T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

AKTİF AYRIK ÇİFT YILDIZLARIN VE NÖTRON YILDIZI BİLEŞENLİ SİSTEMLERİN KORUNUMSUZ EVRİMİ

Tuğçe İÇLİ

Danışman: Prof. Dr. Kadri YAKUT

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

İzmir
2023

Tuğçe İçli tarafından Doktora tezi olarak sunulan "Aktif Ayrık Çift Yıldızların ve Nötron Yıldızı Bileşenli Sistemlerin Korunumsuz Evrimi" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 14/08/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri üyeleri		**İmza**
Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Tolga GÜVER	
Raportör Üye	: Prof. Dr. Kadri YAKUT	
Üye	: Prof. Dr. Serdar EVREN	
Üye	: Prof. Dr. Selim Osman SELAM	
Üye	: Prof. Dr. Varol KESKİN	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum "Aktif Ayrık Çift Yıldızların ve Nötron Yıldızı Bileşenli Sistemlerin Korunumsuz Evrimi" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13/07/2023

Tuğçe İÇLİ

ÖZET

AKTİF AYRIK ÇİFT YILDIZLARIN VE NÖTRON YILDIZI BİLEŞENLİ SİSTEMLERİN KORUNUMSUZ EVRİMİ

İÇLİ, Tuğçe

Doktora Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadri YAKUT

14.08.2023, 248 sayfa

Bu tez çalışmasında, çift yıldızların korunumsuz evrimi farklı kütle aralığındaki yakın, etkileşen anakol yıldızları ve evriminin ileri aşamalarındaki nötron yıldızı barındıran çift sistemlerin evrim süreçleri gözlemsel ve kuramsal bağlamda detaylı araştırılmıştır. Bu çerçevede, doktora tez çalışmasının bir bölümünde seçilen kısa dönemli aktif örten çift sistemler diğer bölümünde ise nötron yıldızı bileşenli küçük kütleli (LMXB) ve büyük kütleli (HMXB) X-ışın çift sistemleri detaylı olarak araştırılmıştır. Çalışmada seçilen sistemlerin, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan teleskoplar kullanılarak yeni çokrenk fotometrik gözlemleri elde edilmiştir. Bu gözlemlere ek olarak, EUO, ZTF, SuperWASP, ASAS-SN gibi yer konuşlu ve Kepler/K2, TESS, Gaia, XMM-Newton, RXTE/ASM gibi uzay konuşlu teleskop projelerinden gelen gözlemler kullanılmıştır. Tez çalışmasında yakın ve aktif çift sistemlerden RT And, XY UMa ve CG Cyg'nin ışık ve dikine hız eğrilerinin analizi ile dönem değişim analizi yapılarak çok hassas yörünge ve fiziksel parametreleri elde edilmiştir. Seçilen X-ışın çift sistemlerinden Her X-1, Sco X-1, PSR J1023+0038 ve SAX J2103.5+4545'in hem uzun hem de kısa dönemli optik değişimleri analiz edilmiştir. Tez çalışmasında MESA yıldız evrim kodu kullanılarak, başta korunumsuz kütle kayıpları olmak üzere farklı başlangıç kütle, kütle oranları ve dönem değerleri ile sistemlerin evrim süreçleri detaylı olarak modellenmiştir. Çalışma sırasında hem gözlemsel hem de kuramsal bağlamda elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirilerek yakın ve etkileşen çift yıldızların ve nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerinin evriminde kütle kaybı, kütle transferi ve yörünge döneminin etkileri tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Yakın çift yıldızlar, X-ışın çiftleri, yıldız evrimi, kütle kaybı, fotometrik gözlemler, nümerik modeller.

ABSTRACT

NON-CONSERVATIVE EVOLUTION OF ACTIVE DETACHED BINARY STARS AND SYSTEMS WITH NEUTRON STAR COMPONENT

İÇLİ, Tuğçe

Ph.D. in Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Kadri YAKUT

14.08.2023, 248 pages

The non-conservative evolution processes of close, interacting main-sequence stars and neutron star-containing binary systems in different mass ranges are discussed in observational and theoretical contexts. In this framework, in one part of the thesis, selected short-period active eclipsing binary systems and in the other part of the thesis, low-mass (LMXB) and high-mass (HMXB) X-ray binary systems with neutron star components are investigated in detail. New multicolor photometric observations of the selected systems were obtained using the telescopes at the TUG. In addition to these observations, observations obtained from ground-based telescopes such as EUO, ZTF, SuperWASP, ASAS-SN and space-based telescopes such as Kepler/K2, TESS, Gaia, XMM-Newton and RXTE/ASM were used. In this thesis, very accurate orbital and physical parameters of the close and active binary systems RT And, XY UMa and CG Cyg have been obtained by analyzing the light and radial velocity curves and period change analysis. Both long and short-term optical variations of selected X-ray binary systems Her X-1, Sco X-1, PSR J1023+0038 and SAX J2103.5+4545 were analyzed. In this thesis, the MESA stellar evolution code was used to model the evolutionary processes of the systems in detail with different initial masses, mass ratios and orbital periods, especially for non-conservative mass losses. The study combines observational and theoretical results to discuss the effects of mass loss, mass transfer and orbital period on the evolution of close and interacting binary stars and X-ray binaries with neutron star component. **Keywords:** Close binary stars, X-ray binaries, stellar evolution, mass loss, photometric observations, numeric models.

ÖNSÖZ

Kütlece evrendeki görünür maddenin tamamına yakınını oluşturan yıldızlar, gözlediğimiz evrenin en önemli objeleridir. Çift sistem üyesi olmaları durumunda hem tek yıldız evrimini anlamak hem de çiftlik etkisinin evrim üzerindeki etkisini araştırma olanağı sunması açısından değerlidir. Yıldız evriminde etkili olan ve hala açık bir problem olarak ele alınan bazı astrofiziksel süreçlerin detaylı araştırılması için çift sistemler mükemmel laboratuvarladır. Bu bağlamda, doktora tezi çalışmasında farklı kütle aralıklarını kapsayan farklı türdeki çift sistemler hedef olarak seçilmiştir ve bu çift sistemlerin korunumsuz evriminin detaylı analizleri yapılmıştır. Korunumsuz evrim modelleri ile yıldız evriminde etkili olan kütle kaybı, açısal momentum kaybı, yıldız aktivitesi, dinamo kuramı gibi hala açık problemler barındıran astrofiziksel süreçlerin detaylı araştırılması amaçlanmıştır. Tez çalışmasında seçilmiş farklı türdeki çift sistemler hem gözlemsel hem de kuramsal bağlamda ele alınmıştır. Çalışma sürecinde çift sistemlerin bileşen yıldızlarının fiziksel ve yörünge parametrelerinin zamanla değişimine odaklanılmış ve gözlemler ile en uyumlu kuramsal sonuçlar irdelenmiştir. Bu tez çalışmasında yapılan analizler ve modellemeler sonucunda elde ettiğim bilgiler ve sonuçlar sunulmaktadır. Tez çalışması süresince alanımda deneyim ve farklı bakış açısı kazanmış olmaktan çok mutluyum. Bu geliştirici sürecin tamamlanması ile evrenin çok sayıda olan ve henüz iyi bir şekilde anlaşılamamış problemlerini barındıran bilim yolculuğumun en kapsayıcı ve oldukça heyecanlandırıcı bir evresini daha yaşamış olmaktan sonsuz kıvanç duyuyorum.

İZMİR

13/07/2023

Tuğçe İÇLİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK ii
KABUL VE ONAY SAYFASI iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI v
ÖZET vii
ABSTRACT ix
ÖNSÖZ xi
İÇİNDEKİLER xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ xvi
TABLOLAR DİZİNİ xxiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Yıldız Evrimine Genel Bakış 1
1.2 Etkileşen Çift Sistemlerin Evrimi 8
1.3 Dinamo Kuramı 19
1.4 Nötron Yıldızı Bileşenli Çift Sistemler 28
1.5 Yıldız Evrim Modelleri 34
1.6 Çalışmada Kullanılan Gözlem Araçları 42
1.6.1 Optik Gözlem Araçları 42
1.6.2 X-ışın Gözlem Araçları 50
2 SEÇİLEN RS CVN TÜRÜ KISA DÖNEMLİ SİSTEMLER 54
2.1 Kısa Dönemli Aktif Çift Sistemler 54
2.2 Aktif Örten Çift Sistem RT Andromedae 58
2.2.1 RT And Çift Sistemine ilişkin Elde Edilen Yeni Gözlemler 61
2.2.2 Dönem Değişim Analizi 71
2.2.3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi 77
2.2.4 Bileşen Yıldızların Fiziksel Parametreleri 80
2.3 Kromosferik Aktif Çift Sistem XY Ursae Majoris 81
2.3.1 XY UMa'ya ilişkin yapılan çalışmalar 81

2.3.2 Dönem Değişim Analizi 83
2.3.3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi 88
2.3.4 Bileşen Yıldızların Fiziksel Parametreleri 91
2.4 Kısa Dönemli Örten Çift Sistem: CG Cygni 92
2.4.1 CG Cyg sistemine ilişkin yapılan çalışmalar 92
2.4.2 Dönem Değişim Analizi 95
2.4.3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi 100
2.4.4 Bileşen Yıldızların Fiziksel Parametreleri 103
3 NÖTRON YILDIZI BİLEŞENLİ X-IŞIN ÇİFT SİSTEMLERİ . . 105
3.1 Gözlemler ve İndirgemeler 108
3.2 Küçük Kütleli Örten Çift Sistem Her X-1 114
3.3 Geçici X-ışın Çift Sistem: Sco X-1 125
3.4 'Geçişli' Çift Sistem PSR J1023+0038 134
3.5 Büyük kütleli X-ışın Çift Sistemi SAX J2103.5+4545 143
4 HEDEF SİSTEMLERİN EVRİM MODELLERİ 151
4.1 Geri Tür Çift Sistemler 153
4.1.1 RT And 153
4.1.2 XY UMa 163
4.1.3 CG Cyg 167
4.2 Nötron Yıldızı Bileşenli X-ışın Çiftleri-NSXRBs 170
4.2.1 Küçük Kütleli X-ışın Çiftleri (LMXBs) 170
4.2.2 Büyük Kütleli X-ışın Çiftleri (HMXBs) 180
5 SONUÇ VE TARTIŞMALAR 184
KAYNAKLAR DİZİNİ 192
TEŞEKKÜR 246
ÖZGEÇMİŞ 248

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

1.1 Bir çift sistemde RLOF yoluyla kütle transfer süreci ve kütle transferi etkinlik parametrelerinin (α, β ve γ) ve kütle kaybının gerçek kesrinin (ϵ) temsili (Vos et al., 2015) 13

1.2 Farklı kütle aralıklarındaki (0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2 ve 2.6 $M_{\odot}$) tek yıldızların MESA-MIST ile elde edilmiş evrim yolları. Üst panel H-R diyagramını, alt panel ise Güneş biriminde M-R diyagramını göstermektedir. 41

2.1 Kısa dönemli aktif geri tür bileşenlerden oluşan çift sistemin temsili. Kaynak: Mark Garlick `https://pixels.com/featured/magnetic-binary-star-system-mark-garlickscience-photo-library.html` 56

2.2 RT And çift sisteminin TUG-T100 teleskobuyla elde edilen CCD alan görüntüsü. Değişen yıldız ve kullanılan mukayese yıldızları işaretlenmiştir. 63

2.3 RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrileri. 64

2.3 RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrilerinin devamı. 65

2.3 RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrilerinin devamı. 66

2.3 RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrilerinin devamı. 67

2.4 RT And'ın TUG-T60 teleskobuyla elde edilen U-B, B-V ve V-R renk ölçeği diyagramları ve V bandındaki C1-C2 mukayese yıldız değişimi (en alt panel). 69

2.5 RT And'ın TUG-T100 teleskobuyla elde edilen B-V, V-R ve R-I renk ölçeği diyagramları ve V bandındaki C1-C2 mukayese yıldız değişimi (en alt panel). 70

2.6 RT And çift sisteminin (O-C) diyagramı ve analizi sonucu elde edilen model. Üst panel üçüncü cisim varlığı durumunda elde edilen model ve gözlem noktalarını (baş minimum (kırmızı), yan minimum (mavi)) göstermektedir. Alt panel üçüncü cismin etkisi çıkarıldığında kalan artıkları göstermektedir. 72

2.7 RT And sisteminin yörüngesinde bulunan üçüncü cismin farklı yörünge eğimi açısı altında sahip olabileceği kütleler. 73
2.8 RT And sisteminin TUG T100,T60 ve TESS gözlemleri ve ışık ve dikine hız eğrilerinin sentetik model sonuçları. İyi bir görünüm için ışık eğrileri rastgele sayılar eklenerek kaydırılmıştır. Dikine hız grafiğinde sürekli çizgi baş bileşeni gösterirken kesikli çizgi yoldaş yıldızı temsil etmektedir. 78
2.9 XY UMa örten çift sisteminin (O-C) diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model. Kırmızı ve mavi noktalar sırası ile baş ve yan minimumları göstermektedir. Düz sürekli yeşil hem üçüncü cisim varlığı durumda beklenen kuramsal değişimi göstermektedir. Alt panelde bulunan sürekli siyah değişim ise üçüncü cismin etkisi çıkarıldığında kalan artıkları simgelemektedir. 84
2.10 XY UMa sisteminin yörüngesinde bulunan olası üçüncü bileşene ilişkin kütle değerlerinin dış yörüngenin eğim açısına bağlı değişimi. 85
2.11 XY UMa sisteminin literatürde yer alan tüm ışık eğrileri. 89
2.12 Örten etkileşen çift sistem XY UMA'nın TESS ışık eğrisi ve dikine hız çözümleri. 90
2.13 CG Cygni örten çift sisteminin (O-C) diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model. Kırmızı ve mavi noktalar sırası ile baş ve yan minimumları göstermektedir. Düz sürekli yeşil üçüncü cisim varlığı durumunda beklenen kuramsal değişimi gösterirken alt panelde bulunan sürekli siyah değişim ise bu etkiden çıkarılmış artıkları simgelemektedir. 96
2.14 CG Cygni örten çift sisteminin yörüngesinde bulunana olası üçüncü bileşene ilişkin kütle değerlerinin dış yörüngenin eğim açısına bağlı değişimi. 97
2.15 CG Cygni sisteme ilişkin literatürde bulunan ışık eğrileri ile çalışma kapsamında çeşitli tarama programlarından alınmış ışık eğrileri. 101
2.16 Örten etkileşen çift sistem CG Cyg'nin TESS ışık eğrisi ve dikine hız çözümlerinin gözlemler ile uyumu. Dikine hız eğrilerinde kırmızı noktalar baş bileşene, mavi noktalar ise yoldaş bileşene aittir. . . 102

3.1 Roche-lobunu doldurmuş optik bileşen ve toplanma diski eşliğinde bir X-ışın çift sistemi temsili gösterimi. Kaynak: Moscow Institute of Physics and Technology 106
3.2 HZ Her (üst panel) ve Sco X-1 (alt panel) sistemlerinin TUG-T60 teleskobuyla elde edilen CCD alan görüntüleri. 111
3.3 PSR J1023+0038 (üst panel) ve SAX J2103.5+4545 (alt panel) sistemlerinin TUG-T60 teleskobuyla elde edilen CCD alan görüntüleri. 112
3.4 TUG-T60 teleskobu ile HZ Her çift sisteminin yeni uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel). 116
3.5 TUG-T60 teleskobu ile HZ Her çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi. 117
3.6 HZ Her sisteminin tüm Yer ve Uzay konuşlu gözlem araçlarıyla elde edilmiş uzun dönemli optik ışık değişimleri ve ışık eğrileri. . . . 118
3.7 HZ Her sisteminin farklı yazarlar tarafından elde edilmiş V bandıdaki ışık eğrileri ve bu çalışma kapsamında TUG-T60 ile elde edilmiş ışık eğirisi. 119
3.8 HZ Her sisteminin MAXI-yörünge ışık değişimi (üst panel) ve yakınlaştırılmış ışık eğrisi (alt panel). 120
3.9 HZ Her sisteminin RXTE/ASM-yörünge ışık değişimi (üst panel) ve Swift/BAT-yörünge ışık değişimi (alt panel). 121
3.10 HZ Her sisteminin XMM-Newton'un farklı kameralarına ait X-ışın ışık eğrileri. 123
3.11 HZ Her sisteminin Swift/BAT gözlemleri (üst panel) ve Fourier analizi sonucu elde edilen güç spektrumu (alt panel). Sisteme ait üst panelde mavi renk ile temsil edilen değişim 34.8 günlük, mor renk ile temsil edilen değişim ise yörünge dönemi olan 1.7 günlük değişime karşılık gelmektedir. 124
3.12 TUG-T60 teleskobu ile Sco X-1 sisteminin yeni elde edilmiş uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel). 128

