil, S., Epstein, G., vd. 2009. The CoRoT satellite in flight: description and performance. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 506, Issue 1, p.411-424.
- Babcock, H. W. 1947. Zeeman Effect in Stellar Spectra. *Astrophysical Journal*, vol. 105, p.105
- Babcock, H. W. 1949. The Observatory, Vol. 69, p.191-192.
- Babcock, H. W. 1958. A Catalog of Magnetic Stars.. *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 3, p.141.
- Baglin, A., Michel, E., Auvergne, M., COROT Team. 2006. The seismology programme of the CoRoT space mission. *Proceedings of SOHO 18/GONG 2006/HELAS I, Beyond the spherical Sun (ESA SP-624)*. 7-11 August 2006, Sheffield, UK. Editor: Karen Fletcher. Scientific Editor: Michael Thompson, Published on CDRom, id.34
- Baglin A., Chaintreuil S., and Vandermarcq, O. 2016. The CoRoT observations. *The CoRoT Legacy Book*, p.29-40, DOI: 10.1051/978-2-7598-1876-1.c021
- Bertaud, C. and Floquet, M. 1967. Observations spectrographiques d'etoiles A a spectre particulier et a raies metalliques, *Journal des Observateurs*, Vol. 50, p. 425
- Bohlender, D. A., Landstreet, J. D., Thompson, Ian B. 1993. A study of magnetic fields in AP SI and He weak stars. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 269, p. 355-376.
- Boisse, I., Bonfils, X., Santos, N. C. 2012. SOAP. A tool for the fast computation of photometry and radial velocity induced by stellar spots. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 545, id.A109, 9.
- Budding, E. 1977. The Interpretation of Cyclical Photometric Variations in Certain Dwarf ME-Type Stars. *Astrophysics and Space Science*, Volume 48, Issue 1, pp.207-223.
- Burke, E. W. and Jr., Barr, T. H. 1981. Photometric UBV period study of eight AP stars., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 93, p.344-350 (1981).
- Cameron, R. C. 1966. An Investigation of the Magnetic and Related Stars Through Photoelectric Narrowband Photometry. Thesis (Ph.D.)--GEORGETOWN UNIVERSITY, 1966.Source: Dissertation Abstracts International, Volume: 27-11, Section: B, p.3767.
- Cannon, A. J. and Pickering, E. C. 1918-1924. *VizieR Online Data Catalog: Henry Draper Catalogue and Extension (Cannon+ 1918-1924, ADC 1989)*.
- Catalano, F. A. and Renson, P. 1998. The observed periods of AP and BP stars. *Astronomy and Astrophysics Supplement*. v.127, p.421-422.

- Collier C., A. 1997. Eclipse mapping of late-type close binary stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 287, Issue 3, p.556-566.
- Cowley, A., Cowley, C., Jaschek, M., Jaschek, C. 1969. A study of the bright A stars. I. A catalogue of spectral classifications. *Astronomical Journal*, Vol. 74, p.375 - 406.
- Cowling, T., G. 1945. On the Sun's general magnetic field. *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 105, 166 (1945).
- Crawford, D. L. 1963. u, b, v, and $H\beta$ Photometry for the Bright B8- and B9-TYPE Stars. *Astrophysical Journal*, vol. 137, p.530.
- Crawford, D. L., Barnes, J. V., Golson, J. C., Hube, D. P. 1973. Four-color and Hbeta photometry for the bright B8 and B9 type stars north of declination -10. *Astronomical Journal*, Vol. 78, p.738-746.
- Deutsch, A. J. 1958. in I.A.U. Symp. No. 6, ed. B. Lehnert (Amsterdam: North-Holland Publishing Co.) p. 209.
- Deutsch, A. J. 1970. Harmonic Analysis of Rigidly Rotating AP Stars. *Astrophysical Journal*, vol. 159, p.985.
- Dorren, J. D. 1987. A New Formulation of the Starspot Model, and the Consequences of Starspot Structure. *Astrophysical Journal* v.320, p.756.
- Edwards, D. L. 1930. Spectroscopic parallaxes of B-type stars (Sixth paper): the spectral types and parallaxes of 175 stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 90, p.523.
- Eggen, O. J. 1955. Magnitudes and colors for 833 Northern and Southern stars. *Astronomical Journal*, Vol. 60, p.65.
- Eker, Z. 1994. Modeling Light Curves of Spotted Stars. *Astrophysical Journal* v.420, p.373.
- Floquet, M. 1981. Effective temperature of AP stars. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 101, p. 176-183.
- Gebran, M., Farah, W., Paletou, F., Monier, R., Watson, V. 2016. A new method for the inversion of atmospheric parameters of A/Am stars. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 589, id.A83, 10.
- Georges, M. 1970. Diffusion Processes in Peculiar a Stars. *Astrophysical Journal*, vol. 160, p.641.
- Glagolevskij, Yu. V. 1994. A new list of effective temperatures of chemically peculiar stars. II. *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory*, Vol. 38, p.152-168.
- Glagolevskij, Yu. V. 2007. Magnetic-field dependence of chemical anomalies in CP stars. *Astrophysical Bulletin*, Volume 62, Issue 3, pp.244-256.