3.13 TUG-T60 teleskobu ile V818 Sco çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi. 129
3.14 Sco X-1'in Yer ve Uzay konuşlu gözlem araçlarıyla elde edilmiş uzun dönemli optik ışık değişimleri ve ışık eğrileri. 131
3.15 Sco X-1 sisteminin RXTE/ASM (üst panel) ve MAXI X-ışın ışık değişimi (alt panel). 132
3.16 Sco X-1 sisteminin XMM-Newton Epn ve OM kamerası ile elde edilmiş X-ışın ışık eğrileri. 133
3.17 TUG-T60 teleskobu ile PSR J1023 sisteminin uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel). 137
3.18 TUG-T100 teleskobu ile J1023 sisteminin kısa dönemli (8 gece) ışık değişimi (üst panel) ve R bandındaki gecelik ışık eğrileri. 138
3.19 TUG-T60 teleskobu ile PSR J1023+0038 çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi. 139
3.20 PSR J1023+0038'a ait tüm optik ışık eğirileri. 141
3.21 PSR J1023 sisteminin MAXI, Swift/BAT, XMM-Newton X-ışın ışık eğrileri. 142
3.22 TUG-T60 teleskobu ile SAX J2103 sisteminin uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel). 145
3.23 TUG-T60 teleskobu ile SAX J2103.5+4545 çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi. 146
3.24 SAX J2103.5+4545 sisteminin tüm optik veri setlerinin uzun dönemli değişimleri ışık eğrileri. 147
3.25 SAX J2103 sisteminin MAXI, Swift/BAT, RXTE/ASM X-ışın ışık eğrileri. 148
3.26 SAX J2103 sisteminin TUG-T60, ASAS-SN ve ZTF gözlemlerinin ortak analizi sonucu elde edilen 818 günlük değişim. 149
3.27 SAX J2103 sisteminin T60, ASAS-SN ve ZTF gözlemlerinin Fourier analizi sonucu elde edilen güç spektrumu. 150

4.1 RT And çift sisteminin MESA ile uygulanmış test evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramları. Baş yıldız kırmızı ile yoldaş yıldız mavi ile temsil edilmiştir. 154
4.2 RT And çift sisteminin MESA ile uygulanmış evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramlarındaki gösterimi. 155
4.3 RT And çift sisteminin çalışmada ele alınan evrim yaklaşımlarının t-M ve t-P_{orb} diyagramlarındaki gösterimi. 156
4.4 RT And yörüngesinin dönme hızının zaman ile değişimi (sol üst) ve farklı yörünge evrimi yaklaşımlarının M-R diyagramında (sağ üst) gösterimi. Baş ve yoldaş yıldız için dönme senkronizasyon evrimi. 157
4.5 RT And çift sisteminin baş (A) ve yoldaş (B) bileşenleri için evrim yaklaşımlarının ele alındığı MB-CARB modeline ait evrim diyagramları. 159
4.6 RT And çift sisteminin çalışma kapsamında elde edilmiş evrim yollarının HRD'daki gösterimi. 160
4.7 RT And'ın farklı başlangıç koşullarıyla elde edilmiş evrim yollarının baş ve yoldaş bileşen için M-R diyagramındaki gösterimi. 161
4.8 RT And çift sistemine ilişkin MESA modellerinin baş ve yoldaş bileşenleri için t-M, t-Porb sonuç evrim yolları. 162
4.9 XY UMa çift sistemine ilişkin çalışma kapsamında ele alınan MESA evrim yaklaşımlarının H-R diyagramında gösterimi. 164
4.10 XY UMa çift sistemine ilişkin evrim modellerinin M-R diyagramındaki gösterimi. 165
4.11 XY UMa çift sisteminin çalışma kapsamındaki evrim modellerinin bileşen yıldızların t-M ve t-P grafiği. 166
4.12 CG Cyg çift sisteminin evrim modellerinin baş (A) ve yoldaş (B) bileşenleri için HRD'daki gösterimi. 167
4.13 CG Cyg çift sistemine ilişkin evrim yaklaşımlarının bileşen yıldızlar için M-R grafiğinde gösterimi. 168
4.14 CG Cyg çift sistemine ilişkin evrim modellerinde bileşenlerin kütlelerinin yaş ile değişimi ve yörünge döneminin evrimi. 169

4.15 NSXB çift sistemlerinin MESA ile korunumsuz evrimi için başlangıç kütlelerinin 0.6 $M_\odot$ ve 2.2 $M_\odot$ olduğu durumda farklı başlangıç yörünge dönemlerine göre evrim yolları üst sol ve sağ panelde sırasıyla verilmiştir. Alt sol ve sağ panelde ise 0.62 gün başlangıç yörünge dönemiyle kütlenin evrimi gösterilmiştir. 171
4.16 HZ Her çift sistemi üzerinde uygulanmış ML, MT ve MB mekanizmasının karşılaştırmalı evrim yaklaşımlarının farklı diyagramlarda gösterimi. 173
4.17 Her X-1'in CARB-MB mekanizmasının MESA ile uygulanmış farklı başlangıç koşularına sahip sonuçlarının H-R ve M-R diyagramlarında gösterimi. 174
4.18 Her X-1'in farklı model yaklaşımları ile manyetik frenlemenin evrimi ve kütle transfer oranının kütle ile değişimi. 175
4.19 Her X-1'in gözlemsel koşulları dikkate alınarak elde edilmiş model yaklaşımının H-R ve M-R diyagramındaki gösterimi. 175
4.20 Her X-1'in MESA ile uygulanmış farklı başlangıç yörünge dönemi ve kütle kaybı parametreleri ile elde edilmiş sonuçlar ve bu sonuçlardan HZ Her sistemi için en uygun olan M-P diyagramı. 176
4.21 V818 Sco çift sistemine ait evrim yaklaşımlarının Mc-P_{orb} diyagramındaki gösterimi. 177
4.22 V818 Sco çift sistemine ait evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramında gösterimi. 178
4.23 Evrim modelleri kapsamında V818 Sco çift sisteminin manyetik frenleme değişimi ve kütle transfer oranının kütle ile değişimi. . 179
4.24 HMXB SAX J2103'ün oluşturulmuş evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramlarında gösterimi. Siyah noktalar (kare; 20 $M_\odot$ + 8 $R_\odot$ (Reig et al., 2010) daire; 14.8 $M_\odot$ + 6.5 $R_\odot$, yıldız; 17.5 $M_\odot$ + 7.7 $R_\odot$ (Baykal et al., 2007)) yıldızın bugünkü gözlemsel yaklaşımlarını göstermektedir. 181

4.25 HMXB SAX J2103'ün evrim yaklaşımlarının t-M, M-P_{orb} ve RLOF'un yarıçap ile değişim grafiklerinde gösterimi. Siyah noktalar Siyah noktalar (kare; 20 $M_\odot$ + 8 $R_\odot$ (Reig et al., 2010) daire; 14.8 $M_\odot$ + 6.5 $R_\odot$, yıldız; 17.5 $M_\odot$ + 7.7 $R_\odot$ (Baykal et al., 2007)) yıldızın bugünkü gözlemsel yaklaşımlarını göstermektedir. 182

4.26 SAX J2103'ün bu çalışma ile elde edilmiş kütle kaybını gösteren evrim yaklaşımları. 183

5.1 Çalışma kapsamında ele alınmış hedef kısa dönemli aktif çift sistemler ve nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin H-R diyagramındaki yerleri. 191

TABLOLAR DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1 Tez çalışması kapsamında seçilen kısa dönemli aktif çift sistemlerin temel parametreleri. 58
2.2 RT And çift sisteminin gözlem indirgemesinde kullanılan mukayese yıldızların bilgileri `https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/sim-fbasic`. 63
2.3 RT And çift sistemine ilişkin baş ve yan minimum zamanları (HJD*=HJD - 2400000). 74
2.3 Devam 75
2.3 Devam 76
2.4 Dönem değişim analizi sonucunda RT And üçlü sistemine ilişkin elde edilen parametreler. 77
2.5 RT And çift sisteminin ışık eğrisi ve dikine hız eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri. 1 ve 2 indisleri sırasıyla sıcak ve soğuk bileşeni temsil etmektedir. 79
2.6 RT And'ın fiziksel parametreleri. 1σ standart hatalar parantez içinde verilmiştir. 80
2.7 XY UMa çift sistemine ilişkin baş ve yan minimum zamanları (HJD*=HJD - 2400000). 86
2.7 Devam 87
2.8 Minimum zamanlarının (O-C) analizinden elde edilen XY UMa sisteminin üçüncü bileşeninin yörünge parametreleri. 88
2.9 XY UMa çift sisteminin ışık eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri. 1 ve 2 indisleri sırasıyla sıcak ve soğuk bileşeni temsil etmektedir. 91
2.10 Ayrık aktif sistem XY UMa'nın fiziksel parametreleri. 92
2.11 CG Cyg çift sistemine ilişkin baş ve yan minimum zamanları (HJD*=HJD - 2400000). 98
2.11 Devam 99

2.12 CG Cyg'nin dönem değişim analizi sonucu elde edilen parametreler. Son basamaktaki standart hatalar 1σ seviyesinde olup, parantez içinde verilmiştir. 99
2.13 CG Cyg çift sisteminin ışık ve dikine hız eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri. 103
2.14 CG Cyg ayrık örten çift sistemin fiziksel parametreleri. 1σ standart hatalar parantez içinde verilmiştir. 104
3.1 Seçilen NSXRB sistemlerin TUG-T60 gözlem özellikleri. Gözlem zamanı (BJD-2450000) olarak verilmiştir. Gözlem nokta sayıları VRI bandları toplamına karşılık gelmektedir. 108
3.2 NSXRB sistemlerinin gözlem verilerinin indirgenmesinde kullanılan mukayese yıldızlarının bilgileri. 110
3.3 Tez çalışması kapsamında seçilen nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerin temel parametreleri. 113
5.1 Çalışma kapsamında seçilen kısa dönemli aktif ayrık çift sistemlerin bileşenlerinin ve nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerin optik bileşenine ilişkin elde edilen fiziksel parametreler. 190

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
T_{eff}	Etkin sıcaklık
L_X	X-ışın ışıtması
L_b	Bolometrik ışıtma
a	Yarı-büyük eksen uzunluğu
P_{orb}	Yörünge dönemi
P_{rot}, P_{spin}	Dönme dönemi
P_{cyc}	Çevrim dönemi
R_{RL}, R_L	Roche yarıçapı
$L1, L2$	Lagrange 1 ve 2 noktası
t_{KH}	Termal-ısısal zaman ölçeği
M_c, M_{opt}	Bileşen yıldızın kütlesi
M_x, M_{NS}	Nötron yıldızının kütlesi
τ_{ED}	Eddington-Sweet zaman ölçeği
τ_{conv}	Konvektif devir zaman ölçeği
$\tau_{\odot,conv}$	Güneş konvektif devir zaman ölçeği
L_{Edd}	Eddington ışıtması
$\dot{M}_{Edd}$	Eddington toplanma oranı
J_{orb}	Yörünge açısal momentumu
τ_{sync}	Senkronizasyon zaman ölçeği

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
$HRD, HR, H-R$	Hertzsprung-Russell diyagramı
MLT	Karışım uzunluğu teorisi
$RLOF$	Roche-Lobu taşması
$RSCVn$	RS Canum Venaticorum
ML	Kütle kaybı
AM	Açısal momentum
AML	Açısal momentum kaybı
MT	Kütle transferi
MB	Manyetik frenleme
GR	Gravitasyonel ışıma
GW	Gravitasyonel dalga
$LMXB$	Küçük kütleli X-ışın çifti
$HMXB$	Büyük kütleli X-ışın çifti
NS, NY	Nötron yıldızı
MSP	Milisaniye pulsarı
$CARB$	Convection and Rotation Boosted
MS	Anakol
TUG	TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
EUO	Ege Üniversitesi Gözlemevi
$XRBs$	X-ışın çiftleri
$ZAMS$	Sıfır yaş anakol
$BMSP$	Çift milisaniye pulsar
$IMXB$	Orta kütleli X-ışın çifti
EOS	Durum denklemi
$MAXI$	Monitor of All-sky X-ray Image
$LIGO$	Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory
$MESA$	Modules for Experiments in Stellar Astrophysics
$MIST$	MESA Isochrones and Stellar Tracks
$RXTE$	Rossi X-ray Timing Explorer
ASM	All-Sky Monitor

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
XMM	X-ray Multi-Mirror Mission
$ASAS$	All-Sky Automated Survey
$ASAS-SN$	All-Sky Automated Survey for SuperNovae
$AAVSO$	American Association of Variable Star Observers
$TESS$	Transiting Exoplanet Survey Satellite
$CATALINA(CSS)$	CATALINA Sky Survey
$SuperWASP$	Wide Angle Search for Planets
ZTF	Zwicky Transient Facility
$DASCH$	Digital Access to a Sky Century @ Harvard
PTF	Palomar Transient Factory
$ATLAS$	Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System
$NSVS$	Northern Sky Variability Survey
OMC	INTEGRAL Optical Monitoring Camera
$APASS$	AAVSO Photometric All-Sky Survey
$EPIC$	European Photon Imaging Camera
nm	Nanometre
pc	Parsek
kpc	Kiloparsek
ms	Milisaniye
mas	Miliaçısaniye

1 GİRİŞ

1.1 Yıldız Evrimine Genel Bakış

Yıldızlar diğer galaksilerde olduğu gibi bizim galaksimizin de temel yapı taşlarıdır. Çekirdek nükleer tepkimeleri yoluyla maddenin kozmik çevrimini yürütürler, yıldız rüzgarları ve süpernova patlamaları aracılığıyla yıldızlararası ortamın metal bolluğunu değiştirirler ve yeni nesil yıldızların oluşumunu tetikleyen yıldızlararası ortamın dinamiklerini etkilerler. Yıldız astrofiziğini anlamak, çift yıldız ve gezegen sistemlerinden süpernova patlamalarına, galaksi evriminden kozmolojiye kadar astronomideki neredeyse tüm fenomenleri ortaya çıkarmak için kilit bir rol oynar. Örneğin, yakın çift sistemler, geri tür küçük kütleli bir yıldızdan ön tür büyük kütleli bir yıldıza birçok yıldız türünün/sınıfının oluşumunu anlamak için önemlidir.

Yıldızların yapısı ve evrimi modern astrofiziğin temel problemlerinden birini oluşturmaktadır. Güneş benzeri bir yıldızın evrimine göre çift sistem üyesi yıldızların evrimi farklı fiziksel süreçlere bağlıdır. Yıldızdan kaçan plazmanın neden olduğu madde kaybı, bileşen yıldızlar arasındaki kütle transferi ve açısal momentum kaybı bu süreçlerin başlıcalarıdır. Yıldızlarda kütle kaybı/transferi çift sistemin yörünge hareketini etkileyecektir. Kütle, yarıçap, ışıtma ve kimyasal bolluk gibi temel yıldız parametreleri bize yıldız evrimi hakkında bilgi sağlamaktadır, parametreleri iyi belirlenen yıldızlar özellikle evrim hakkında daha doğru bilgi edinmek için değerlidir. Bileşenlerin parametrelerini belirlemek için çift sistemlerin tayfsal ve fotometrik gözlemlerine sahip olmak oldukça önemlidir (Yakut and Eggleton, 2005).

Son yıllarda yıldız yapısı hakkındaki düşüncelerin büyük ölçüde değişmesi ile yıldızlarda gözlenen özellikleri açıklamak için gözlemlerden veya teorik analizlerden elde edilen üç önemli etki; O-B süperdev ve kırmızı dev yıldızlar için yıldız rüzgarıyla kütle kaybı; konvektif çekirdeklerden overshooting ve ayrıntılı nükleosentez, klasik yıldız evrimi fikirlerini tamamen değiştirmiştir (De Loore and Doom, 1992). Bu etkiler, teorik modellerin detaylandırılması için modellere dahil edilmektedir ve böylece klasik evrim teorisinin örnekleri,

daha karmaşık yaklaşımların örnekleriyle değişmektedir (De Loore and Doom, 1992).

Yıldız evrim modelleri, yıldız sistemlerinin yaşlarının belirlenmesi, başlangıç kütle fonksiyonlarının türetilmesi ve gözlenen metal bolluklarının açıklanması için kullanılabilir. Bu nedenle, kullanılan evrim modellerinin doğrulukları hakkında iyi bir fikre sahip olmak oldukça önemlidir (De Loore and Doom, 1992). Bu doğruluk, model hesaplamalarında kullanılan girdi fiziğine, nükleer reaksiyon oranlarına, opaklıklara, konveksiyon ve yarı-konveksiyon yaklaşımına ve durum/hal denklemi gibi iç yapı evriminde etkili olan süreçlere bağlıdır. Ayrıca manyetik alanlar, dönme ve kökeni konvektif olmayan karışım gibi genellikle evrim modellerinde göz ardı edilen fenomenlerin potansiyel etkisini bilmek de önemlidir (De Loore and Doom, 1992). Öte yandan, gözlemlerin kalibrasyonu da dikkate alınmalıdır. Bu, esas olarak yıldız rüzgarıyla kütle kayıplarına, konvektif çekirdeklerden overshooting ve karışım uzunluğuna atıfta bulunur (De Loore and Doom, 1992).

Tek yıldızların iç yapı evriminde etkili olan karışım, konveksiyon (yarı-konveksiyon), overshooting gibi etkiler, çift sistemlerin evriminde daha da karmaşık bir hal alır. Çift sistem durumunda bu etkiler ile birlikte sistemden atılan kütle ve açısal momentumun taşınması da göz önünde bulundurulur. Bu noktada, korunumlu olmayan yakın çift evrimi, değen evre de her iki bileşenin eş zamanlı evrimini, yakın çiftlerin ayrık evre süresince yıldız rüzgarıyla kütle kayıplarını ve kütle toplayan bileşenlerin evrimlerindeki değişiklikleri dikkate almaktadır. Yıldız evrimi sırasında, yıldız maddesinin bir kısmı yıldızlararası ortama geri kazandırılabilir. Hidrojen yakma evresi sırasında büyük yıldızlardan yıldız rüzgarıyla gerçekleşen kütle kaybı, ileri evrelerde daha küçük kütleli yıldızlar tarafından yıldızlararası ortama geri kazandırılabilir (De Loore and Doom, 1992).

Yıldız evriminin genel özellikleri oldukça iyi belirlenmiş olmasına ve çeşitli yıldız grupları arasındaki evrimsel bağlantıların bilinmesine rağmen, yıldız evriminde hala bazı önemli sorunlar mevcuttur. Bunların arasında en önemlileri, konvektif bölgelerin ya Schwarzschild kriteri ile ya da oversho-

oting dahil edilerek işlenmesidir ve bu durum anakol aşamasında olduğu gibi kırmızı dev aşamasında da kütle kayıplarının bir temsilidir (De Loore and Doom, 1992). Teorik anakol genişliği, mavi devlerin kırmızı devlere teorik oranı, Hertzsprung-Russell Diyagramı'ndaki (HRD) evrimsel yolların yönü, çekirdeğin genişlemesi ve dış katmanların atılması arasındaki etkileşime bağlıdır. Dış katmanların dışarı atımı, nükleer süreçler tarafından değiştirilen bolluklarla birlikte, ilk konvektif çekirdeğin ürünlerinin ortaya çıkmasına izin verir; Bu ürünlerin belirli bir evrimsel aşamada yüzeyde görünüp görünmeyecekleri, çekirdeğin boyutu ve kütle kaybının miktarı ile belirlenir. Daha büyük çekirdekler, çekirdekte hidrojen yanması sırasında bile, evrimlerinin ilk aşamalarında çok büyük kütleli yıldızların HRD'deki sola doğru hareketini destekleyecek, böylece kabukta hidrojen yanması meydana gelmeyecektir; büyük bir yıldız kütle kaybı oranı görülür bir etkiye sahiptir. Çok büyük kütleli yıldızların evriminde en önemli etkilerden biri yıldız rüzgarıdır (De Loore and Doom, 1992).

Büyük kütleli ve tayf türü B ($3\mathrm{M}_{\odot} \lesssim M_1 \lesssim 16\mathrm{M}_{\odot}$) ve O ($M_1 \gtrsim 16M_{\odot}$) yıldızları yakın yörüngede dolanan yoldaş bir anakol (MS) yıldızı ile birlikte evrimleşerek X-ışın çiftlerini (Verbunt, 1993), milisaniye pulsarları (Lorimer, 2008), Tip Ia (Wang and Han, 2012) ve muhtemelen Tip Ib/c (Yoon et al., 2010) süpernovalarını, Algol çift sistemlerini (van Rensbergen et al., 2011), kısa (Nakar, 2007) ve uzun (Izzard et al., 2004) gama-ışın patlamalarını, toplanma kaynaklı çökmeyi (Ivanova and Taam, 2004) ve gravitasyonel dalga kaynaklarını (Schneider et al., 2001) oluşturabilir.

Büyük kütleli yıldızlarda, evrim sırasında konvektif çekirdeğin sınırı değişir; konvektif çekirdek, çekirdekte hidrojen yanması sırasında küçülür. Hidrojen yakma evresinin sonunda konvektif çekirdek tamamen yok olmuştur; toplam kütlenin yaklaşık %5'i kadar küçük bir helyum çekirdeği mevcuttur; helyum yanması sırasında konvektif çekirdek tekrar genişler. Zarfta bileşim değişmez (yıldız rüzgarıyla gerçekleşen kütle kaybı dışında). Tüm büyük kütleli yıldızlar aynı davranışı gösterir (De Loore and Doom, 1992). Büyük kütleli yıldızlar, nükleer yanmanın tüm aşamalarında çekirdekte yozlaşmayla

karşılaşmadan evrimleşirler. Sıcaklık 6×10^8 K'nın üzerine çıkarak merkezdeki karbonun sakin bir şekilde yanmasını ateşleyebilir ve Ne ve Mg üretebilir. Bu alt bölüm için kütle limitleri, yıldız modellerinin yapımında benimsenen kütle kaybı veya overshooting gibi çeşitli varsayımlara bağlıdır.

Küçük kütleli yıldızlar (1.6 $M_\odot$'nin altındaki kütle) hidrojen yanmasının esas olarak pp-zinciri yoluyla gerçekleştiği konvektif zarflarla çevrili radyatif/ışınımsal çekirdeğe sahiptir ve bu yıldızlarda fotosferin tabanı genişlemiştir (De Loore and Doom, 1992). Yıldızdan gerçekleşen enerji kayıplarının, dinamik zaman ölçeğinden çok daha büyük bir nükleer zaman ölçeğinde meydana gelen nükleer reaksiyonlar tarafından sağlanmasıyla yıldız kendisini azalan hidrojen yakıt kaynağına uydurmak için yapısını yarı-statik olarak benimser. Daha büyük kütleler için evrim farklı bir şekilde gerçekleşir. 2×10^7 K'den büyük merkezi sıcaklıklar için, konvektif bir çekirdekte CNO döngüsü aracılığıyla hidrojen yanması meydana gelir. Konvektif çekirdek içinde karışım, bölgesel nükleer tepkimeye kıyasla o kadar hızlı gerçekleşir ki, sıcaklıkla orantılı nükleer yanma, merkezi bölgelerde daha çevresel katmanlardan daha verimli olmasına rağmen, çekirdek boyunca kimyasal yapı homojendir. Hidrojen bolluğunun değişimi enerji üretimi ile orantılıdır (De Loore and Doom, 1992).

Yıldızlarda konveksiyon yıldız iç yapı modellerinde önemli bir parametere olarak karşımıza çıkar. Bildiğimiz gibi yıldızların içindeki madde her zaman hareketsiz değildir. Bazen küçük rastgele pertürbasyonlar tarafından tetiklenen kararsızlıklar konveksiyon adı verilen güçlü bir türbülans hareketi yaratır ve madde hareket etmeye başlar. Buna en iyi örnek Güneş'tir. Hareketli fotosferi ile Güneş'in iç kısımdan yüzeye doğru yükselen ve birkaç on dakika sonra çözünen büyük madde kümeleri olarak bilinen 'Bulgurlanma' gözlenmektedir. Yıldız konveksiyonu kaynayan bir suda, ısının küçük su damlacıkları tarafından sürekli olarak yukarıya doğru taşınması ile bir sıcaklık gradiyenti oluşturmasına benzetilir. Gerçek sıcaklık gradiyenti (radyatif sıcaklık gradiyenti- ∇_r) adyabatik sıcaklık gradiyentinden (∇_{ad}) daha dik hale geldiğinde yıldızın iç kısmında konveksiyon başlar. Konveksiyonla sadece ısı değil kinetik enerji de yukarı doğru taşınır. Yıldız konveksiyonu bir

akışkandaki konveksiyondan daha karmaşıktır. Bir akışkan sıkıştırılamazken, yıldızın iç kısmındaki gaz kolaylıkla sıkıştırılabilir (De Loore and Doom, 1992). Konveksiyonun gerçekleşme koşulu sayısal olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\nabla_r = \frac{3}{16\pi acG}\frac{\kappa P}{T^4}\frac{L_r}{M_r} > \nabla_{ad} \tag{1.1}$$

Burada L_r/M_r faktörü yıldızın içindeki bir r seviyesinin altındaki ortalama enerji üretim oranını vermektedir. Yıldız evriminde hidrojen yanmasının CNO döngüsüyle enerji üretiminin sıcaklığa bağlılığının pp zincirinin sıcaklığa bağlılığından çok daha dik olduğu bilinmektedir (De Loore and Doom, 1992). Bu nedenle, enerjinin CNO döngüsü tarafından üretildiği yıldızların konvektif çekirdeklere sahip olması beklenirken, enerjileri için sadece pp zincirine bağlı olan yıldızların konvektif çekirdeklere sahip olmamasını bekleyebiliriz.

Yarı konveksiyon ise, bir yıldızın konvektif çekirdeği ile yüzeyi arasındaki bir bölgede meydana gelen yavaş bir karışım şeklidir. Bölge, karışım'a maruz kalmamışsa karıştırılmalıdır, karışım'a maruz kalmış ise homojenleştirilmemelidir. Bunun çözümü, yavaş karışım biçimi olarak tanımlanan yarı-konveksiyon ile sağlanır. Karışım, radyatif/ışınım gradiyenti adyabatik gradiyente eşit olana kadar böyle bir bölgede yavaşça gerçekleşir. Yıldızda yarı-konveksiyon mevcutsa, ısı ve kinetik enerji akışları ihmal edilebilecek kadar küçüktür ve enerji taşınımı ışınım tarafından domine edilir (De Loore and Doom, 1992). Yarı-konveksiyon etkinliğinin çift yıldız evriminin tahminlerinde de büyük bir etkisi vardır (Wellstein and Langer, 1999; Cantiello et al., 2007).

Karışım yıldız iç yapı evriminde rol alan ve Konvektif, termohalin ve Dönmeden kaynaklı süreçler ile yönlendirilen bir etkidir. **Konvektif karışım** yıldızlarda en etkili karışım sürecidir. Konveksiyon ısı ve kinetik enerji akışı üretiminin yanı sıra türbülanslı bölge boyunca elementleri karıştırarak karışım etkisi sergiler. Dinamik zaman ölçeğinde gerçekleşen konveksiyonu hesaba katmak için bir yaklaşıma ihtiyaç vardır ve bunlardan biri **Karışım Uzunluğu Teorisi (MLT)**'dir (Böhm-Vitense, 1958). Karışım uzunluğu teorisi, Karl Schwarzschild tarafından türetilen kriterlere göre konvektif olarak kararsız olan bölgelerde (daha sonra Paul Ledoux tarafından bileşimin gradiyentlerini

hesaba katmak için güncellenmiştir), karmaşık hidrodinamik süreçleri çözme ihtiyacı olmaksızın enerji taşıma oranı hakkında bilgi sağlar (Marchant, 2017). Güneş ve diğer yıldızların detaylı gözlemlerini hesaba katmak için, teorideki serbest bir parametrenin gözlemlere göre ayarlanması gerekir ve bu kalibrasyon her koşulda geçerli olmayabilir (Bonaca et al., 2012). Bir diğer önemli konu, konvektif sınırın kesin konumu ile ilgilidir. **Ledoux kriteri** kararsızlık için net bir sınır tanımlasa da, madde hücreleri konvektif bölgeden karalı bölgeye geçerek maddenin karıştırıldığı bölgeyi genişletebilir. Bu, kendi başına bir kalibrasyon gerektiren ek bir belirsizlik ortaya çıkarır (bkz.Marchant (2017) ve içindeki referanslar).

termohalin karışım konveksiyon karışım'a benzerdir, ancak dışarıya doğru artan ortalama moleküler ağırlığa sahip olan konveksiyonca kararlı bölgelerde çalışır. Nükleer yanma normalde daha ağır elementlerin daha derinlerde yer aldığı katmanlı bir yapıya neden olduğu için bu tek yıldızlarda sık görülen bir durum değildir (Marchant, 2017). termohalin karışım genellikle hem küçük kütleli (Kippenhahn et al., 1980; Stancliffe and Glebbeek, 2008) hem büyük kütleli yıldızların (Wellstein et al., 2001; Petrovic et al., 2005) rol aldığı çiftlerde kütle transferi boyunca meydana gelir.

Dönme kaynaklı karışım ile yönetilen homojen evrim kavramı, Maeder (1987) tarafından tekrar gündeme getirilmiştir. Hızlı dönen ve büyük ölçekte akışkanlığa sahip yıldızlarda madde, nükleer reaksiyonlarla hidrojenin neredeyse tamamının helyuma dönüştüğü çekirdekte karışır. Büyük kütleli yıldızlarda dönme kaynaklı karışım'ın daha etkili-güçlü olması beklenir, çünkü ışınım basıncının artan önemi, yıldızın ışınım zarflarının tabakalaşmasını azaltır (Yoon et al., 2006). Şu anki yıldız evrim modelleri, Tayler-Spruit dinamosundan (Spruit, 2002; Heger et al., 2005) dolayı ışınım zarflarında diferansiyel dönmeden kaynaklı manyetik alanların oluşumu da dahil olmak üzere değişken dönme kaynaklı karışım süreçlerini (Heger and Langer, 2000) dikkate almaktadır.

Genellikle yıldız iç yapı modellerinin hesaplanmasında kullanılan **Schwarzschild kriteri**, $\nabla_{rad} = \nabla_{ad}$, konvektif bölgenin sınırının, kaldırma

kuvveti tarafından konvektif elemanlara verilen ivmenin ortadan kalktığı yerde bulunduğu varsayımına eşdeğerdir. Bununla birlikte, bu elemanların hızı sıfır değildir ve elemanlar konvektif bölgenin üzerindeki radyatif/ışınımsal bölgeye nüfuz edeceklerdir, bu da **overshooting** olarak belirtilen bir olgudur. Bu şekilde konvektif alan daha da genişler, dolayısıyla konvektif çekirdeğin kütlesi daha büyük olur. Overshooting özellikle büyük konvektif çekirdekli yıldızlar için önemlidir (De Loore and Doom, 1992).

1.2 Etkileşen Çift Sistemlerin Evrimi

Yıldız yapısı ve evrimi hakkındaki bilgimiz büyük ölçüde teori ve gözlem arasındaki karşılaştırmaya dayanır. Çift yıldızlar, yıldızların kütle, yarıçap, ışıtma ve etkin sıcaklık gibi bilgilerini yüksek doğrulukla belirleyerek, yıldız evrim teorisi için temel ve bağlayıcı test olanağı sağlayabilir. Kopal (1955) tarafından önerilen Roche geometrisine bağlı olarak yapılmış sınıflamaya göre bir çift sistem; her iki bileşenin de Roche lobunu doldurmaması durumunda 'ayrık' bileşenlerden sadece biri Roche lobunu doldurması durumunda 'yarı-ayrık' ve her iki bileşeninde Roche lobunu doldurması durumunda 'değen' olarak adlandırılmaktadır.

Bilinen en doğru ölçülmüş yıldız parametreleri ayrık ve çift-çizgili örten çiftlerden gelir. Uzaklıktan bağımsız olarak genellikle %1 hassasiyetle sağlanan (Morales et al., 2009) bu bilgiler, hem tek yıldız evriminde anakol (MS) süresince ve anakoldan sonrasında (MS- sonrası) özellikle konvektif overshooting hem de konvektif çekirdek sınırının dışında başka bir karışım formu gelişmesi durumunda standart olmayan evrim modelleri için dikkate alınmaktadır (Pols et al., 1997).

"Yakın-Etkileşen çift" terimi genellikle bileşenlerin ayrıklığının küçük olduğu duruma karşılık gelir, çekim kuvvetleri ve Roche-Lobu taşması (RLOF) onların evriminde önemli rol oynamaktadır. Burada "yakın" ile sınırlandırılan durum; 1 günden daha az yörünge dönemine sahip olanları kapsamaktadır (Yakut and Eggleton, 2005). Bu tür sistemler üç alt grupta, (1) düşük sıcaklıklı değen çiftler (LTCBs), (2) yarı-ayrık çiftler, ki bunlar bu kadar kısa dönemlilerde değen olarak tanımlanan değmeye yakın çiftler (NCBs) ve (3) ayrık yakın çiftlerdir (DCBs). Bu sınıflar arasında güçlü evrimsel bağlantıların olması beklenmektedir (Yakut and Eggleton, 2005). Özellikle son yıllarda, Güneş üzerine yapılan çalışmalar (Schou et al., 1998; Thompson et al., 2003) geri tür anakol yıldızlarını içeren tüm LTCBs, NCBs, DCBs üzerindeki bakış açımızı genişletmiştir. Bu çalışmalar yıldız yüzeyinin konvektif bölgesinin iç kısmı ve diferansiyel dönme hakkında önemli bilgi sağlamaktadır. Bunun bir sonucu olarak, Güneş-benzeri yıldızlar için bu bilgi uygulanabilirdir (Yakut

and Eggleton, 2005).