- Glagolevskij, Yu. V. 2017. General Properties of Magnetic CP Stars. *Astrophysical Bulletin*, 2017, Vol. 72, No. 3, p.305–320.
- Glagolevskij, Yu. V. 2019. On Properties of Main Sequence Magnetic Stars. *Astrophysical Bulletin*, Volume 74, Issue 1, p.66-79.
- Golay, M. 1972. Spectral classification through seven-colour photometry. *Vistas in Astronomy*, vol. 14, Issue 1, p.13-51.
- Gomez, A. E., Luri, X., Grenier, S., Figueras, F., North, P., vd. 1998. The HR-diagram from HIPPARCOS data. Absolute magnitudes and kinematics of BP - AP stars. *Astronomy and Astrophysics*, v.336, p.953-959.
- Gray, R. O., and Corbally, C. J. 2002. A Spectroscopic Search for λ Bootis and Other Peculiar A-Type Stars in Intermediate-Age Open Clusters. *The Astronomical Journal*, Volume 124, Issue 2, pp. 989-1000.
- Grønbech, B. and Olsen, E. H. 1976. Four-color uvby photometry for bright O to G0 type stars south of declination +10. *Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser.*, Vol. 25, p. 213-270
- Hauck, B., and Mermilliod, M. 1998. uvbybeta photoelectric photometric catalogue. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v.129, p.431-433.
- Heck, A., Manfroid, J. 1980. uvby-beta photometry of equatorial and southern bright stars. II. *Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser.*, Vol. 42, p.311-318.
- Hümmerich, S., Mikulášek, Z., Paunzen, E., Bernhard, K., vd. 2018. The Kepler view of magnetic chemically peculiar stars. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 619, id.A98, 20.
- Kipping, D. M. 2012. An Analytic Model for Rotational Modulations in the Photometry of Spotted Stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 2487.
- Kochukhov O. 2011. in Prasad Choudhary D., Strassmeier K. G., eds, IAU Symposium Vol. 273. *Physics of Sun and Star Spots*. pp 249{255 (arXiv.1010.0264), doi.10.1017/S1743921311015328.
- Kochukhov, O. 2017. Doppler imaging of chemical spots on magnetic Ap/Bp stars. Numerical tests and assessment of systematic errors. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 597, id.A58, 15.
- Kochukhov, O. and Bagnulo, S. 2006. Evolutionary state of magnetic chemically peculiar stars. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 450, Issue 2, May I 2006, p.763-775.
- Kochukhov, O., Wade, G. A. 2010. Magnetic Doppler imaging of $\alpha 2$ Canum Venaticorum in all four Stokes parameters. Unveiling the hidden complexity of stellar magnetic fields. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 513, id.A13, 15.

- Krtićka, J., Mikulášek, Z., Lüftinger, T., Shulyak, D. vd. 2012. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 537, id.A14, 14.
- Kurtz, D. W. 2000. Pulsation of chemically peculiar and pre-main sequence stars in the delta Scuti instability strip. in M. Breger and M. Montgomery (eds.). *ASP Conference Series*, (San Francisco:ASP) ISBN: 1-58381-041-2, vol.210, 287-308.
- Lanza, A. F., Bonomo, A. S., Moutou, C. vd. 2010. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 520, id.A53, 13.
- Lenz, P. and Breger, M. 2005. Period04 User Guide. *Communications in Asteroseismology*, vol. 146, p.53-136.
- Lockyer, N. and Baxandall, F. E. 1906. Some Stars with Peculiar Spectra, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, Volume 77, Issue 520, p.550-553.
- Lomb, N. R. 1976. Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data. *Astrophysics and Space Science*, vol. 39, p.447-462.
- Lüftinger, T., Fröhlich, H.-E., Weiss, W. W., Petit, P. 2010. Surface structure of the CoRoT CP2 target star HD50773. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 509, id.A43, 11.
- Mathys, G. 1995. Spectropolarimetry of magnetic stars. V. The mean quadratic magnetic field. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 293, p.746-763.
- Mestel, L. 1967. "Fossil" Magnetic Fields and the Oblique-Rotator Model. *Magnetic and Related Stars*, *Proceedings of the AAS-NASA Symposium on the Magnetic and other Peculiar and Metallic-Line A Stars*, held at Greenbelt, Maryland, November 8-10
- Michaud, G. Proffitt, C. R. 1993. Particle transport processes. Inside the stars. *Proceedings of the 137th IAU Colloquium, Univ. of Vienna, Austria, Apr. 13-18, 1992* (A93-53126 23-90), p. 246-259.
- Mislis, D., Schmitt, J. H. M. M., Carone, L., Guenther, E. W., Pätzold, M. 2010. An algorithm for correcting CoRoT raw light curves. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 522, id.A86, 8.
- Montalto, M., Boué, G., Oshagh, M., Boisse, I., Bruno, G., Santos, N. C. 2014. Improvements on analytic modelling of stellar spots. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 444, Issue 2, p.1721-1728.
- Morgan, W. W. 1933. Some Evidence for the Existence of a Peculiar Branch of the Spectral Sequence in the Interval B8-Fo. *Astrophysical Journal*, vol. 77, p.330.
- Morgan, W. W. 1931. *Studies in Peculiar Stellar Spectra. I. The Manganese Lines in α Andromedae*, *Astrophysical Journal*, vol. 73, p.104.

- Netopil M., Paunzen E., Hümmerich S., Bernhard K. 2017. An investigation of the rotational properties of magnetic chemically peculiar stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 468, Issue 3, p.2745-2756.
- Newville, M., Otten, R., Nelson, A., Ingargiola, A., vd. 2019. *lmfit/lmfit-py* (Version 0.9.14). Zenodo: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3381550>.
- North, P. and Adelman, S. J. 1995. Stroemgren and Geneva photometry of the magnetic CP stars 56 Tauri, HD 111133, HD 126515 and HD 215441. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v.111, p.41.
- Oshagh, M., Boisse, I., Boué, G., Montalto, M. 2013. SOAP-T: a tool to study the light curve and radial velocity of a system with a transiting planet and a rotating spotted star. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 549, id.A35, 8.
- Özavcı, I., Şenavcı, H. V., Işık, E., Hussain, G. A. J., O'Neal, D., Yılmaz, M., Selam, S. O. 2018. Recurrent star-spot activity and differential rotation in KIC 11560447. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 474, Issue 4, p.5534-5548
- Paunzen, E., Fröhlich, H.-E., Netopil, M., Weiss, W. W., Lüftinger, T. 2015a. The CoRoT chemical peculiar target star HD49310. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 574, id.A57, 5 pp.
- Paunzen, E. 2015b. A new catalogue of Strömgren-Crawford uvby β photometry. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 580, id.A23, 3.
- Pires, Sandrine, Mathur, Savita, García, Rafael A., Ballot, Jérôme, Stello, Dennis, Sato, Kumiko. 2015. Gap interpolation by inpainting methods: Application to ground and space-based asteroseismic data. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 574, id. A18, 10 pp.
- Preston, G. W. 1971. Surface Characteristics of the Magnetic Stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 83, No. 495, p.571.
- Preston G. W. 1974. The chemically peculiar stars of the upper main sequence. *Annual review of astronomy and astrophysics*. Volume 12. (A75-13476 03-90) Palo Alto, Calif., Annual Reviews, Inc., 1974, p. 257-277.
- Prugniel, Ph., Soubiran, C., Koleva, M., Le Borgne, D. 2007. New release of the ELODIE library: Version 3.1, Bibcode: 2007astro.ph..3658P
- Pyper, Diane M. 1969. A2 Canum Venaticorum and the Oblique-Rotator Theory. *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 18, p.347.
- Pyper, D. M., and Adelman, S. J. 2004. The variable light curves of some mCP stars. The A-Star Puzzle, held in Poprad, Slovakia, July 8-13, 2004. *IAU Symposium*, No. 224. Cambridge, UK. Cambridge University Press, 2004., p.307-314.