Etkileşen çift yıldızların bir kısmını oluşturan RS CVn çiftleri Hall (1976) tarafından tanımlanmış aktif çift sistemlerin özel bir sınıfını oluşturmaktadır. RS CVn sınıfı kendi içerisinde üç ayrı alt kategoride incelenmektedir; kısa dönemli RS CVn'ler ($P_{orb} < 1$ gün), klasik RS CVn'ler (P_{orb} 1-14 gün) ve uzun dönemli RS CVn'ler ($P_{orb} > 14$ gün). Yıldız sistemlerinin bu sınıfının üyelerinden en az bir bileşenin tayf türü F-G V-IV'dır ya da tayflarında Ca II H ve K salma çizgileri gösterirler. Daha soğuk olan bileşen genellikle bir altdev ya da dev olan K türü bir yıldızdır ki bu çok büyük kütleli bir üyedir. Her iki bileşen normalde Roche yüzeyleri içerisine yerleşiktir ancak bazı sistemler kütle transferi için kanıt sergilerler (Huenemoerder et al., 1989). Küçük dönme dönemine sahip sistemlerde yıldızlar nerdeyse tamamen eş zamanlı dönmeye sahiptir ve çekimsel olarak olarak kilitlenmiş yüksek dönme oranlarına sahiplerdir. Linsky and Gary (1983) şu noktaya değinmiştir; senkronize dönen yıldızlar için yörünge döneminin sınırlandırılması klasik RS CVn'ler için yaklaşık 20 gün'dür. Bu nedenle, bu sistemlerin çiftlik etkisine dikkat edilmelidir, bundan ayrı olarak konvektif bölgenin dinamiği ve Roche lobunu doldurma faktörüne de dikkat edilmelidir (Young and Koniges, 1977).

RS CVn'lerin fotometrik ölçümleri düşük genlikli yarı-sinüzodial ışık değişimleri sergiler. Bu değişimlerin nedeni soğuk yüzey yıldız lekeleri olarak yorumlanmıştır. Işık değişimlerindeki bu fotometrik dalganın hareketi, yörünge çevrimi ile ilişkili evrede Güneş üzerinde gözlenmiş olan yıldız lekelerinin enlemsel hareketi ile kanıt niteliği taşımaktadır (Brady and Gunn, 2000). Bileşenlerin sahip oldukları bu yıldız lekelerinin yıldızın fotosferinden 500-1000 K daha soğuk olduğu ve bu lekelerin yıldız yüzeyinin %40'ından fazlasını kaplayabileceği (Doyle et al., 1988; Eaton and Hall, 1979) ve kutup bölgelerinde oluşabileceği önerilmektedir. Lekelerin varlığının belirlenmesi Doppler görüntüleme çalışmaları ile bağımsız olarak yapılabilir (Strassmeier, 1990; Vogt and Penrod, 1983) ve yıldızın yüzey parlaklık dağılımı kullanılarak lekelerin neden olduğu ve dönme kaynaklı tayf çizgisinin genişlemesinden bulunabilir. Güçlü koronal X-ışın, değişken Hα salması, radyo salması, güçlü UV (moröte)

kromosferik ve geçiş bölgesi çizgi salmaları (örneğin, Mg II h & k ve C IV), flare ve muhtemelen aktivite çevrimi ve/veya kütle kaybı nedeniyle yörünge dönemi değişimleri (Kalimeris et al., 1995; Doyle et al., 1994) bu çift sistem türü sınıfının özelliklerini temsil etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, başta Güneş benzeri geri tür ve küçük kütleli bileşene sahip farklı kütle aralıklarındaki çift yıldızların korunumlu ve korunumsuz evrimine odaklanılmıştır. Bu kapsamda, RS CVn türü (kısa dönemli RS CVn'ler) ayrık aktif çift sistemler ve nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftleri çalışılmıştır. Hedef sistemlere ve evrimlerine ilişkin detaylar sırasıyla Bölüm 2'de ve Bölüm 3'de verilmiştir.

Yakın çift yıldızlarda evrim yaklaşımları tez çalışması kapsamında toplam kütlenin ve açısal momentumun korunduğu korunumlu süreçleri ve toplam kütlenin korunmadığı; dinamo süreçleri, yıldız aktivitesi, dönme, çiftlik etkisi, kütle transferi (MT), kütle kaybı (ML), manyetize olmuş yıldız rüzgarlarıyla kütle kaybı, gravitasyonel ışıma nedeniyle açısal momentum kaybı (AML) gibi etkilerin dikkate alındığı süreçleri kapsamaktadır.

Korunumlu evrim, bir çift sistem de kütle transferi aşamaları sırasında, kütlenin baş yıldızdan atılan kütlenin yoldaş yıldıza eklenebileceği varsayımı ile işler. Kütle transferi aşamalarında korunumsuz sürece şu şekilde yaklaşılabilir: Yıldız yarıçapı R, Roche yarıçapı R_{RL}'den daha küçük olduğu sürece, baş bileşenin evrimi sanki tek bir yıldızmış gibi hesaplanır. Yıldız yarıçapı, Roche yarıçapına eşit olduğunda, yıldız hacmini azaltmak ve yıldız yarıçapını Roche yarıçapına eşit tutmak için yeterli miktarda yıldız maddesi almalıdır. Bu, bunu tamamlayıcı bir sınır koşulu olarak kabul edilerek yapılabilir, $R = R_{RL}$. Alternatif diğer bir yolda, belirli bir sınır dahilinde R'yi R_{RL}'den daha küçük tutmaktır (De Loore and Doom, 1992). Açıkçası bu sadece bir ilk yaklaşımdır. Daha doğru yöntemler, her iki bileşenin yapısını aynı evrim koduyla birbiri ardına hesaplanan adımlardan oluşur.

Açısal momentumun korunumuyla, kütlenin değişimi çiftin yörünge ayrıklığında bir değişiklik sağlar (Quintin and Nelson, 2013). Yörünge ayrıklığı a, toplam yörünge açısal momentumu J, toplam kütle $M_T = M_1 + M_2$ olmak

üzere açısal momentum değişimi Eşitlik 1.2 ile ifade edilir.

$$J^2 = G\frac{M_1^2 M_2^2}{M_T}a \tag{1.2}$$

$$M_2 = M_{2,prev} + \dot{M}_2 dt \tag{1.3}$$

$$M_1 = M_{1,prev} + \dot{M}_1 dt \tag{1.4}$$

Burada $\dot{M}_2$ ve $\dot{M}_1 = -\beta\dot{M}_2$ olmak üzere yörünge ayrıklığı a ise Eşitlik 1.5 ile hesaplanır:

$$a = \left(\frac{J}{M_1 M_2}\right)^2 \frac{(M_1 + M_2)}{G} \tag{1.5}$$

.

Korunumsuz evrim senaryosu, kütle ve açısal momentum kayıplarının dikkate alındığı ve çift sistemin ayrık evresi sırasında yıldız rüzgarından kaynaklanan kütle kayıplarının da dahil edildiği yaklaşımları kapsar. Korunumlu evrim varsayımı artık korunmadığında, bileşenler arası kütle transferinin ilk aşamasının süresi büyük ölçüde arttırılabilir. Bileşenlerden yıldız rüzgarı yoluyla ya da kütle transferi sırasında sistemden ayrılan/atılan kütle, açısal momentumu artıracaktır. Bileşenler arasındaki ve çevresindeki gaz akışlarının davranışına bağlı olarak kütle toplayan bileşen etrafında bir toplanma diski oluşabilir. korunumsuz evrim senaryosunda kütle kaybı ve kütle toplanma oranları Eşitlik 1.6ile bağlanabilir (De Loore and Doom, 1992):

$$\frac{dM_r}{dt} = -\beta\frac{dM_d}{dt} \tag{1.6}$$

Burada M_r ve M_d sırasıyla kütle alan ve kütle veren bileşenin kütleleridir. β, kütle transferi etkinlik parametresidir, transfer edilen kütle kesri olarak bilinir ve keyfi olarak seçilebilir ($\beta < 1$; β=1 korunumlu evrim durumuna karşılık gelir); (1-β) kütlenin sistemden çıkması gereken kısmıdır. Bazı durumlarda, açısal momentum kayıp mekanizmaları kütle kaybı ile ilişkili olarak tahmin edilebilir. Korunumsuz evrim sürecinde çiftin sahip olduğu temel kütle kaybı yıldız rüzgarıyla ve L2 yoluyla gerçekleşir. Jeans moduna göre kayıp(Huang, 1963); küresel simetrik rüzgarlar yoluyla ve yıldızın sahip olduğu yüksek dönme hızları nedeniyle sistemden taşınan açısal momentum yardımıyla bir nokta kaynak gibi yıldız rüzgar kütlesinin kaybedilmesi ile meydana geldiği

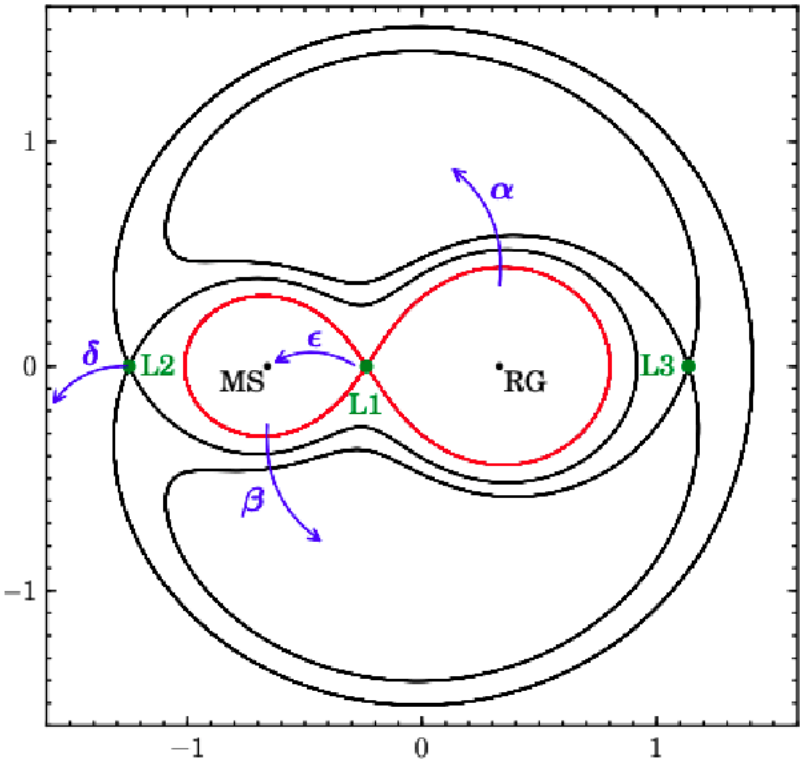
varsayılır. L2 yoluyla kütle kaybı değen bir çift sistemin dış kritik yüzeyini, eş potansiyel yüzeyi L2 yoluyla doldurmaya başladığında meydana gelir. Yıldız bileşenini düşük hızda terk eden gazın/maddenin açısal momentumu, sistemden çıkmadan önce çekimsel etkileşimi yoluyla artar. Bu tür kütle kaybı, yörünge döneminde büyük bir azalmaya ve çiftin ayrılmasına yol açar.

Korunumsuz evrim modellerinde büyük kütleli yıldızlarda (O ve ön tür B) ışınım basıncı kütle kaybında önemli bir etken olabilirken orta anakol yıldızları için örneğin, tek yıldızlarda çok küçük kütle kaybı normal olarak gözlenir (Nelson and Eggleton, 2001). Özellikle hızlı dönen G/K/M cücelerinde (ve hatta daha çok devlerde) manyetize olmuş yıldız rüzgarları ve gravitasyonel ışıma ile açısal momentum kaybı (AML) oldukça yaygın olarak gözlenir ve geri tür optik bileşene sahip relativistik çiftlerde AML zaman ölçekleri tahmin edilebilir (bkz. İçli (2016)).

Çift yıldızlarda **kütle transferi** (MT) (örneğin, kararlı RLOF gibi) evrimleşmemiş yıldızlarda, yıldızdan yıldıza bolluk değişimlerini üretmek için önerilen olası bir mekanizma olarak dikkat çekmektedir (Gratton et al., 2012; Milliman et al., 2015). Bununla birlikte astrofizikte çok önemli açık sorulardan biri olarak görülmektedir (El-Badry et al., 2022). Çift sistem üyesi yıldızların büyük bir çoğunluğu evrimlerinin bazı aşamalarında kütle transferi yaparlar ve bu onların yaşam sürelerini önemli ölçüde değiştirir (örneğin, Moe and Di Stefano (2017); Kobulnicky et al. (2014); de Mink et al. (2013); Sana et al. (2012)). Etkileşen çiftlerin gerçekçi evrim modelleri, çözülmemiş yıldız popülasyonlarının modellenmesinde önemli araştırma alanlarından biridir ve bu çiftler önemli ölçüde tek yıldız modellerinden farklı öngörülere sahiptir (örneğin, Eldridge et al. (2017); Ma et al. (2016); Stanway et al. (2016); Steidel et al. (2016)).

Çift sistemlerde **kütle transfer etkinliği**, transfer edilen kütlenin miktarı Tauris and van den Heuvel (2006) ve Soberman et al. (1997) tarafından tanımlanmış olan farklı kütle transfer etkinlik parametreleri olan α, β ve γ ile değişir. Burada α, baş yıldızın açısal momentumunu taşıyan kütle veren yıldızın çevresinden kaybedilen kütle miktarını, β iç Lagrange

noktası aracılığıyla yoldaşın çevresine aktarılan ve hızlı rüzgar olarak yoldaşın çevresinden kaybedilen kütle miktarını temsil etmektedir. Bu kayıp kütle, yoldaş yıldızın açısal momentumunu taşır; ve dış Lagrange noktası δ boyunca, yarıçapı çiftin ayrıklığının 1.25 katı olan bir CB toroidi olarak modellenir (Vos et al., 2015). Baş yıldız tarafından kütle kaybının gerçek kesri, yukarıda belirtilen kesirler tarafından şu şekilde tanımlanır: $\epsilon = 1 - \alpha - \beta - \delta$.



Şekil 1.1: Bir çift sistemde RLOF yoluyla kütle transfer süreci ve kütle transferi etkinlik parametrelerinin (α, β ve γ) ve kütle kaybının gerçek kesrinin (ϵ) temsili (Vos et al., 2015)

.

Başlangıçtaki baş yıldızın kütlesini ve kütle transferi etkinliğini değiştirmenin yoldaş yıldızın evrimi üzerinde sadece küçük bir etkisi vardır ve bu etki kütle transferi sonrası sistemler için kütle-dönem ilişkisi incelenerek öğrenilebilir (Miller et al., 2021).Tauris and Savonije (1999) bu ilişkiyi milisaniye pulsarları için ayrıntılı çift evrim modellerini çalıştırırken vermiştir. Bu ilişki, o zamandan beri yüzlerce başka yakın çift sistemin keşfiyle doğrulanmıştır (Tauris and van

den Heuvel, 2014).

Yıldız kütlesinde hızlı değişikliklere neden olan farklı kütle kaybı oranları için Dinamik, Termal (Isısal) ve Nükleer **kütle transfer zaman ölçekleri** ile verilir: Çift sistemde, kütle kaybeden yıldızın kütle kaybı, yalnızca zarfın L1 boyunca genişlemesi ile sınırlıdır. Işınım zarfları termal dengede olan yıldızlar, dinamik kütle transferine karşı kararlıdır. Bununla birlikte, derin yüzey konveksiyon bölgelerine sahip ve dejenere bileşenlere sahip sistemlerde, yıldızlar dinamik bir zaman ölçeğinde kütle transferine karşı kararsızdır. Bu nedenle, kütle kaybeden yıldız dev kolun üzerinde veya yakınında veya alt anakolda yer alıyorsa veya dejenere ise, dinamik kararsızlık koşullarını yerine getirir ve konvektif zarflı yıldızlar için kütle kaybı Eşitlik 1.7 ile tahmin edilebilir (De Loore and Doom, 1992):

$$\dot{M} \approx \frac{M}{P}\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^3 \tag{1.7}$$

M yıldızın kütlesi, P dönemi, R yarıçapı ve ΔR ise yarıçapın artış miktarını temsil etmektedir. Kütle kaybı başladığında, termal denge bozulmasıyla kütle kaybı oranı hızla artar.

Roche lobunu dolduran yıldız kütle kaybeder, fakat termal dengede kalamaz ve termal dengede meydana gelen bu sapma, yıldızın Roche lobunu doldurmaya devam etmesine izin verir. Hızlı kütle kaybı nedeniyle kararsız hale geldiklerinde, HRD'deki dev kolun solundaki dejenere olmayan yıldızlarda termal zaman ölçeğinde kütle transferi meydana gelir. Termal zaman ölçeğinde kütle transferi, en büyük kütleli yıldızın Roche lobunu doldurmaya başladığı durumda gerçekleşecektir. Bu durumda ilgili kütle kaybı zaman ölçeği Eşitlik 1.8 gibi tahmin edilebilir ve Eşitlik 1.9 ile verilir (De Loore and Doom, 1992).

$$\dot{M}_{max} = -\frac{M}{t_{KH}} \tag{1.8}$$

Burada t_{KH} kütle kaybeden yıldızın termal zaman ölçeğidir.

$$t_{\mathrm{KH}} = \frac{E_{pot}}{L} = \frac{GM^2}{RL} s \approx 3 \times 10^7 \frac{M^2}{RL} yıl \tag{1.9}$$

G=6.668 $\times$ 10^{-8} dyn cm^2g^{-3}'dır ve M, R, L Güneş birimindedir. Kütle kaybeden yıldızın yarıçapı, Roche yarıçapına eşit olduğunda yıldız termal dengede kalır. Nükleer zaman ölçeğinde kütle transferi, yıldız çekirdekte hidrojen yakma aşamasındayken hızlı gerçekleşir. Nükleer zaman ölçeği, dinamik veya termal zaman ölçeklerinden daha büyüktür, bu nedenle bu tür bir transferin gözlenme olasılığı yüksektir (De Loore and Doom, 1992). Sırasıyla dinamik ve nükleer zaman ölçekleri Eşitlik 1.10 ve Eşitlik 1.11'de verilmiştir.

$$t_{\rm dyn} \equiv \left(\frac{\rm R_\odot^3}{G\rm M_\odot}\right)^{1/2} \approx 1600s \tag{1.10}$$

$$t_{\rm nuc} = \frac{0.007\rm M_\odot c^2}{\rm L_\odot} \approx 10^{11} yıl \tag{1.11}$$

Kippenhahn and Weigert (1967)'in öncülüğünü yaptığı, etkileşen çift sistemlerde kütle transferi sırasında bileşen yıldızın evrimini ayrıntılı olarak izleyen aşamalar Durum A, B, C ve D olarak verilmektedir.

DURUM A kütle transferi, anakol evrimi sırasında etkileşime giren çift sistemlerde bileşen Roche lobunu doldurduğu zaman termal zaman ölçeğinde gerçekleşir, bu kütle transferinin hızlı aşaması olarak adlandırılır. Kütle oranının tersine dönmesiyle bu evreyi nükleer zaman ölçeğinde gerçekleşen yavaş kütle transferi takip eder.

DURUM B, çiftin yörünge ayrıklığı, bileşenin kritik Roche yarıçapı, çekirdek hidrojen yanmasının sonunda yıldız yarıçapından daha büyük ve helyum yanmasının başlangıcından daha küçük olduğunda meydana gelir. Bileşen yıldız, dış katmanların (hızlı çekirdek büzülmesine bağlı olarak) devam eden hızlı genişlemesi sırasında kritik hacmini doldurur. Kritik yarıçapa ulaşılır ulaşılmaz kütle transferi başlar. Işıtma azalır, minimuma ulaşır ve tekrar artar. Çok küçük kütleli bileşenler için, hidrojen kabuğu azaldığında çekirdekte elektron dejenerasyonu başlar. Durum A sistemlerinde, bileşen merkezi hidrojenini tükettiğinde, genellikle Durum AB olarak adlandırılan bir evre olan helyum çekirdeğini açığa çıkarana kadar kütle transferine de girmesi beklenir (Marchant, 2017).

DURUM C, helyum tutuşmasından sonra kritik Roche yarıçapının yıldız yarıçapını aştığı daha ileri aşamalarda meydana gelir (De Loore and Doom, 1992).

DURUM D: Yıldız bileşen Roche lobunu doldurmasa bile, rüzgar ile kütle kaybının önemli bir kısmı yine de yoldaş tarafından yakalanabilir ve bunun etkili olabilmesi için rüzgar hızlandırma bölgesinin Roche lobuna yakın olması gerekir(Mohamed and Podsiadlowski, 2007; Marchant, 2017).

Küçük kütleli yıldızların ($M \leq 1\ M_{\odot}$) uzun dönemli **açısal momentum evrimi**, yıldız rüzgarlarının yüzey manyetik alanına bağlanması nedeniyle yıldızlara uygulanan kuvvet olan manyetik frenleme ile kontrol edilir (Mestel, 1968). Yıldız ömrünün başlarında, yıldızlar anakol öncesi evrimleri süresince çöktükçe dönme hızları artar (spin-up). Yıldız yarıçapları çoğunlukla sabit kalırken manyetik frenleme yıldızlardan açısal momentum taşır, zamanla onların dönmesini yavaşlatır (Skumanich, 1972). Manyetik frenlemeye ilişkin detaylar Bölüm 1.3'de verilmiştir.

Çift yıldız evriminde bileşenlerin evrimini anlamak, büyük ölçüde yörünge ayrıklığının değişimini etkileyen benimsenmiş **açısal momentum kaybı** (AML) yasalarına dayanmaktadır (Van and Ivanova, 2019). Bir çift sistemde açısal momentum kayıp mekanizmalarından biri manyetik frenlemedir (MB) (Verbunt and Zwaan, 1981). Yakın çift sistemlerde ise bileşen yıldız manyetize olmuş rüzgar yoluyla açısal momentum kaybeder ve daha sonra çekimsel sürtünmeler yoluyla yörünge açısal momentumunu kullanarak bileşen yıldızın açısal momentumunu yeniler. MB, birkaç saatten daha büyük yörünge dönemine sahip çift sistemlerde baskın AML mekanizması iken, yakın çiftlerde gravitasyonel ışıma baskındır (Rappaport et al., 1983).

Küçük kütleli ve kısa dönemli ($P_{orb} \leq 10$ gün) yıldız çiftlerinde açısal momentum evriminde çekim kuvvetleri baskındır. Çekim kuvvetleri çiftin yörüngesinde ve yıldız dönmesinde yüzyıl zaman ölçekli değişikliklere neden olur, sonunda yörünge çemberleşir ve yıldız dönmesi (spin) yörünge hareketine senkronize hale gelir (Counselman, 1973). Çekim kuvvetinin yarıçap ve yarı büyük eksen uzunluğuna güçlü bağlılığı nedeniyle, neredeyse tüm kısa dönemli

çiftlerin yörüngelerinde çemberleşme görülür, gerek teorik (örneğin, Claret et al. (1995); Zahn and Bouchet (1989)) gerek gözlemsel (örneğin, Lurie et al. (2017); Meibom and Mathieu (2005)) çalışmalarla, çoğu çiftin $P_{orb} \leq$ 10 gün ile yörüngenin çemberleştiği bulunmuştur. Kısa dönemli çiftler için, çekim kuvvetleri $\sim$ 100 Milyonyıl zaman ölçeklerinde hızlı çalışır, Zahn and Bouchet (1989)'in bulduğu gibi Güneş ikizi çiftlerin yörüngeleri yıldızların anakol öncesi evresi boyunca çemberleşir. Çekimsel kuvvetler genellikle yıldız çiftlerinin dönme döneminin (P_{rot}) evrimini, tek yıldızların deneyimlediği uzun dönemli manyetik frenleme ile yürütülen dönme hızından ayrılmaya zorlar, bu da P_{rot}'un her durumda yaş için geçerli bir yaklaşım olmadığını ortaya çıkarır, yani, çiftlik etkisi hesaba katılmadıkça, jirokronoloji, yaşları %300'e kadar düşük tahmin edebilir(Fleming et al., 2019).

Tez çalışmasında ele alınan nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin korunumsuz evriminde AML kritik bir öneme sahiptir ve daha önce İçli (2016) da detaylı olarak tartışılmıştır. MT oranı ve yörünge ayrıklığı AML'dan büyük ölçüde etkilenir, bu nedenle AML küçük kütleli X-ışın çiftlerinin (LMXB) evriminde önemli bir rol oynamaktadır (Ma and Li, 2009; Istrate et al., 2014; Pavlovskii and Ivanova, 2016; Van et al., 2019; Van and Ivanova, 2019). Özellikle LMXB geri tür optik bileşenin sahip olduğu aktivite ve/veya manyetize olmuş yıldız rüzgarları ile MB mekanizması baskın iken kısa yörünge dönemine sahip (birkaç saatten daha kısa) LMXB'de gravitasyonel ışıma (GR) baskındır. GR mekanizması teorik olarak iyi anlaşılmış ve gravitsyonel dalga gözlemleri ile onaylanmıştır (Weisberg and Huang, 2016; Abbott et al., 2017b, 2016b).

Bazı alternatif AML mekanizmaları teori ve gözlem arasındaki tutarsızlığı hesaba katmak için önerilmiştir (Deng et al., 2021). Pavlovskii and Ivanova (2016), değiştirilmiş bir Skumanich MB yasası kullanarak Sco X-1'in oluşumunu yeniden ele almıştır. Van et al. (2019) LMXB'de ölçülen MT oranlarını açıklamak için Skumanich MB yasasına 'konvektif devir zamanı' ve yıldız rüzgarı etkisini eklemiştir. Van and Ivanova (2019) daha sonra evrim modellerinde, çiftin yörüngesinin daha hızlı küçülmesi ve evrimin daha yüksek

bir kütle transfer oranı ile sonuçlanmasını sağlamak için kalıcı nötron yıldızı bileşenli küçük kütleli X-ışın çiftlerin (NS-LMXB)'de etkili olan daha güçlü bir MB'i içeren CARB (Konveksiyon ve dönmesi arttırılmış) MB yaklaşımını önermiştir. CARB-MB ile AML Eşitlik 1.12 ile gösterilmiştir.

$$\dot{J}_{\rm MB} = -\frac{2}{3}\Omega \dot{M}_{\rm W} R_{\rm A}^2 \tag{1.12}$$

Burada M_W rüzgar ile kütle kaybı oranı, R_A alfven yarıçapı, Ω dönme oranıdır. MB yaklaşımının son hali, Eşitlik 1.13'dir.

$$\dot{J}_{\rm MB} = -\frac{2}{3}\Omega \dot{M}_{\rm W}^{1/3} R_d^{14/3} (V_{\rm esc}^2 + 2\Omega^2 R_d^2/K_2^2)^{-2/3} \times \Omega_\odot B_\odot^{8/3} \left(\frac{\Omega}{\Omega_\odot}\right)^{11/3} \left(\frac{\tau_{conv}}{\tau_{\odot,conv}}\right)^{8/3} \tag{1.13}$$

Güneş'in yüzeyindeki manyetik alan kuvveti ortalama $B_s = 1$ Gauss ile normalize hali $\Omega_\odot \approx 3 \times 10^{-6}$ s^{-1}'lik bir dönme oranı ve $\tau_{\odot,\rm conv} = 2.8 \times 10^6$s'lik 'konvektif devir' zamanı ile verilmiştir (Soethe and Kepler, 2021). $V_{\rm esc} = \sqrt{2GM/R}$ kaçma hızıdır, $K_2 = 0.07$ (Réville et al., 2015) simülasyonları yoluyla elde edilmiş bir sabittir. Modellerde Reimers (1975) rüzgar ile kütle kaybı şablonu kabul edilmiştir.

LMXB'ler de çiftin yörünge hareketi ile ikinci bileşenin dönmesinin senkronize olduğu varsayılmaktadır, çünkü çekimsel senkronizasyon zaman ölçeği genellikle LMXB'lerde evrimsel zaman ölçeğinden çok daha kısadır (King, 1988).

1.3 Dinamo Kuramı

Dönme, yıldız kütlesi ve metal bolluğunun yanı sıra evrimleri boyunca bir yıldızın diğer tüm özelliklerini belirleyen yıldızların temel özelliklerinden biridir ve yıldız evriminin her aşamasında bulunur. Bununla birlikte, bir yıldızın yapısını güçlü bir şekilde etkileyen, sıcaklıkları ve ışıtmalarını değiştiren (çekim kararması) ve yıldızın her tarafında yıldız maddesinin karışmasına neden olan mekanik kararsızlığı tetikleyen merkezkaç kuvvetleri ortaya çıkaran bir süreçtir (Gossage et al., 2021).

Anakol öncesi veya anakol sonrası evrim süresince yıldız çekirdeklerinin dönme hızının artması ve yıldızın kararlı ışınımsal bölgelerinde (sadece altdevlerin dejenere çekirdeklerinde olduğu gibi) bir dikine diferansiyel dönmenin gerçekleşmesi beklenmektedir (Gouhier et al., 2022). Altdevlerin dejenere çekirdekleri ve MS-öncesi yıldızlarının dışındaki ilgili koşullarda, diferansiyel dönme profili hem enleme hem de yarıçapa bağlıdır ve onun bu karakteristik genliği $\Delta\Omega/\Omega_0 \propto \tau_{\rm ED}/\tau_{\rm c}$, olarak bulunur, burada $\tau_{\rm ED}$, meridyen akış tarafından açısal momentum (AM) taşınması ile ilişkili Eddington-Sweet zaman ölçeğidir (Sweet, 1950). Işınımsal bölgelerin bu tür alanları barındırabileceği yaygın olarak kabul edilir. Zahn (1992) kimyasal elementlerin ve AM taşınması (manyetik alan ve iç çekim dalgasının olmadığı) için ışınımsal bölgelerdeki diferansiyel dönmenin ve shear kararsızlıklarının dikkate alındığı formül önermiştir, bu çok sayıda yıldız gözlemlerinin açıklanmasında başarılı olmuştur (Gouhier et al., 2022).

Kütleleri yaklaşık 1.3 $M_\odot$'in altındaki yıldızlar, yıldızın yüzeyinden < 0.3 $M_\odot$ kütlelere kadar derinliği artan ve bu aralığın altındaki yıldızların tamamen konvektif hale geldiği konvektif bir zarf geliştirir. Bu küçük kütleli yıldızların konvektif zarfları, yıldız rüzgarları ile etkileşime giren, açısal momentum taşıyan ve zamanla dönme hızlarının yavaşlamalarına neden olan yüzey manyetik alanlarını barındırır (referanslar için bakınız (Gossage et al., 2021)). Yıldız ve yıldız rüzgarı arasındaki manyetik çiftleşme, manyetik frenleme olarak adlandırılan yıldızın dönme hızında bir yavaşlamaya neden olur. Soğuk yıldızlar ($T_{\rm eff} < 6250$ K) tipik olarak kutuplaşmış bir rüzgarı sürdürebilen

büyük konveksiyon bölgelerinin varlığı nedeniyle önemli açısal momentum kaybı yaşarlar (Kraft, 1967).

Büyük kütleli yıldızların genellikle nispeten hızlı döndükleri ($V_{sini} \sim 150$ km/s) ve B ile A yıldızları için dönme hız dağılımlarının kabaca bir Maxwellian dağılımı sergilediği bilinmektedir (Stauffer et al., 1997). Büyük kütleli yıldızlar için çıkarılan ortalama AM, $J/M \sim M^{0.6}$ - "Kraft Yasası" (Kraft, 1967) ile verilmektedir. Tayf türü F0 civarında ortalama dönme hızlarında bir kırılma vardır, bu Kraft kırılmasının üzerindeki anakol yıldızları, güvenilir dönme ölçümlerine sahip ilk yıldızlardır ve hızlı dönmeleri nedeniyle tayfsal incelemelere çok uygundurlar (Kraft, 1967). F0 civarıdan sonraki tayf türüne sahip yıldızlar ise daha yavaş dönme sergilerler. Orta ve geri F türü yıldızlar için olası yıldız rüzgarları veya patlamalarla yaşanan açısal momentum kaybı nedeniyle dönme hızlarında azalma gözlenebilir (Stauffer et al., 1997). Tayf türü G0'dan sonra olan alan yıldızlarının dönme hızları parlaklıkları düşük olduğundan, dönme hızları yakın zamana kadar < 25 km/s olarak kabul ediliyordu. Geri tür F cüceleri için hem dönme hızları hem de Ca II K salması Skumanich (1972) yasasına göre zamanla azalmaktadır (Kraft, 1967; Wilson and Vainu Bappu, 1957). Bu, Ca II K kromosferik salması üreten aynı süreçler tarafından üretilen yıldız rüzgarlarının, küçük kütleli yıldızlar için anakoldaki açısal momentum kaybından sorumlu olduğuna dair daha fazla kanıt sağlamaktadır (Stauffer et al., 1997).

MS-A ve MS-B türü yıldızların çekirdek dinamolarının sayısal simülasyonları (Brun et al., 2005; Augustson et al., 2016), yoğunlukları 0.1-1.0 MegaGauss arasında değişen manyetik alanların gerçekten oluşturulabileceğini göstermektedir. Böyle bir manyetik alan daha sonra, MS-sonrası yıldızların ışınımsal iç kısmında, evriminin geri kalanı için gerçekleşeceği büyük ölçekli kararlı bir konfigürasyona gelebilir (Braithwaite and Spruit, 2004). Büyük ölçekli manyetik alanlar, çok zayıf yoğunluklar için bile çok kısa zaman ölçeklerinde yarı katı bir dönme uygulayabilir (Ferraro, 1937; Mestel and Weiss, 1987).