- Renson, P. and Manfroid, J. 2009. Catalogue of Ap, HgMn and Am stars. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 498, Issue 3, 2009, p.961-966.
- Scargle, J. D. 1982. *Astrophysical Journal*, Part 1, vol. 263, Dec. 15, 1982, p.835-853.
- Silvester, J., Kochukhov, O., Wade, G. A. 2014. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 440, Issue 1, p.182-192.
- Sing, D. K. 2010. Stellar limb-darkening coefficients for CoRot and Kepler. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 510, id. A21.
- Slettebak, Arne, Nassau, J. J. 1959. Peculiar and Metallic-Line a - Stars in a Galactic Zone. *Astrophysical Journal*, vol. 129, p.88.
- Spitzer, L. 1968. *Diffuse matter in space*. New York, Interscience Publication.
- Stepien, K. 1989. Radii and space orientation of the rotational axes of AP stars. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 220, p.105-111.
- Stibbs, D. W. N. 1950. A study of the spectrum and magnetic variable star HD 125248. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 110, p.395.
- Uesugi, Akira, Fukuda, Ichiro. 1982. *Catalogue of stellar rotational velocities (revised)*. Kyoto: University of Kyoto, Department of Astronomy, 1982.
- van Leeuwen, F. 2007. Validation of the new Hipparcos reduction. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 474, Issue 2, November I 2007, p.653-664.
- Vauclair, G., Vauclair, S., Michaud, G. 1978. Abundance anomalies in main-sequence stars - Competition between diffusion processes and turbulent motions. *Astrophysical Journal*, Part 1, vol. 223, Aug. 1, p. 920-936.
- Warren, W. H., Jr. 1973. ubvy photometry of Am and Ap stars. *Astronomical Journal*, Vol. 78, p.192-199.
- Winzer, J. E. 1974a. UBV photometry of four magnetic stars. *Astronomical Journal*, Vol. 79, p.124-127.
- Winzer, J. E. 1974b. Ph. D. Thesis, University of Toronto.
- Yüce, K. 2015. XIX. Ulusal Astronomi Kongresi, Prof. Dr. Dilhan Eryurt Ezer Onuruna, 2-6 Şubat 2015 Ortadoğu Teknik Üniversitesi (Çağrılı Konuşma) (basımda), Ankara.
- Zorec J., Royer F. 2012. Rotational velocities of A-type stars. IV. Evolution of rotational velocities. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 537, id.A120, 22.

EK 1. HD 171586 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit

HJD (2400000+)	Akı (elektron s./s)	Akı Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Akı (elektron s./s)	Akı Standart Sapma (elektron s./s)
54571.000147	4400546.803	1765.384	54571.014221	4400228.847	1841.390
54571.000517	4401068.767	1797.189	54571.014591	4400266.471	2187.767
54571.000887	4400456.420	2081.169	54571.014961	4400697.183	1754.624
54571.001258	4399534.177	2213.968	54571.015332	4401101.845	1742.230
54571.001628	4400263.763	1816.270	54571.015702	4400234.139	2209.068
54571.001998	4400493.934	1683.126	54571.016072	4400017.985	1727.134
54571.002369	4400138.105	2572.196	54571.016443	4399520.633	1806.176
54571.002739	4400675.920	2342.917	54571.016813	4399875.567	1843.483
54571.003110	4399903.371	1834.087	54571.017184	4399753.723	2086.350
54571.003480	4400718.297	1647.933	54571.017554	4400312.400	2308.753
54571.003850	4400459.245	2014.842	54571.017924	4400647.542	2116.560
54571.004221	4400005.212	1926.246	54571.018295	4400664.716	2086.301
54571.004591	4400728.220	2292.501	54571.018665	4399218.752	1789.286
54571.004961	4401062.745	2061.936	54571.019035	4400934.423	2254.520
54571.005332	4400065.791	2029.356	54571.019406	4401364.102	2258.574
54571.005702	4400138.891	1877.267	54571.019776	4401301.387	1664.757
54571.006072	4400897.891	1570.507	54571.020147	4400445.570	2390.551
54571.006443	4399827.831	1882.535	54571.020517	4400800.064	2127.804
54571.006813	4400536.518	1765.956	54571.020887	4400241.736	1911.873
54571.007184	4401247.560	2286.233	54571.021258	4400621.279	2055.825
54571.007554	4400428.674	1812.608	54571.021628	4399947.110	2178.203
54571.007924	4399424.850	1951.934	54571.021998	4400157.679	2158.224
54571.008295	4400535.697	2466.723	54571.022369	4400098.416	2040.659
54571.008665	4400356.285	1635.837	54571.022739	4399384.653	1699.895
54571.009035	4400135.325	1516.636	54571.023110	4400713.251	1926.039
54571.009406	4400539.235	2051.527	54571.023480	4399661.055	1671.417
54571.009776	4400156.173	2221.749	54571.023850	4400588.211	1815.002
54571.010147	4400646.713	2446.221	54571.024221	4399769.198	1348.845
54571.010517	4400311.620	1304.386	54571.024591	4400575.217	2555.329
54571.010887	4399887.151	1823.858	54571.024961	4400150.606	1893.293
54571.011258	4401055.313	1700.798	54571.025332	4399573.562	1864.824
54571.011628	4399757.509	2032.749	54571.025702	4400285.080	2053.304
54571.011998	4400064.063	2442.003	54571.026072	4399778.894	1463.783
54571.012369	4399328.682	2282.951	54571.026443	4400263.291	1728.461
54571.012739	4400640.805	2358.169	54571.026813	4400056.275	1952.002
54571.013110	4400031.615	2020.381	54571.027184	4400191.716	1903.807
54571.013480	4400423.731	2162.257	54571.027554	4399841.867	1513.193
54571.013850	4398979.088	2023.872	54571.027924	4400608.649	1909.078