Kütle kaybı, biri dönme olan bir dizi fiziksel mekanizma tarafından üretilebilir ve değiştirilebilir. Yıldızların dönme hızı, yıldız kütlesine, tayf türüne ve yaşa göre önemli ölçüde değişmektedir. Örneğin, Güneş'in ekvator bölgesi yaklaşık 25 günlük bir dönmeye sahiptir ve ortalama 11 yıllık leke çevrimi ve 22 yıllık bir manyetik çevrim gösterir. Birçok yıldız, büyük yıldız lekelerinin (örneğin, RS Canum Venaticorum-RS CVn değişenleri) aralıklı oluşumu nedeniyle parlaklık değişimleri gösterirken diğer yıldızlar, enerjik parlama aktivitesi yoluyla düzensiz ve değişken manyetik alanla ilgili değişimler gösterir (Beech, 2019).

Kapsamlı bir kütle kaybı teorisi, bir yıldızın kararlılığı, dönmesi, manyetik alan oluşumu ve dağılımı, diferansiyel dönmesi (özellikle dinamo aktivitesine yardımcı olmada etkilidir), türbülanslı konveksiyon ve ışınımsal süreçler gibi özelliklerini birbirine bağlamalıdır (Eggleton, 2006). Dönme evrimi ile birlikte kütle kaybı (ML) ve manyetik frenleme (MB) yıldız dinamosu üzerinde etkili olan başlıca astrofiziksel süreçlerdir. Bu süreçler, her biri diğerini etkilediğinden, birbirinden ayrı olarak uygun şekilde modellenemez. Ayrıca, yıldız rüzgarının kendisi diğer süreçleri etkileyecektir; manyetik alanla etkileşime giren rüzgar, yıldızın hem dönmesini hem de diferansiyel dönmesini etkileyerek açısal momentumu taşıyacaktır (Eggleton, 2006). Çiftlik durumunda ise ek bir etki olarak ("çekimsel sürtünme" yoluyla) hem dönmeyi hem de diferansiyel dönmeyi ve dolayısıyla muhtemelen aktivite ve kütle kaybını etkiler (Eggleton, 2006). Korunumsuz (kütle kaybıyla) evrim hesaplamaları, korunumlu evrimde (sabit kütlede) elde edilenlere kıyasla evrimsel yolların ve evrimin özelliklerinin önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır (De Loore and Doom, 1992).
Kütle kaybının AML ile bağlantısı Bölüm 1.2'de tartışılmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde ise dinamo kapsamında (manyetik frenleme + dönme) ML ele alınmıştır. ML, hem konvektif zarflarındaki dinamo aktivitesi tarafından yönlendiriliyor gibi görünen soğuk yıldızlarda hem de tayf çizgilerindeki ışınım basıncının yönetiminde olabileceği sıcak yıldızlarda doğrudan gözlenir. ML, tüm tayf türleri aralığında, üstdev ışıtmasına sahip birçok yıldızda da açıkça görülmektedir (Nelson and Eggleton, 2001). Yıldızlarda kütle kayıplarına

ilişkin çoğu bilgiyi hala gözlemlerden sağlamaktayız. Evrim modellerinde ise kütle kaybı, hepsi bazı yıldız sınıflarının gözlemlerinden elde edilen deneysel formülasyonları kullanılarak ele alınmaktadır. Bu nedenle, farklı yıldız türleri için farklı kütle kaybı formülleri kullanılmalıdır.

Yıldız rüzgarları, fotosferdeki küçük hızlardan yıldız yüzeyinden büyük mesafelerdeki büyük hızlara doğru artar. ZAMS boyunca (daha küçük kütlelere doğru) kütle kaybı oranları azalır ve süperdevler için artar (De Loore and Doom, 1992). Güneş'tekilere benzer ağır element bolluğuna sahip kırmızı devlerden elde edilen soğuk yıldızlar için kütle kayıp oranları Reimers (1975) tarafından Eşitlik 1.14 ile verilir:

$$\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{R}} = 4 \times 10^{-13} \eta \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{gR}} \frac{\mathrm{g}_{\odot}\mathrm{R}_{\odot}}{\mathrm{L}_{\odot}} \tag{1.14}$$

$\dot{\mathrm{M}}$'un birimi M⊙/yıl'dır. η parametresi genellikle 0.2 ile 1.0 arasında değişir ve metalce fakir yıldızlar için bu değer daha düşüktür, bu da daha az ağır element varsa fotonların gaza daha zayıf bir şekilde bağlandığını gösterir (Kippenhahn et al., 2013).

Işıtmaya bağlı olarak gerçekleşen kütle kaybı oranları Barlow and Cohen (1977) tarafından; a) $\log \dot{\mathrm{M}} = 1.1 \log \mathrm{L}$-12.3 ile verilirken; De Loore et al. (1977) tarafından b) $\log \dot{\mathrm{M}} = \log \mathrm{N} + \log \mathrm{L}$-13.2 ile verilmektedir. Kütle kaybının diğer yıldız parametrelerine (M, R ve L'ye) bağlılığı ise farklı yazarlar tarafından şu şekilde ifade edilmiştir; Lamers (1981):$\log(-\dot{\mathrm{M}}) = 1.42 \log \mathrm{L} + 0.61 \log \mathrm{R} - 0.99 \log \mathrm{M} - 12.79$, Underhill and Michalitsianos (1985):$\log(-\dot{\mathrm{M}}) = 1.07 \log \mathrm{L} + 1.77 \log \mathrm{R} - 14.3$, de Jager et al. (1988):$\log(-\dot{\mathrm{M}}) = 1.24 \log \mathrm{L} + 0.16 \log \mathrm{M} + 0.81 \log \mathrm{R} - 14.02$.

Çoğu zaman, küçük kütleli anakol yıldızları için, yıldız rüzgarıyla kaybedilen kütle miktarı genellikle önemsizdir ve yıldız evrimi üzerinde derin bir etkisi yoktur. Güneş'in buharlaşan bir rüzgarla ortalama kütle kaybı oranı, yaklaşık 10^{-14} M$_{\odot}$/yıl'dır ($\dot{\mathrm{M}} = 2 \times 10^{-14} M_{\odot}/yıl$; örneğin, Feldman et al. (1977)). Ancak bu durum, kütle kaybının önemli olabileceği daha sonraki anakol evrelerinde söz konusu değildir. Gerçekten de, orta kütleli yıldızların nihai kaderini belirlemekten sorumlu olan kütle kaybı'dır (Beech, 2019). Ek

olarak, çift sistemlerdeki yıldızlar, iki bileşen arasındaki gravitasyonel etkileşim nedeniyle herhangi bir oranda kütle kaybedebilir (ve kazanabilir). Bu nedenle kütle kaybı, bir yıldızın evrimi için tamamen etkisiz olmaktan, kütleyi %50 veya daha fazla oranda azaltmaya kadar değişkenlik gösterebilir (Kippenhahn et al., 2013).

Genel olarak **Manyetik Frenleme (MB)** teorisi, bir yıldızın iyonize olmuş rüzgarının, yüzey manyetik alanıyla birleştiğinde, yıldızın dönme hızını zaman içinde frenleyerek açısal momentumu nasıl kaybettiğini açıklar (Mestel, 1968; Weber and Davis, 1967; Schatzman, 1962). Manyetik frenleme için ilk gözlemsel kanıt, farklı yaşlardaki açık kümelerdeki ve alandaki G-cücelerinin dönme çalışmasından elde edilmiştir (örn, Pleiades, Hyades). Skumanich (1972) tarafından $\nu \sim t^{1/2}$ ile verilen frenleme yasası, yakın çift yıldızlarda soğuk yoldaş yıldızların tek G türü yıldızları ile karşılaştırılabilir bir kütle kaybı oranına sahip olduğu varsayılarak, farklı manyetik frenleme yasalarını türetmek için temel alınmıştır (Verbunt and Zwaan, 1981). Skumanich yasasının yalnızca 30 km/s'ye kadar $\nu_e \sin i$ değerlerine sahip G türü yıldızlarda geçerli olduğunu ve etkileşen yakın çift yıldız bileşenlerinin bu hızları aşabildikleri bilinmektedir.

Manyetik frenleme küçük kütleli yıldızlara ($0.4\ M_\odot < M_\star < 1.5\ M_\odot$) sahip tüm sistemlerde, yani dış konvektif zarflı yıldızlarda işlemelidir. Bu yıldızlar yavaş dönenlerde görülen türde daha basit, simetrik çift kutuplu alanlara sahiptirler, ancak manyetik alan güçleri üç kata kadar daha büyüktür. Bu geçiş, ışınımsal çekirdeğin ihmal edilebilir derecede küçük hale geldiği ve konvektif devir zaman ölçeklerinin artmasının beklendiği bölge ile iyi bir şekilde uyuşmaktadır (Donati et al., 2008). Çok küçük kütleli yıldızların spektropolarimetrik çalışmalarından elde edilen ilk sonuçlar, manyetik alan topolojilerinin $0.15\ M_\odot$ kütlenin altında tekrar değiştiğini ve manyetik alanın daha zayıf ve karmaşık hale geldiğini göstermektedir (Morin et al., 2008). Yakın çift sistemlerde küçük kütleli yoldaş yıldızdaki MB de çiftin yörünge ayrıklığının belirlenmesinden ve yıldız bileşenleri arasında kütle transferini yönlendirmeden (Gossage et al., 2022) sorumludur. Yoldaş yıldız açısal momentumunu kaybeder

ve açısal momentum çekimsel kilitlenme yoluyla çift sistemden uzaklaştırılır ve bu durum çiftin ayrıklığının azalmasına veya daha da genişlemesine neden olur (Mestel, 1968). Dolayısıyla bu mekanizmanın yakın çiftlerin oluşumu ve evrimi çalışmaları için çok önemli olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir, aynı zamanda LMXB'ler için de önemli bir rol oynamaktadır (Pavlovskii and Ivanova, 2016). MB'in fiziği hakkındaki belirsizlikler günümüzde de hala devam etmektedir ve literatürde bunun için önerilmiş değişik MB senaryoları mevcuttur (Deng et al., 2021). Bu yaklaşımlardan bazıları Skumanich (1972); Rappaport et al. (1983); Reiners and Mohanty (2012); Matt et al. (2015); Garraffo et al. (2018); Van et al. (2019); Van and Ivanova (2019); Soethe and Kepler (2021) tarafından ele alınmıştır.

Skumanich MB yasası, Rappaport et al. (1983) tarafından değerlendirildiği gibi genel bir biçimde Eşitlik 1.15 ile yazılabilir:

$$\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{MB,Sk}} = -3.8 \times 10^{-30} \mathrm{M} \mathrm{R}_{\odot}^{4} \left(\frac{\mathrm{R}}{\mathrm{R}_{\odot}} \right)^{\gamma} \Omega^{3} \mathrm{dyne\ cm}. \tag{1.15}$$

Burada, M ve R manyetik frenleme yoluyla açısal momentumunu kaybeden yıldızın kütlesi ve yarıçapıdır ve γ 0'dan 4'e kadar boyutsuz bir parametredir.

Manyetik frenleme yaklaşımlarını çift yıldız modellerine uygularken, yakın yörüngeli sistemlerin her zaman çekimsel olarak kilitli olduğu (en azından yörünge dönemi 8 günden az olanlar için Mazeh (2008)) varsayılır, tipik olarak Eşitlik 1.15 yaklaşımı takip edilir. Çiftin yörüngesinin daralmasında (küçülmesinde) etkili olan MB, bileşen yıldızı 1 ile 3 Milyaryıl içinde RLOF'a başlamaya zorlar (Sengar et al., 2017). Konvektif bir zarf ancak bir miktar kütle kaybından sonra oluşturulur, bu MB devreye girdiğinde olur. Bu durumlar, evrim yollarındaki MT grafiklerinde dönüm noktalarına karşılık gelir (Pavlovskii and Ivanova, 2016).

Tez çalışmasında kısa dönemli aktif çiftlerin ve küçük kütleli nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerinin korunumsuz evrimi Van and Ivanova (2019) tarafından önerilen ve Soethe and Kepler (2021) ile de güncel olarak yorumlanan Eşitlik 1.13 ve Eşitlik 1.15 yaklaşımı karşılaştırılarak ele alınmıştır. Bu kısıma ilişkin evrim model yaklaşımlarının detayları ve sonuçları sırasıyla

Bölüm 1.5'de verilmiş ve Bölüm 5'te tartışılmıştır.

Dinamo mekanizması için kabul edilen genel görüş, Güneş manyetik aktivitesinde konveksiyon ve Güneş'in dış zarfındaki plazmanın devinimi ile ilişkili olduğu yönündedir (Parker, 1970). Babcock (1961)'in önerisine göre, diferansiyel dönmeye bağlı olarak Güneş'in yüzeyi üzerinde görülen enine hız gradiyentleri nedeniyle bir yıldız dinamosu tarafından manyetik alanların yoğunlaştığı varsayılır. Bu dönme ve konveksiyonun etkileşiminden oluşmaktadır. Manyetik alanlar varlığında yıldız rüzgarları yıldız yüzeyi üzerinde dönmeyi frenleyebilir. Bu, dikine hız gradiyentleri oluşturarak dışarıya doğru dönme hızlarının azalmasına neden olur (Weber and Davis, 1967).Brandenburg (1998) tarafından belirtildiği üzere; dikine hız gradiyentleri, farklı derinliklerde farklı dönme hızlarına neden olur bu da dinamoya neden olabilir. Yıldızlarda, manyetik alanlar madde ile döner. Dönme, manyetik alan çizgilerini döndürür ve manyetik itme gücü, direnç kuvvetlerinin üstesinden gelene ve toroidal alanı yüzeye çıkarmaya yetecek kadar artan bir toroidal manyetik alan oluşturur. Bu, yüzey aktivitesine neden olur. Burada toroidal alanın artış noktasına ulaşması için aktivite çevrimlerinin uzunluğu belirlenmektedir (Böhm-Vitense, 2007). Böylelikle dönme dönemlerinin uzunluğu P_{rot} ve çevrim uzunluğu P_{cyc} arasındaki ilişki Güneş ve yıldız aktivitelerinin neden olduğu yıldız dinamoları için en önemli etkenlerden birinin hız gradiyentleri olduğunu bize söyleyebilir (Böhm-Vitense, 2007). Güneş türü yıldızlarda iki bölgede yıldız dinamosu çalışabilir: yüzeye yakın, diferansiyel dönmenin görüldüğü ve dönme hızının dışarıya doğru azaldığı bölgede ve konvektif bölgenin altında ya da başka türlü karışmış katmanda (Böhm-Vitense, 2007).

Yakut and Eggleton (2005) de tanımlanan mekanizmaya göre, Güneş'te gözlendiği gibi diferansiyel dönme, etkileşen çiftlerin dış zarflarında ısı taşınımının etkinliğini açıklayabilir. Güneşin konvektif bölgesinde görülen gibi ama göreli olarak daha küçük olan bir diferansiyel dönme, bileşenler arasındaki enerji taşınımından sorumludur; Yakut and Eggleton (2005) sonuçlarına göre uzun dönemli evrim bu spesifik mekanizmaya bağlı değildir, ancak aynı zamanda bazı mekanizmaların ısıyı verimli bir şekilde taşıdığı konsept (Lucy, 1968)

iyi bilinmektedir. Manyetik aktivitenin kendisi kütle ve açısal momentum kaybına neden olur ve hızlı dönen yıldızlarda, bu süreçler evrimi yönlendirmede nükleer evrim ile karşılaştırılabilirdir (Yakut and Eggleton, 2005). Konvektif zarf'a sahip soğuk yıldızlarda azalan dönme oranı, dinamo kromosferik veriler ile uyum göstermektedir (örneğin, Ca II H ve K) ve koronal salmalar hızlı dönen yıldızlarda daha güçlüdür (bkz. Zwaan (1981)). Radyatif bölgelerde manyetik enerjinin dağılımı için güçlü genişleme hareketi yoktur. Çoğu dinamo modelinde, manyetik akı magneto-dönme türbülansı tarafından farklı dağılmaktadır (Spruit, 2002). Bu türbülans ayrıca büyük ölçekli manyetik alanın oluşumunu sağlamaktan sorumludur. Bu α etkisidir (örneğin, Brandenburg (2001)) poloidal ve toroidal bileşenlerinin her ikisine uygulanır ve toroidal alan diferansiyel dönme tarafından poloidal alanın toroidal alana dönüştürülmesi üzerine korunmaktadır. Bu genellikle α-Ω dinamo olarak adlandırılmaktadır (Schmalz and Stix, 1991).

Işık et al. (2011) yıldızlarda manyetik alanları oluşturmak için bir "α-Ω dinamo" ara yüzünü varsayar ve yıldız yüzeyindeki meridyen sirkülasyonunu ortaya çıkan manyetik akıyı yönlendirmek için kullanır. Güneş türü yıldızların konveksiyon bölgelerindeki küresel meridyen akışı ve diferansiyel dönme, hareket ve ısı aktarımının ortalama alan denklemlerinin birlikte çözülmesi ile modellenebilir (Hotta and Yokoyama, 2011; Rempel, 2006; Küker and Stix, 2001; Kitchatinov and Ruediger, 1995; Brandenburg et al., 1992). Spectro-polarimetrik gözlemler yıldızların yüzey manyetizmasının haritalanmasının yanı sıra yıldızın yüzeyindeki diferansiyel dönme hakkında bilgi verir (örneğin, Donati and Landstreet (2009); Reiners (2012)). Örneğin, yıldızın soğurma çizgilerinin yüksek çözünürlüklü gözlemleri ortalama bir çizgi profili üretmek için Fourier dönüşümü ile işlenebilir (Augustson et al., 2013). Bu dönüşümün ilk iki sıfır geçişinin değerlerinin oranı, diferansiyel dönmenin bir ölçümünü verir (örneğin, Reiners (2006, 2012)). Fotometrik datanın yıldız-leke modellemesi eğim açısını ve diferansiyel dönme profilini anlamak için de kullanılabilir (örneğin, Strassmeier (2009); Berdyugina (2005)). F türü yıldızlar için, yıldız tayfında kullanılan Fourier analizi tekniği, bugüne kadarki en fazla diferansiyel

dönme tespitini üretmiştir (Ammler-von Eiff and Reiners, 2012).

Tayler-Spruit dinamo modelindeki Tayler-Spruit mekanizmasının (Spruit, 2002) açısal momentum transferini yönetmesi gibi bazı durumlarda önemli olabileceği sonucuna varılmıştır. Dinamik etkilerin, özellikle, açısal momentum korunumunun maksimum yatay uzunluk ölçeğini sınırladığı düşünülmektedir. Önceden yayınlanmış değerlerden farklı olarak kimyasal bolluk için aktarım katsayıları ve manyetik momentler tarafından momentum dağılımları sunulmakta (Denissenkov and Pinsonneault, 2007). Dinamo dönmeye oldukça bağlıdır Parker (1955) ve daha hızlı dönen yıldızlar muhtemelen daha fazla manyetik aktiviteye sahiptir. Böyle yıldız manyetik aktivitesinin önemli gözlemsel belirteçleri Ca II H ve K salması (Saar and Brandenburg, 1999; Noyes et al., 1984a) ve X-ışın salmasıdır(Wright et al., 2011; Pizzolato et al., 2003; Pallavicini et al., 1981).

Rossby sayısı (dönme dönemi ile konvektif devir zamanının oranı), R_o=P_{rot}/τ, yıldız dönme süresinin oranı, P_{rot} ve kütleye bağlı konvektif devir süresi, τ, yıldız manyetik dinamosunun etkili parametreleridir ve Rossby sayısı dinamonun etkinliğiyle daha düşük kütlelere doğru artmaktadır (örneğin, Randich (2000); Stepien (1994); Maggio et al. (1987); Micela et al. (1984). Hem Güneş dinamosunu hem de hızlı dönen yıldızların dinamosunu (örneğin, Brandenburg et al. (2011); Weiss (2005)) açıklayabilecek tatmin edici bir dinamo teorisi henüz mevcut değildir. Akı taşıma dinamo modeli son yıllarda Güneş'in manyetik aktivite döngüsünün en popüler teorik modeli olarak ortaya çıktı. Bu modelde, toroidal alan konveksiyon bölgesinin alt kısmındaki diferansiyel dönme tarafından poloidal alanın esnemesi ile üretilmektedir (Karak et al., 2014). Konveksiyon bölgesinin altında-dibinde üretilen toroidal alan manyetik kaldırma kuvveti nedeni ile Güneş'in yüzeyine yükselir. Güneş yüzeyindeki eğimli Güneş lekesi çiftlerinin bozulması, 'Babcock-Leighton mekanizması' tarafından poloidal alana yol açar (Leighton, 1964; Babcock, 1961), son zamanlardaki güçlü gözlemsel destek Kitchatinov and Olemskoy (2011); Dasi-Espuig et al. (2010) tarafından sağlanmıştır.

1.4 Nötron Yıldızı Bileşenli Çift Sistemler

Nötron yıldızları (NS) büyük kütleli (> 8 $M_\odot$'den daha büyük başlangıç kütlesine sahip) yıldızların evrimlerinin sonu olan süpernova patlamaları ile oluşan sıkışık yıldız kalıntılarıdır bu nedenle çok nadir (Tauris and van den Heuvel, 2006) bulunurlar. Bilinen en tuhaf astronomik objelerdir, tipik kütleleri 1.2 - 2 $M_\odot$ aralığında iken (örneğin, Antoniadis et al. (2016); Özel and Freire (2016)) $\sim$ 10 km'lik yarıçapa sahiplerdir. Atom-çekirdeği yoğunluğuna benzer 10^{14} g/cc mertebesinde kütle yoğunlukları (bkz. Özel and Freire (2016)) ile birlikte bazı nötron yıldızları 10^{12} Gauss'luk manyetik alana (evrende bilinen en güçlü manyetik alanlara) sahiplerdir.

Bilinen nötron yıldızlarının çoğu genç pulsarlardır, sahip oldukları hızlı dönme ile ortaya çıkan periyodik radyo atmaları sebebiyle keşfedilirler (Faucher-Giguère and Kaspi, 2006). Nötron yıldızları, dönme enerjilerinin çoğu salındıktan sonra radyo atmaları yaymayı bırakırlar (Bransgrove et al., 2018). Bununla birlikte, bir nötron yıldızı, çift bir sistemde bulunuyorsa, bir pulsar olarak yeniden canlandırılabilir. Eğer, çift sistemde iki yıldız birbirine yeterince yakınsa, optik bileşen anakoldan ayrıldığında, dış katmanları nötron yıldızının çekim etkisine girinceye kadar genişler. Sıkışık obje üzerine gerçekleşen kütle transferi ve ilişkili açısal momentum, nötron yıldızının dönme hızını arttırırken yüksek X-ışın ışıtması oluşturabilir (Bhattacharya and van den Heuvel, 1991). Bazı nötron yıldızları parlak X-ışın kaynakları olarak görünür (örn. Paul (2017)) ve diğer çoğunluğu da dönüşmüş milisaniye pulsarları olarak görünür (Manchester, 2017).

X-ışın çiftleri (örn.(Verbunt, 1993)), yıldız kütleli bir kara delik (BH) veya nötron yıldızı (NS) olan sıkışık bir obje ile bir yoldaş yıldızın ortak bir kütle merkezi etrafında yörüngede olduğu sistemlerdir (Harvey et al., 2022). Yoldaş yıldızın kütlesine bağlı olarak iki geniş alt popülasyona ayrılabilirler. Büyük kütleli X-ışın çiftleri (HMXB) yıldız rüzgârları yoluyla sürekli kütle kaybeden büyük kütleli yoldaş yıldızlara sahiptirler. Bu rüzgârlar yoluyla madde sıkışık obje üzerine toplanarak ısınır ve sistem X-ışın salması sergiler. Küçük kütleli X-ışın çiftleri (LMXB), yıldız evriminin son aşamalarının bir parçası olarak

Roche loblarını dolduran ve taşan daha küçük kütleli yoldaş yıldızlara (yani, $< 1M_{\odot}$) sahiptir. Bu yoldaş yıldızlardan gelen madde ilk Lagrange noktasından sıkışık objeye aktarılır ve sıkışık obje etrafında bir toplanma diski oluşturur (Harvey et al., 2022). X-ışın çift sistemlerinin davranışı Yoğunluk modeli (Fender et al., 2004) ile tanımlanmaktadır. Burada toplanma diskleri zaman içinde oluşur ve daha sonra merkezi objeye akarak aktif galaktik çekirdeklerde (AGN) görülenlere benzer bir rölativistik jet üretir. Bu jet, mikrokuasarlar olarak bilinen bir X-ışın çiftleri sınıfının oluşmasına neden olur (Harvey et al. (2022) ve içindeki referanslar).

Milisaniye pulsarları (MSPs) ise kısa dönme dönemleri ($P_{spin} < 30$ ms) ve zayıf manyetik alanları ile ($B < 10^{10}$ G) bileşen bir yıldızdan kütle ve açısal momentumun toplanması yoluyla yakın bir çift sistemde geri dönüştürülmüş eski nötron yıldızlarıdır (Tauris and Savonije, 1999). Milisaniye pulsarları, LMXB'lerin daha kısa dönemden daha uzun dönemlere evrimleşmesi ile açıklanabilir (örn. Bhattacharya and van den Heuvel (1991); Podsiadlowski et al. (2002)). Galaktik diskte bilinen 30'dan fazla çift milisaniye pulsar (BMSP) mevcuttur (Tauris and Savonije, 1999). Bu sistemlerin atalarının ya kalıcı X-ışın çiftleri (Sco X-1 veya Cyg X-2) gibi ya da uzun süreli patlamalara sahip ve çok uzun tekrarlama süresine sahip geçici kaynaklar (KS 1731-260 ve XTE J1701-462) olarak görünmesi olasıdır (Maccarone et al., 2022). 'Redback' MSP'ları yakın çiftlerde örten MSP'ların bir alt sınıfını oluşturur. Bu tür sistemlerin oluşum süreçleri açık değildir. Dönme ve toplanma ile güçlendirilmiş durumlar arasındaki geçişleri gösteren bilinen üç pulsar, hem 'redback'lere hem de geçici küçük kütleli X-ışın çiftlerine aittir ve bunlar arasında olası bir evrimsel bağlantı olduğunu düşünülmektedir. Hemen hemen tüm LMXB'lerdeki toplama disklerinin belirli evrim aşamalarında termal viskoz kararsızlığına maruz kaldığı ve bu disk kararsızlığının parametre uzayının yörünge dönemindeki bilinen 'redback'lerin dağılımını kapsadığı söylenmektedir (Jia and Li, 2015).

Sahip oldukları dönme ve toplanma arasındaki geçişleri yani MSP evreden LMXB evreye geçiş için kanıt sergileyen sistemlerden biri; tez çalışması kapsamında da detaylı olarak ele alınan hedef sistemlerden PSR J1023+0038'dür (Patruno et al., 2014; Stappers et al., 2014; Archibald et al., 2009). 'Redback'lerin bileşen yıldız kütlesi 0.2 ile 0.4 $M_{\odot}$ arasında değişir ve düzenli radyo tutulmaları sergilerler. Bu derin tutulmalar, yoldaş bileşenleri saran düşük yoğunluklu, yüksek iyonize bir gaz bulutuna işaret etmektedir, ancak maddenin kaynağı bilinmemektedir. Alternatif olarak, neredeyse Roche-lobunu doldurmuş bileşenler için; RLOF gösterebileceği ve taşan maddenin iç Lagrange noktasında MSP'ın ışınım basıncı tarafından durdurulduğu ve uçup gittiği öne sürülmektedir (Jia and Li, 2015). Bu sistemlerin pulsar durumunda X-ışın ışıtmaları; 10^{31} ile 10^{32} erg/s iken radyo tutulmaları ve zonklama sergilerler. Disk'e sahipken (LMXB) X-ışın ışıtmaları 10^{34} erg/s'den küçüktür. Toplanan maddenin önemli bir miktarının sistemden atıldığı "pervane etkisi"'ne sahip olabilirler (Jia and Li, 2015).

Teorik değerlendirmelere devam etmek için, genel olarak küçük kütleli X-ışın çiftlerindeki (LMXBs) NS'lerin tipik yaşlarında ve hatta büyük kütleli X-ışın çiftlerinde (HMXBs), manyetik alanların (B) magnetar değerlerinden daha düşük olmasının beklendiği veya en azından E_{mag}'ın aktif olarak dağılmadığını öngören alan bozulma modelleri mevcuttur Popov (2023). Yüksek manyetik alana sahip nötron yıldızları ve magnetarlar sıkışık objeler arasında azınlık oluşturabilir. Bu nedenle, yıldız evriminin bazı özel kanal(lar)ı yoluyla oluşmalarını beklemek mantıklıdır. Thompson and Duncan (1993)'ın öncü makalesinden başlayarak (ayrıca bkz. Bonanno et al. (2005)) NS'lerdeki yüksek manyetik alanların kökenine ilişkin en popüler fikirler dinamo mekanizmalarıyla ilgili olarak yorumlanmıştır (Popov, 2023).

Tez çalışmasında Bölüm 3 ve Bölüm 4.2 sırasıyla nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerinin gözlemsel çalışmaları ve korunumsuz evrimi üzerine ele alınmıştır. Nötron yıldızı bileşenli büyük kütleli X-ışın çift sistemlerin (NS-HMXB) evrimi, geri tür optik bileşenli aktivite sergileyen (çoğunlukla) küçük kütleli nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerin (NS-LMXB) evrim sürecine

göre daha belirgin ve anlaşılabilirdir. Bu nedenle, tez çalışmasında NS-LMXB sistemlerin korunumsuz evrim sürecine daha detaylı yaklaşılmıştır.

LMXB sistemlerinde kütle transferi (MT) RLOF yoluyla gerçekleşir. Galakside keşfedilmiş yaklaşık 200 LMXB sistemi mevcuttur (Liu et al., 2007). Bilinen NS-LMXB'lerin popülasyonu, uzun tekrarlama sürelerine sahip sistemlere önemli bir katkı sağlamasının yanı sıra popülasyonunun baskın olması muhtemeldir (Maccarone et al., 2022). Samanyolundaki popülasyon sentezi çalışmalarının birçoğunda 2000-10000 NS-LMXB varlığı bulunmuştur (van Haaften et al., 2015; Kiel and Hurley, 2006; Kalogera and Webbink, 1998). NS bileşenli LMXB sistemlerinin çalışılması ultra-yoğun dejenere maddenin doğası üzerinde önemli ipuçları sağlayabilir (Bhattacharyya, 2010; Özel and Freire, 2016; Degenaar and Suleimanov, 2018).

NS bileşenli LMXB'lerin önemli bir kısmı kalıcı LMXB olarak bilinen X-ışın kaynaklarından oluşur, aralıklı olarak aktif hale gelen diğer kaynaklar geçici LMXB'ler olarak nitelendirilir. Tipik NS-LMXB'ler, geçici patlamalarında $10^{37} - 10^{39}$ erg/s'lik tepe ışıtmalarından yaklaşık 10 kat daha sönük olan değerler sergilerler (Yan and Yu, 2015). Bu tepe ışıtmalar, çiftin yörünge dönemi ile açık bir ilişki sergiler (Wu et al., 2010).

Toplanma oranındaki belirli bir değişkenlik kalıcı LMXB'ler için bile gözlenmiştir (Kashyap et al., 2022). Değişen toplanma oranları ile NS-LMXB'ler, kaynağın tayfsal ve zamanlama özelliklerinin karakteristik evrimini sergileyen farklı durumlar gösterir (Barret, 2001; van der Klis, 2004; Done et al., 2007; Lin et al., 2007). Evrim modellerinde ele alınan standart manyetik frenleme durumunda, küçük kütleli nötron yıldızlarına sahip çiftlerde örneğin, Sco X-1 sisteminin ulaştığı toplanma oranlarının Sco X-1'de gözlenen değerden çok daha düşük olduğu gözlenmiştir (Chen, 2017). Aynı zamanda, hem başlangıçta daha az kütleli ($1.24M_{\odot}$) hem de daha büyük kütleli ($1.42M_{\odot}$) nötron yıldızları, rüzgarla güçlendirilmiş (wind-boosted) manyetik frenleme yaklaşımı ile Sco X-1 noktasındaki gözlemlerle karşılaştırılabilir toplanma oranlarına sahip olabilir (Pavlovskii and Ivanova, 2016).

X-ışın ışıtması arttığında, kaynak düşük ışıtmada, ısısal olmayan salmanın hakim olduğu 'yüksek durum (high state)' aşamasının sonunda ısısal salmanın baskın olduğu 'düşük durum (low state)' aşamasına ilerleyebilir. Kısmen daha düşük toplanma oranlarında, disk merkezi sıkışık objeden nispeten kesilebilir (Zdziarski et al., 1999; Kalemci et al., 2004; Tomsick et al., 2004). Uzun dönemli tayfsal evrim ile birlikte, NS-LMXB'ler ayrıca, Tip-I X-ışın patlamaları şeklinde X-ışın ışıtmasında kısa ve oldukça öngörülemeyen değişkenlikler sergiler. NS-LMXB'lerde Tip-I (termonükleer) patlamalar (Güver et al., 2012), LMXB'lerde toplanan nötron yıldızının yüzeyindeki hidrojen/helyum'un kararsız yanması nedeniyle meydana gelir. Termonükleer yanma boyunca, kaynağın ışıtmasının Eddington limitine ulaşması, nötron yıldızının zarfının, nötron yıldızının fotosferinin genişlemesine yol açan ışınım basıncı nedeniyle dışarı doğru itilmesini önerir. Sonuç olarak, kara cisim sıcaklığındaki kısmi bir düşüşle, salma olan alanların boyutu artar (Kashyap et al., 2022).