EK 1. HD 171586 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak _i (elektron s./s)	Ak _i Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak _i (elektron s./s)	Ak _i Standart Sapma (elektron s./s)
54571.028295	4400802.190	1774.202	54571.042369	4400544.214	1427.231
54571.028665	4400171.028	1616.235	54571.042739	4400447.048	2022.586
54571.029035	4400260.432	1905.412	54571.043110	4400672.201	1860.018
54571.029406	4400371.322	1668.877	54571.043480	4401177.719	2030.936
54571.029776	4399409.293	1599.727	54571.043850	4400991.070	2275.495
54571.030147	4400165.561	1832.742	54571.044221	4400615.420	1820.432
54571.030517	4400118.422	2038.457	54571.044591	4400277.641	1924.171
54571.030887	4400460.583	1862.930	54571.044961	4399938.750	2190.776
54571.031258	4399898.966	2061.694	54571.045332	4400589.157	1757.111
54571.031628	4400828.356	1872.108	54571.045702	4400551.129	1749.999
54571.031998	4399870.725	1833.094	54571.046072	4400632.916	1934.727
54571.032369	4400744.437	1700.894	54571.046443	4400108.116	2300.472
54571.032739	4399855.295	1909.266	54571.046813	4400264.422	1799.319
54571.033110	4400822.556	1785.537	54571.047184	4400052.178	2076.719
54571.033480	4400167.927	2468.756	54571.047554	4401127.303	1868.419
54571.033850	4401457.893	1478.725	54571.047924	4400214.648	1801.519
54571.034221	4400747.091	2004.864	54571.048295	4400213.601	1876.319
54571.034591	4400336.220	2497.488	54571.048665	4400242.461	1923.719
54571.034961	4400903.342	1695.153	54571.049035	4400865.738	1829.019
54571.035332	4400032.147	1494.887	54571.049406	4400035.883	2022.319
54571.035702	4400248.611	1480.041	54571.049776	4400495.795	1907.719
54571.036072	4400492.558	1764.991	54571.050147	4400925.613	1946.119
54571.036443	4400045.215	1707.114	54571.050517	4400140.390	1913.219
54571.036813	4399874.035	2498.385	54571.050887	4400621.441	1920.519
54571.037184	4400595.666	1470.138	54571.051258	4400475.015	1855.119
54571.037554	4400440.391	1779.071	54571.051628	4400405.035	1845.619
54571.037924	4400447.085	2226.258	54571.051998	4400527.256	1939.919
54571.038295	4400292.920	2016.810	54571.052369	4400506.490	1827.519
54571.038665	4399793.856	2074.877	54571.052739	4400426.160	1891.119
54571.039035	4401148.031	2111.344	54571.053110	4400210.338	1812.919
54571.039406	4400418.274	1679.548	54571.053480	4400253.689	1911.419
54571.039776	4400286.037	1775.804	54571.053850	4400479.353	1922.819
54571.040147	4400977.865	1983.176	54571.054221	4401074.439	1902.119
54571.040517	4399969.866	2013.175	54571.054591	4400119.719	2075.419
54571.040887	4400676.231	2681.189	54571.054961	4400880.279	1906.619
54571.041258	4400651.648	2080.915	54571.055332	4400972.547	2062.819
54571.041628	4400289.647	1845.991	54571.055702	4400839.994	1846.419
54571.041998	4400819.240	2009.491	54571.056072	4400653.267	1874.919

EK 1. HD 171586 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak _i (elektron s./s)	Ak _i Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak _i (elektron s./s)	Ak _i Standart Sapma (elektron s./s)
54571.056443	4400961.908	1940.919	54571.070517	4400764.817	1738.110
54571.056813	4401391.830	3275.419	54571.070887	4400909.403	2235.650
54571.057184	4399371.191	1946.433	54571.071258	4399938.994	1822.182
54571.057554	4400955.703	1940.335	54571.071628	4401305.487	1780.870
54571.057924	4400498.990	2064.921	54571.071998	4400360.011	1788.989
54571.058295	4400893.327	1685.693	54571.072369	4401719.861	1779.729
54571.058665	4400630.688	1906.814	54571.072739	4400133.032	1701.429
54571.059035	4400690.949	1824.353	54571.073110	4400511.805	2358.961
54571.059406	4400260.910	1850.742	54571.073480	4400631.946	2416.649
54571.059776	4400976.319	2053.340	54571.073850	4399926.920	1756.005
54571.060147	4400518.348	1951.749	54571.074221	4400949.264	2002.011
54571.060517	4401085.488	2373.559	54571.074591	4401513.600	2092.110
54571.060887	4400371.571	1912.889	54571.074961	4401188.413	2010.956
54571.061258	4400426.790	2501.149	54571.075332	4400921.036	1962.529
54571.061628	4400134.900	2083.429	54571.075702	4400494.465	1618.392
54571.061998	4400017.580	1956.768	54571.076072	4400781.625	1570.600
54571.062369	4400267.829	2196.872	54571.076443	4400378.278	1814.708
54571.062739	4400983.375	1832.765	54571.076813	4401202.154	1851.828
54571.063110	4401533.114	1601.917	54571.077184	4400163.795	1535.734
54571.063480	4400076.704	2447.399	54571.077554	4401005.022	1628.990
54571.063850	4400709.498	1954.115	54571.077924	4400439.308	2026.366
54571.064221	4401496.854	2195.931	54571.078295	4400986.555	1673.067
54571.064591	4401530.892	1794.472	54571.078665	4400210.022	1838.516
54571.064961	4400114.207	2012.152	54571.079035	4400513.381	2126.868
54571.065332	4400428.997	2165.992	54571.079406	4400797.561	2090.884
54571.065702	4400911.717	1798.711	54571.079776	4400664.478	2120.759
54571.066072	4400561.681	1721.589	54571.080147	4400865.521	1361.431
54571.066443	4400481.605	2332.200	54571.080517	4400361.628	2167.954
54571.066813	4400978.986	1406.274	54571.080887	4400965.092	2105.510
54571.067184	4400488.081	2163.697	54571.081258	4400031.791	2047.700
54571.067554	4400282.147	1567.915	54571.081628	4400441.808	2306.530
54571.067924	4400612.578	1981.860	54571.081998	4400036.742	1819.569
54571.068295	4400938.407	1493.832	54571.082369	4400913.395	2242.147
54571.068665	4400640.080	2639.310	54571.082739	4401134.158	1650.876
54571.069035	4400451.408	2426.998	54571.083110	4399992.382	1775.951
54571.069406	4400761.576	2321.944	54571.083480	4401071.628	1830.166
54571.069776	4400671.114	1969.685	54571.083850	4400485.610	2277.717
54571.070147	4400185.807	1769.441	54571.084221	4400447.770	1714.018

EK 1. HD 171586 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Akı (elektron s./s)	Akı Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Akı (elektron s./s)	Akı Standart Sapma (elektron s./s)
54571.084591	4400615.355	2079.997	54571.098665	4400876.604	1640.541
54571.084961	4400257.447	2220.133	54571.099035	4401079.292	1860.854
54571.085332	4400403.450	2032.848	54571.099406	4400405.315	1842.841
54571.085702	4400428.822	2034.702	54571.099776	4400378.662	1634.010
54571.086072	4400519.320	1956.385	54571.100147	4400451.457	1780.546
54571.086443	4399837.772	2138.663	54571.100517	4400669.288	2044.137
54571.086813	4400260.325	1828.311	54571.100887	4400070.649	1706.381
54571.087184	4400982.622	1814.862	54571.101258	4400151.749	2490.198
54571.087554	4401179.301	1554.745	54571.101628	4401252.380	1967.984
54571.087924	4401051.000	2123.677	54571.101998	4400332.297	2351.699
54571.088295	4400654.463	1798.569	54571.102369	4400570.977	1774.579
54571.088665	4400153.221	2194.196	54571.102739	4400057.141	2247.774
54571.089035	4400994.946	1764.958	54571.103110	4400350.153	1880.725
54571.089406	4400978.317	2094.755	54571.103480	4400840.695	1739.882
54571.089776	4400209.688	2441.642	54571.103850	4401339.338	1875.540
54571.090147	4400477.073	1933.747	54571.104221	4399775.278	1707.530
54571.090517	4401016.192	1758.510	54571.104591	4400394.682	2253.532
54571.090887	4400799.492	1975.307	54571.104961	4401439.798	2091.338
54571.091258	4400552.290	2687.026	54571.105332	4401187.517	1878.276
54571.091628	4400263.780	2157.960	54571.105702	4400336.712	2128.369
54571.091998	4400803.602	2026.634	54571.106072	4400868.748	1759.457
54571.092369	4400672.007	2234.063	54571.106443	4401731.011	1922.177
54571.092739	4399896.727	1730.609	54571.106813	4400455.268	2155.351
54571.093110	4400650.932	1869.192	54571.107184	4400629.116	1994.437
54571.093480	4400882.060	1899.685	54571.107554	4400168.886	1983.954
54571.093850	4400766.715	1822.645	54571.107924	4401291.892	2251.241
54571.094221	4400196.036	1788.788	54571.108295	4400996.504	2444.169
54571.094591	4400654.631	2042.781	54571.108665	4399804.716	2125.180
54571.094961	4400658.479	1997.915	54571.109035	4400507.776	2495.091
54571.095332	4400267.365	1921.948	54571.109406	4400504.257	1478.624
54571.095702	4400154.481	1644.306	54571.109776	4400381.604	2036.400
54571.096072	4401016.147	2020.635	54571.110147	4400968.634	1617.137
54571.096443	4400366.165	2235.597	54571.110517	4401334.297	2127.159
54571.096813	4401595.058	1843.389	54571.110887	4401228.865	1859.199
54571.097184	4400519.397	2349.822	54571.111258	4400798.693	1978.645
54571.097554	4399703.218	1984.830	54571.111628	4400349.876	2184.424
54571.097924	4400593.100	1763.477	54571.111998	4400762.960	1712.916
54571.098295	4400481.163	2285.197	54571.112369	4400914.024	2168.225

EK 1. HD 171586 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak _i (elektron s./s)	Ak _i Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak _i (elektron s./s)	Ak _i Standart Sapma (elektron s./s)
54571.112739	4400173.650	1552.553	54571.126813	4400642.816	1894.419
54571.113110	4400159.259	1757.503	54571.127184	4401157.250	2008.219
54571.113480	4401014.152	1740.899	54571.127554	4400856.262	2017.519
54571.113850	4400034.453	1826.565	54571.127924	4401306.982	1788.219
54571.114221	4400978.737	2115.015	54571.128295	4401290.848	1900.019
54571.114591	4401254.522	1998.968	54571.128665	4401260.152	2007.555
54571.114961	4400373.230	2208.321	54571.129035	4401153.567	1676.829
54571.115332	4401098.102	1844.759	54571.129406	4400626.503	2073.233
54571.115702	4400827.940	1636.152	54571.129776	4401625.103	2280.722
54571.116072	4401265.686	1479.673	54571.130147	4400733.864	1638.987
54571.116443	4400176.337	1761.942	54571.130517	4400621.390	1778.194
54571.116813	4400704.900	1739.213	54571.130887	4401480.524	2017.908
54571.117184	4400329.582	1827.519	54571.131258	4401015.864	1711.521
54571.117554	4401091.592	2022.619	54571.131628	4400698.131	2092.076
54571.117924	4400836.767	1961.819	54571.131998	4401686.325	1731.501
54571.118295	4401051.748	1999.519	54571.132369	4400960.552	1706.752
54571.118665	4400958.357	2022.819	54571.132739	4400798.182	1914.666
54571.119035	4400772.775	1882.119	54571.133110	4400366.883	1948.263
54571.119406	4400769.978	2053.319	54571.133480	4401006.926	1742.990
54571.119776	4401202.258	2009.619	54571.133850	4401161.319	2200.897
54571.120147	4400492.662	1809.419	54571.134221	4401385.758	1826.167
54571.120517	4401054.000	2055.619	54571.134591	4401897.402	1510.902
54571.120887	4400585.346	2018.519	54571.134961	4401931.909	1716.574
54571.121258	4400611.992	1833.819	54571.135332	4400935.560	2011.785
54571.121628	4401251.787	1974.219	54571.135702	4401727.489	1809.648
54571.121998	4400944.156	1922.119	54571.136072	4401429.122	1813.364
54571.122369	4401478.670	1957.419	54571.136443	4400428.776	2014.582
54571.122739	4400681.896	1945.519	54571.136813	4401258.728	2206.112
54571.123110	4401337.857	1899.319	54571.137184	4401387.692	1966.358
54571.123480	4400717.779	1865.619	54571.137554	4400954.704	2025.798
54571.123850	4401235.887	1925.419	54571.137924	4401471.010	2509.711
54571.124221	4400746.760	1965.019	54571.138295	4400210.195	1973.784
54571.124591	4401222.803	1918.319	54571.138665	4401963.572	1995.053
54571.124961	4400899.209	1866.219	54571.139035	4401620.850	1729.822
54571.125332	4401056.260	1888.519	54571.139406	4401051.684	1694.006
54571.125702	4400494.963	2043.519	54571.139776	4401548.109	1890.587
54571.126072	4401290.226	2022.919	54571.140147	4400884.274	1721.103
54571.126443	4401739.385	1759.919	54571.140517	4402231.696	2283.047

EK 2. HD 170973 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit

HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)
55296.0002	4455542.45	2465.58	55296.0142	4455148.10	2020.63
55296.0005	4455077.42	2077.42	55296.0146	4455522.02	1644.46
55296.0009	4455568.05	2214.25	55296.0150	4455066.43	2127.76
55296.0013	4454826.06	1906.77	55296.0154	4455173.35	2151.88
55296.0017	4455110.91	2248.78	55296.0157	4455128.23	1909.89
55296.0020	4455431.09	1985.38	55296.0161	4454854.49	1738.35
55296.0024	4455501.33	2041.90	55296.0165	4454806.91	1929.71
55296.0028	4454622.66	1695.80	55296.0168	4455545.77	2623.18
55296.0031	4453975.39	2314.34	55296.0172	4455064.81	2423.53
55296.0035	4455253.30	1455.82	55296.0176	4456034.04	2526.43
55296.0039	4455005.76	2083.39	55296.0179	4455191.08	1687.14
55296.0042	4454566.59	2138.39	55296.0183	4454898.16	2115.17
55296.0046	4455333.80	2353.97	55296.0187	4455123.72	2156.93
55296.0050	4454828.59	1591.14	55296.0191	4454996.13	2026.01
55296.0054	4455540.28	2179.80	55296.0194	4455238.03	1916.13
55296.0057	4454393.25	2158.89	55296.0198	4454487.12	1820.12
55296.0061	4455160.31	2169.32	55296.0202	4455603.26	1685.25
55296.0065	4454417.96	1728.74	55296.0205	4455655.20	1848.49
55296.0068	4454729.67	1973.21	55296.0209	4455214.75	2256.42
55296.0072	4454978.66	2128.82	55296.0213	4454859.49	1709.85
55296.0076	4455289.98	1900.17	55296.0217	4455697.21	2167.81
55296.0079	4455028.66	2142.31	55296.0220	4455125.82	1730.07
55296.0083	4454747.54	1966.94	55296.0224	4454881.48	2042.24
55296.0087	4454947.00	1961.10	55296.0228	4454724.85	2162.26
55296.0091	4455319.58	1580.35	55296.0231	4455368.47	2187.55
55296.0094	4454848.33	1966.47	55296.0235	4455096.23	2620.65
55296.0098	4455352.33	1770.62	55296.0239	4455407.45	1561.06
55296.0102	4455571.04	2032.60	55296.0242	4454210.13	2022.04
55296.0105	4454559.88	2118.48	55296.0246	4455245.06	1966.27
55296.0109	4454853.02	1750.63	55296.0250	4454477.09	1628.05
55296.0113	4455727.56	1937.43	55296.0254	4455118.98	1939.11
55296.0117	4454590.61	1868.48	55296.0257	4455732.66	1875.03
55296.0120	4455222.84	2100.18	55296.0261	4455295.52	2120.37
55296.0124	4454691.58	2073.04	55296.0265	4455337.49	2230.21
55296.0128	4454405.96	2409.81	55296.0268	4454278.98	2036.58
55296.0131	4454988.35	2391.77	55296.0272	4455136.36	2108.07
55296.0135	4455049.60	2118.89	55296.0276	4454541.75	1794.67
55296.0139	4454554.89	1591.51	55296.0279	4455008.15	1723.52

EK 2. HD 170973 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)
55296.0283	4455632.07	1844.15	55296.0424	4454483.71	2223.17
55296.0287	4455422.93	2065.58	55296.0428	4455711.62	2126.66
55296.0291	4455026.63	1837.65	55296.0431	4455202.93	2098.78
55296.0294	4455599.85	2192.93	55296.0435	4455550.54	1825.57
55296.0298	4454174.58	1952.11	55296.0439	4455536.59	1855.91
55296.0302	4455253.12	1825.22	55296.0442	4456246.39	1615.97
55296.0305	4455894.99	1871.58	55296.0446	4455006.30	2143.00
55296.0309	4455640.50	2190.88	55296.0450	4454596.44	1868.96
55296.0313	4455612.38	1898.88	55296.0454	4455112.41	1868.95
55296.0317	4455429.63	1913.86	55296.0457	4456207.96	2094.85
55296.0320	4455153.48	2646.28	55296.0461	4455385.59	1461.78
55296.0324	4454395.66	2036.33	55296.0465	4455750.16	2203.24
55296.0328	4454822.15	1655.83	55296.0468	4455672.05	2003.69
55296.0331	4455076.07	1826.63	55296.0472	4456236.22	2217.88
55296.0335	4454683.86	2119.68	55296.0476	4455293.90	2017.07
55296.0339	4454971.38	2173.10	55296.0479	4454989.77	1949.06
55296.0342	4454690.84	1987.72	55296.0483	4455400.45	2167.68
55296.0346	4454773.85	2077.78	55296.0487	4455870.79	2123.17
55296.0350	4455063.70	1543.53	55296.0491	4456043.64	2137.63
55296.0354	4454550.66	2189.06	55296.0494	4455550.48	1858.72
55296.0357	4455350.71	1894.32	55296.0498	4454267.62	2300.65
55296.0361	4455086.07	1783.68	55296.0502	4455115.08	1760.11
55296.0365	4455203.39	1981.75	55296.0505	4455216.95	2330.88
55296.0368	4455069.78	1630.53	55296.0509	4455697.00	2447.58
55296.0372	4455128.16	1827.30	55296.0513	4455186.38	2074.66
55296.0376	4454037.46	1780.22	55296.0517	4455413.99	2555.76
55296.0379	4454819.85	2762.40	55296.0520	4454922.06	2535.78
55296.0383	4455239.32	2497.69	55296.0524	4455560.45	2619.83
55296.0387	4455445.72	2301.66	55296.0528	4455175.59	2344.90
55296.0391	4454763.11	1876.26	55296.0531	4454953.51	2145.77
55296.0394	4455725.44	1765.92	55296.0535	4455581.67	1693.60
55296.0398	4455411.34	2013.84	55296.0539	4455733.06	1559.03
55296.0402	4455656.38	2382.17	55296.0542	4455711.61	2022.71
55296.0405	4454976.84	1866.19	55296.0546	4455728.95	1904.67
55296.0409	4455300.45	2045.73	55296.0550	4455829.64	2460.67
55296.0413	4455874.38	2148.49	55296.0554	4455442.53	2402.66
55296.0417	4455830.38	2067.35	55296.0557	4455464.52	2489.04
55296.0420	4454862.87	1807.05	55296.0561	4455934.23	1603.65

EK 2. HD 170973 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)
55296.0565	4455375.58	1811.60	55296.0705	4455749.37	2111.40
55296.0568	4455868.40	2454.75	55296.0709	4455846.97	2433.07
55296.0572	4455311.44	1741.19	55296.0713	4455987.84	2425.66
55296.0576	4455519.01	2430.92	55296.0717	4455026.33	1839.24
55296.0579	4454613.17	2080.74	55296.0720	4454937.56	2193.16
55296.0583	4455977.94	2215.10	55296.0724	4454851.79	1653.36
55296.0587	4455163.60	1958.86	55296.0728	4455348.88	1766.39
55296.0591	4455584.05	2058.16	55296.0731	4456360.32	1956.15
55296.0594	4455207.51	2013.26	55296.0735	4454928.18	1574.97
55296.0598	4455148.06	1840.76	55296.0739	4456213.76	1909.57
55296.0602	4455957.91	1918.86	55296.0742	4455055.75	1805.34
55296.0605	4455658.06	2164.96	55296.0746	4455575.09	1981.30
55296.0609	4455795.09	2055.06	55296.0750	4455143.81	1772.04
55296.0613	4455481.80	1996.56	55296.0754	4455015.11	1870.35
55296.0617	4454883.07	1989.86	55296.0757	4455424.79	1627.60
55296.0620	4456041.20	1899.46	55296.0761	4455684.93	1716.17
55296.0624	4455379.62	1970.16	55296.0765	4454627.85	1683.42
55296.0628	4455494.96	1900.06	55296.0768	4456165.43	2084.17
55296.0631	4455557.14	1945.76	55296.0772	4455796.91	1456.51
55296.0635	4455085.48	2140.16	55296.0776	4455906.03	2380.16
55296.0639	4455323.60	2082.36	55296.0779	4455817.83	1951.57
55296.0642	4455667.55	2120.76	55296.0783	4455882.94	1640.49
55296.0646	4455011.08	1893.96	55296.0787	4454937.96	1884.96
55296.0650	4455432.25	1961.66	55296.0791	4455351.34	1666.55
55296.0654	4455750.37	2167.16	55296.0794	4455965.97	2120.07
55296.0657	4454965.04	2179.06	55296.0798	4455104.04	2068.56
55296.0661	4455225.21	2027.06	55296.0802	4456356.79	1978.60
55296.0665	4455428.90	2078.86	55296.0805	4456232.62	1717.83
55296.0668	4455502.73	1920.66	55296.0809	4455810.84	1762.50
55296.0672	4455399.53	1935.96	55296.0813	4456250.74	1588.32
55296.0676	4455307.10	2042.16	55296.0817	4455337.05	1921.51
55296.0679	4455226.57	2054.66	55296.0820	4456218.92	2178.76
55296.0683	4455512.18	1941.06	55296.0824	4455937.58	2082.38
55296.0687	4455154.78	2155.97	55296.0828	4456280.29	1974.72
55296.0691	4455381.99	1806.98	55296.0831	4455230.47	1897.59
55296.0694	4455371.62	2243.88	55296.0835	4455649.98	1928.56
55296.0698	4455244.62	2421.77	55296.0839	4455517.93	2161.27
55296.0702	4455581.16	1976.44	55296.0842	4455624.00	2240.73

EK 2. HD 170973 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)
55296.0846	4455568.33	1828.03	55296.0987	4454968.09	1987.80
55296.0850	4455209.79	1717.12	55296.0991	4456738.99	1755.17
55296.0854	4455482.80	1958.89	55296.0994	4455933.04	1876.97
55296.0857	4455151.65	1688.82	55296.0998	4455498.19	1635.52
55296.0861	4455454.16	2172.23	55296.1002	4456102.71	1900.86
55296.0865	4454685.74	2292.90	55296.1005	4456267.60	2103.24
55296.0868	4454695.31	2017.10	55296.1009	4455571.79	1874.03
55296.0872	4455466.48	1571.51	55296.1013	4455824.49	1954.84
55296.0876	4455562.28	2197.03	55296.1017	4455731.52	1450.08
55296.0879	4455455.23	1941.53	55296.1020	4456032.25	1280.08
55296.0883	4455344.58	2007.47	55296.1024	4455358.26	2206.73
55296.0887	4456151.30	1954.87	55296.1028	4455678.64	1727.31
55296.0891	4455253.04	2248.70	55296.1031	4455512.65	2024.03
55296.0894	4455704.56	2053.71	55296.1035	4455255.73	2171.54
55296.0898	4455094.28	1710.75	55296.1039	4455687.84	2192.75
55296.0902	4455138.40	1637.94	55296.1042	4455512.96	2056.97
55296.0905	4455719.94	2096.31	55296.1046	4455424.07	2229.46
55296.0909	4456092.86	2041.83	55296.1050	4454696.21	1774.06
55296.0913	4455493.49	1793.74	55296.1054	4455335.37	2168.71
55296.0917	4455246.28	2030.10	55296.1057	4455065.59	2431.42
55296.0920	4455953.47	1493.40	55296.1061	4456723.46	1883.74
55296.0924	4455376.30	2021.74	55296.1065	4456679.89	2161.80
55296.0928	4454914.58	2206.96	55296.1068	4455176.78	2128.42
55296.0931	4455527.07	2109.16	55296.1072	4455472.33	1600.88
55296.0935	4455724.01	1954.36	55296.1076	4456300.11	2213.65
55296.0939	4455590.24	1666.18	55296.1079	4455294.92	1919.04
55296.0942	4455083.26	1923.30	55296.1083	4456218.00	2049.74
55296.0946	4455333.87	1898.88	55296.1087	4455782.90	2056.16
55296.0950	4456334.46	2128.46	55296.1091	4455290.19	2506.38
55296.0954	4456007.34	2194.26	55296.1094	4455535.22	1913.97
55296.0957	4456587.40	2063.33	55296.1098	4455778.23	1825.67
55296.0961	4456241.73	2127.36	55296.1102	4455864.25	2237.74
55296.0965	4455505.93	1867.16	55296.1105	4455403.65	2376.13
55296.0968	4455503.31	1937.12	55296.1109	4455448.44	2050.59
55296.0972	4455663.18	2331.58	55296.1113	4456059.82	1755.76
55296.0976	4454791.87	1612.69	55296.1117	4455819.60	1679.76
55296.0979	4456452.06	1811.05	55296.1120	4456265.09	1950.71
55296.0983	4455427.02	1612.39	55296.1124	4455701.24	1969.50

EK 2. HD 170973 yıldızının CoRoT verilerine ilişkin bir kesit (devam)

HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)	HJD (2400000+)	Ak1 (elektron s./s)	Ak1 Standart Sapma (elektron s./s)
55296.1128	4456311.54	2169.64	55296.1268	4455703.28	1961.97
55296.1131	4456345.97	2023.06	55296.1272	4455997.35	2208.21
55296.1135	4455677.82	1844.35	55296.1276	4455757.16	1881.54
55296.1139	4455813.86	1609.94	55296.1279	4456814.77	2315.48
55296.1142	4455810.24	1603.22	55296.1283	4456995.39	2237.44
55296.1146	4456364.43	2476.18	55296.1287	4456276.85	2415.96
55296.1150	4455684.11	2056.38	55296.1291	4456403.02	2007.46
55296.1154	4455699.51	1961.65	55296.1294	4455787.19	1973.26
55296.1157	4456304.92	1905.67	55296.1298	4456412.01	2111.96
55296.1161	4456009.86	2019.31	55296.1302	4455571.86	1964.26
55296.1165	4456476.43	2022.78	55296.1305	4456617.45	1983.26
55296.1168	4455218.13	2121.65	55296.1309	4455800.92	1850.76
55296.1172	4454819.43	1721.60	55296.1313	4455842.62	2018.36
55296.1176	4456438.55	2115.24	55296.1317	4456102.67	2062.86
55296.1179	4456471.63	2359.00	55296.1320	4455766.16	2116.46
55296.1183	4455519.87	2570.39	55296.1324	4456104.29	1912.76
55296.1187	4456527.74	2101.82	55296.1328	4456154.45	1901.66
55296.1191	4456471.60	2196.70	55296.1331	4455661.71	2078.46
55296.1194	4456270.17	2051.03	55296.1335	4456779.40	1978.16
55296.1198	4455707.82	1738.66	55296.1339	4455431.61	2012.26
55296.1202	4456557.15	2213.80	55296.1342	4456567.57	2174.66
55296.1205	4455947.60	2465.50	55296.1346	4455584.50	2161.76
55296.1209	4456071.34	2194.65	55296.1350	4456303.37	1874.06
55296.1213	4456042.90	2216.46	55296.1354	4456261.12	2115.36
55296.1217	4455942.05	1605.11	55296.1357	4456178.09	2110.16
55296.1220	4455634.10	2174.80	55296.1361	4455617.98	2033.66
55296.1224	4456269.31	2151.06	55296.1365	4456936.59	1980.46
55296.1228	4455888.61	2015.73	55296.1368	4455656.47	2047.86
55296.1231	4456549.49	2187.46	55296.1372	4456324.45	2032.26
55296.1235	4455891.28	2109.36	55296.1376	4455843.90	1943.36
55296.1239	4457090.61	1911.79	55296.1379	4455921.08	2011.06
55296.1242	4456013.39	1846.01	55296.1383	4455593.45	2032.86
55296.1246	4455589.78	1957.18	55296.1387	4456333.90	2143.76
55296.1250	4456146.74	2042.90	55296.1391	4455510.27	2003.76
55296.1254	4456481.88	1866.32	55296.1394	4456592.82	2021.76
55296.1257	4456151.26	1719.14	55296.1398	4456054.31	2158.26
55296.1261	4455951.34	1769.59	55296.1402	4455892.15	1991.46
55296.1265	4456075.30	2031.99	55296.1405	4456243.13	1693.19

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ergün ÖZGÜR
Doğum Yeri : HAKKARİ
Doğum Tarihi : 24.06.1982
Medeni Hali : Evli
E-posta : erozgur30@gmail.com
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Hakkari Sağlık Meslek Lisesi (1996 - 2000)
Lisans : Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
(2001 - 2005)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi
Uzay Bilimleri Anabilim Dalı. (2017 - 2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

(2006) Van İl Sağlık Müdürlüğü Ambulans Servisi Başhekimliği
(2006 – 2010) Van Devlet Hastanesi
(2010 - 2015) Van İl Sağlık Müdürlüğü Acil ve Afetlerde Sağlık Hizmetleri Şube
Müdürlüğü
(2015 - halen) Ankara İl Ambulans Servisi Başhekimliği, Çankaya 4 Nolu 112
İstasyonu

Yayınlar (SCI)

“Photoelectric Minima of Some Eclipsing Binary Stars”. Albayrak, B., Yuce, K., Selam, S. O., Tanriverdi, T., Okan, A., Cinar, D., Topal, S., **Ozgur, E.**, Sener, H. T., Ergun, I., Civelek, E. 2005. Information Bulletin on Variable Stars (IBVS), 5649