Patlamalar aynı zamanda, prensipte, bileşen yıldızdan gelen kütle transfer oranındaki değişiklikler tarafından da tetiklenebilir (Bath, 1975). Bu etkiler, nötron yıldızları etrafındaki toplanma disklerindeki durgunluk evresindeki nadir değişkenlik faktörlerinden sorumlu olabilir (Bernardini and Cackett, 2014; Cackett et al., 2010; Cantrell et al., 2008). X-ışın gökyüzü tarama programları (Jonker et al., 2011), optik salma çizgisi tarama programları (Casares, 2018), flat tayf radyo kaynağı tarama programları (Maccarone et al., 2018; Maccarone, 2005) gibi çeşitli gökyüzü tarama programları sınıfları durgun evredeki X-ışın çiftlerini bulma potansiyeline sahiptir.

Hailey et al. (2018)'ın çalışmasına göre, nötron yıldızlı küçük kütleli X-ışın çiftlerinde toplanan nötron yıldızların sahip olduğu büyük patlamalar yaklaşık 5-10 yıllık tekrarlama sürelerine sahiptir. Maccarone et al. (2022) MAXI X-ışın gözlemlerine ve duyarlılığına dayanarak, bilinen geçici (transient) NS-LMXB'lerin yaklaşık yarısının patlamalarının 10 yıldan fazla tekrarlama süreleri olduğunu göstermiştir.

Küçük kütleli X-ışın çiftlerinin evrimini anlamak için, çok farklı ara ve son aşamaya sahip sistemlerin oluşmasına yol açan çeşitli yolları araştıran sınırlı sayıda LMXB ve orta kütleli X-ışın çiftleri (IMXB'ler) üzerinde çok sayıda evrim çalışması yapılmıştır (Lin et al., 2011). Kısa dönemli LMXB'ler de sistem eğer anakol öncesi bir bileşene sahipse (Ivanova, 2006) daha güçlü bir MB gerçekleşebilir. Transfer edilen kütlenin yörünge evrimini nasıl etkileyeceği de Pavlovskii and Ivanova (2016) tarafından tartışılmıştır. Örneğin; Yungelson and Lasota (2008) LMXB'lerdeki toplama disklerinin kesilmesini önererek manyetik frenleme sorununu çözmüş ve Chen and Li (2006) yıldızı çevreleyen diskin rolünü keşfetmiştir. Belirtilen tüm fikirlerin, yörünge dönemleri yaklaşık 10 saatten daha kısa olan çok kısa dönemli LMXB'ler kümesi üzerinde araştırıldığını ve Sco X-1 gibi daha büyük yörünge dönemine sahip LMXB'ler için geçerli olmadığını eklemek önemlidir (Pavlovskii and Ivanova, 2016). LMXB'ler büyük bir kesri 'recycling' süreci ile BMSP'larına evrimleşebilir (Alpar et al., 1982). Bu nedenle başarılı bir MB modeli sadece LMXB'lerin özelliklerini yeniden üretmekle kalmaz aynı zamanda LMXB'lerin sonraki nesli BMSP'ları da üretebilir (Deng et al., 2021).

1.5 Yıldız Evrim Modelleri

Bu tez çalışmasında geri tür aktif çift yıldızlar ile nötron yıldızı bileşenli çift yıldızların olası ata sistemlerinin nasıl oluşabileceği hakkında korunumlu ve korunumsuz evrim modelleri detaylı ele alınmıştır. Genel olarak mevcut evrim kodlarının neredeyse tamamı Cambridge STARS kodu (Eggleton, 1971; Pols et al., 1997) ve onun türevlerinden oluşmaktadır. Peter P. Eggleton tarafından yıldızlara ilişkin bir çok evrimsel yaklaşımı dikkate alarak geliştirilmiş ve günümüzde de çok farklı araştırmacılar tarafından güncellenerek kullanılan evrim kodları bulunmaktadır. Çift yıldızı aynı anda evrimleştiren kodlardan TWIN (Nelson and Eggleton, 2001), EV (Yakut and Eggleton, 2005) ve BS (BPASS) kodu (Stancliffe and Eldridge, 2009) bulunmaktadır. Ayrıca yine STARS kodunu merkez alıp geliştirilen MESA (Modules for Experiments in Stellar Astrophysics) (Paxton et al., 2011, 2018, 2019) kodu mevcuttur.

Tez kapsamında, farklı kütle aralıklarındaki çift sistemlerin korunumsuz evrim modelleri MESA yıldız evrim kodu kullanılarak elde edilmiştir. Evrim modellerinin oluşturulması sırasında farklı yıldız türlerinde gerçekleşen farklı süreçler için (dinamo, kütle kaybı gibi) MESA evrim koduna gerekli müdahaleler yapılıp uygulanan yaklaşımlar güncellenerek ele alınmıştır. Modellemelerin her bir aşamasında MESA evrim kodunun farklı dağıtım versiyonları güncelliği takip edilmiştir ve modeller sırasıyla r11701, r12778, r15140, r21.12.1, r22.11.1, r23.05.1 (Paxton et al., 2011, 2013, 2015, 2018, 2019; Jermyn et al., 2023) ile ele alınmıştır.

Evreni incelemek için kullandığımız bilgilerin birçoğu yıldız ışığından gelir. Bu yıldız ışığının yorumlanması, özellikle yıldız atmosferleri, yapısı ve evrimi ile ilgili olduğu gibi, yıldız astrofiziğinin detaylı bir şekilde anlaşılmasını da gerektirir (Paxton et al., 2010). Bu bağlamda, yıldız fiziği ve evrim hesaplamaları astrofizik alanında geniş bir araştırma olanağı sağlamaktadır. Henyey et al. (1959)'un çalışması ile başlayan bilgisayar kodlarının gelişmesi, yıldızların evriminin daha önce mümkün olandan çok daha derin ve daha doğru araştırılmasını mümkün kılmıştır. Bununla birlikte, bu tür kodların kullanımı, özellikle çift yıldız evrimi hesaplamaları durumunda bazı ciddi dezavantajları

da beraberinde getirmektedir. Girdi fiziğinin karmaşıklığı sebebiyle sayısal hesaplamalardan elde edilen sonuçların altında yatan fiziksel nedenleri sezgisel olarak anlamak çoğu zaman zordur. Bu dezavantajların üstesinden gelmenin bir yolu da problemin temel fiziğini içeren basitleştirilmiş evrim kodlarının kullanımıdır (Rappaport et al., 1983).

MESA (Modules for Experiments in Stellar Astrophysics) hesaplamalı yıldız astrofiziğinde açık kaynaklı, sağlam, verimli, geniş bir uygulama alanına sahip olan güvenli uygulamalar paketidir. Sayısal ve fizik modüllerini kullanan tam özellikli bir yıldız yapısı ve evrim kütüphanesi olan ve tasarımı ve uygulanması, bir dizi yıldız evriminden ve hidrodinamik kodlardan etkilenerek elde edilmiştir: EV (Eggleton, 1971), EVOL (Herwig, 2004), EZ (Paxton, 2004), FLASH-the-tortoise (Lesaffre et al., 2006), GARSTEC (Weiss and Schlattl, 2008), NOVA (Starrfield et al., 2000), TITAN (Gehmeyr and Mihalas, 1994) ve TYCHO (Young and Arnett, 2005).

Yeni bir 1-D yıldız evrim modülü olan MESA, içinde gelişmiş evrimsel aşamalarda dahil olmak üzere çok küçük kütleden büyük kütleye kadar geniş bir aralığı kapsayan 'Star' ve 'Binary' modülünü içeren tek yıldızların ve çift sistemlerin evrim senaryolarının simulasyonları için nümerik ve fizik modellerinin çoğunu birleştiren bir yapıya sahiptir (Paxton et al., 2011).

MESA tamamen birleşmiş yapı ve komposizyon denklemlerini eş zamanlı olarak çözer. Uyarlanabilir ağ geliştirme ve karmaşık 'timestep' kontrolleri kullanır. Gelişmiş modüller durum denklemini, opaklığı, nükleer reaksiyon ağları, difüzyon verileri ve atmosfer sınır koşullarının denklemi gibi girdi fiziğini sağlar. Evrim modülündeki her bir alt modül bağımsız gelişimi kolaylaştırmak için açıkça tanımlanmış ortak bir arayüze sahip ayrı bir Fortran 95 kütüphanesi olarak inşa edilmiştir (Paxton et al., 2011). MESA, açık kaynak kodludur: herkes kaynak kodu indirebilir, derleyebilir ve kendi araştırma veya eğitim amacıyla çalıştırabilir (Paxton et al., 2010).

MESA model bileşenleri (örn. EOS, opasiteler, sınır koşulları vb.) makrofizik ve mikrofizik olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. MESA mikrofiziği modülleri, yıldızın fiziksel özelliklerini sağlar ve her bir modül fiziğin

ayrı bir yönüne odaklanır. Matematiksel sabitler, fiziksel ve astronomik data, durum denklemi (EOS-modülü), Opasiteler (kap modülü), Termonükleer ve zayıf reaksiyonlar (rates modülü), nükleer reaksiyon ağlarından (net modülü-jina modülü) oluşur. MESA makrofiziği modülleri ise konveksiyonun standart karışım uzunluğu teorisi (MLT modülü), konvektif karışım, atmosfer sınır koşulları, parçacık difüzyonunu ve gravitasyonel yerleşim'den oluşmaktadır (Paxton et al., 2010).

Tez çalışmasında ele alınan evrim modelleri çift sistemler üzerine olduğu için evrim yaklaşımları, MESA "Binary" modülü kullanılarak elde edilmiş ve zaman zaman "Star" modülü kullanırak test edilmiştir. Bu bağlamda, **"Binary"** modülü çift sistemleri geliştirmek için kullanılır. Nokta kaynak + Yıldız ve/veya aynı anda iki yıldızı evrimleştirmek için kullanılabilir.

Sistemin yörüngesel açısal momentumunun MESA tarafından varsayılan yaklaşımı Eşitlik 1.16 ile verilmektedir:

$$J_{orb} = M_1 M_2 \sqrt{\frac{Ga}{M_1 + M_2}} \tag{1.16}$$

Burada M_1 (kütle veren) ve M_2 (kütle alan) yıldız kütleleridir. Kütlelerin evrimi hem RLOF hem de yıldız rüzgarları tarafından değiştirilebilir ve Eşitlik 1.17 ile şu şekilde verilir:

$$\dot{M_1} = \dot{\mathrm{M}}_{1,\mathrm{W}} + \dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{RLOF}}, \dot{\mathrm{M}}_2 = \dot{\mathrm{M}}_{2,\mathrm{W}} - f_{\mathrm{mt}} \dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{RLOF}} \tag{1.17}$$

Yıldız rüzgarı ile kütle kaybı oranları $\dot{\mathrm{M}}_{1,\mathrm{W}}$ ve $\dot{\mathrm{M}}_{2,\mathrm{W}}$ 'dir (bkz. Paxton et al. (2011, 2013) ve $\dot{M}_{\mathrm{RLOF}}$, RLOF'tan kütle transfer oranıdır, f_{mt} faktörü, toplanma etkinliğini temsil eder ve toplanma Eddington oranı $\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{Edd}}$ ile sınırlandırılabilir (Marchant, 2017).

Çiftin yörünge açısal momentumunun değişim oranı,

$$\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{orb}} = \dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{gr}} + \dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{ml}} + \dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{mb}} + \dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{ls}} \tag{1.18}$$

Eşitlik 1.18 'deki yaklaşım ile dikkate alınır. $\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{gr}}$, $\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{ml}}$ $\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{mb}}$ ve $\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{ls}}$ terimleri sırasıyla gravitsyonel dalga ışınımının, kütle kaybının, manyetik frenlemenin ve dönme yörüngesinin katkısını temsil etmektedir. Gravitasyonel dalga ışınımı ve kütle

kaybının etkisi ise Eşitlik 1.19 ile gösterilmektedir.

$$\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{gr}} = -\frac{32}{5c^5}\left(\frac{2\pi G}{P_{\mathrm{orb}}}\right)^{7/3}\frac{(M_1 M_2)^2}{(M_1+M_2)^{2/3}} \tag{1.19}$$

$$\begin{aligned}\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{ml}} = \left[(\dot{\mathrm{M}}_{1,\mathrm{W}} + \alpha_{\mathrm{mt}}\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{RLOF}})M_2^2 + (\dot{\mathrm{M}}_{2,\mathrm{W}} + \beta_{\mathrm{mt}}\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{RLOF}})M_1^2\right] \\ x\frac{a^2}{(M_1+M_2)^2}\frac{2\pi}{P_{\mathrm{orb}}} \\ +\gamma_{\mathrm{mt}}\delta_{\mathrm{mt}}\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{RLOF}}\sqrt{G(M_1+M_2)a}\end{aligned}$$

Kütle transferi etkinlik parametreleri α_{mt}, β_{mt} ve δ_{mt} sırasıyla kütle veren bileşenin çevresinden hızlı rüzgar olarak kaybedilen kütle kesrini, kütle alan (NS) çevresinden hızlı rüzgar olarak kaybedilen kütle kesrini ve yıldızın toroid çevresinden kaybedilen kütle kesrini temsil etmektedir ve γ_{mt}2a toroidin yarıçapıdır Soberman et al. (1997). Burada kütle transfer etkinliği Eşitlik 1.20,

$$f_{\mathrm{mt}} = min(1-\alpha_{\mathrm{mt}}-\beta_{\mathrm{mt}}-\delta_{\mathrm{mt}}, |\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{Edd}}/\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{RLOF}}|) \tag{1.20}$$

ile verilir. Toplanma, $\dot{\mathrm{M}}_{\mathrm{Edd}}$ ile sınırlıdır.

Küçük kütleli yıldızların dönme hızlarında meydana gelen azalma, manyetik frenlemeden kaynaklanır (detaylar Bölüm 1.2 ve Bölüm 1.3'de verilmiştir). MESA-Binary modülü bu etkiyi frenlenen yıldızın çekimsel olarak senkronize olduğunu varsayan Rappaport et al. (1983)'e göre uygulamaktadır, yalnızca frenlenen yıldızın konvektif bir zarfı ve ışınımsal çekirdeği olduğu sürece manyetik frenlemeyi hesaba katar, buna bağlı olarak manyetik frenleme Eşitlik 1.21 ile temsil edilir ve tez çalışması kapsamında geri tür bileşen sahip çift sistemlerde ele alınmıştır:

$$\dot{\mathrm{J}}_{\mathrm{mb}} = -6.82\times10^{34}\left(\frac{M_1}{M_\odot}\right)\left(\frac{R_1}{R_\odot}\right)^{\gamma_{\mathrm{mb}}}\left(\frac{1\mathrm{gün}}{P_{\mathrm{orb}}}\right)^3 [dyncm] \tag{1.21}$$

Burada en basit yaklaşım γ_{mb}= 4 olmasıdır (Verbunt and Zwaan, 1981).

Etkileşen yakın çift yıldızlarda, en önemli kütle transfer ve dolayısıyla kütle kayıp mekanizmalarından biri RLOF'dur (detayları Bölüm 1.2'de verilmiştir). Bu süreç genellikle her bir bileşenin Roche-lobu hacmine eşdeğer

kürenin yarıçapı R_{RL}'si dikkate alınarak 1D'de modellenir (Eggleton, 1983). Hesaplanan korunumsuz evrim modellerinde MESA varsayılanı olarak ikincil bileşenin RL'nun etkin yarıçapı Eggleton (1983) formülü kullanılarak hesaplanmaktadır ve Eşitlik 1.22

$$R_{\rm RL} = \frac{0.49 q_j^{2/3}}{0.6 q_i^{2/3} + \ln(1 + q_j^{1/3})} a \tag{1.22}$$

ile verilir. Burada j, her bir yıldızı tanımlayan indekstir, $q_1 = M_1/M_2$ ve $q_2 = M_2/M_1$. Bu uyum, $0 < q_j < \infty$ olan tüm kütle oranları aralığı için yüzde birkaçına kadar doğrudur. Kütle transferi, bir yıldızın yarıçapı R_{RL}'ye yaklaştığında veya onu geçtiğinde gerçekleşir. Birkaç faktöre bağlı olarak, bir yıldız RLOF'a başladığında, onu takip eden kütle transfer aşaması nükleer, termal veya dinamik bir zaman ölçeğinde ilerleyebilir (Marchant, 2017).

MESA-binary modülü, iki kütle transfer şemasına sahiptir: Ritter şeması Ritter (1988) modeli ve Kolb şeması Kolb and Ritter (1990) modelidir. Ritter yaklaşımına göre bileşen yıldızın kütle transfer oranı MESA'da Eşitlik 1.23 ile hesaplanır,

$$\dot{M}_2 = \dot{M}_0 e^{\left(\frac{R_2 - R_{\rm L}}{H_{\rm p}}\right)} \tag{1.23}$$

Bu tez çalışması kapsamında ele alınan modellerde, hem Ritter hem Kolb MT şemasına yer verilmiştir. X-ışın çiftlerinde H_p bilşen yıldızın yüzeyindeki basınç ölçek yüksekliğine karşılık gelir ve şu şekilde verilir,

$$H_p = \frac{P_s}{g_s \rho_s} \tag{1.24}$$

burada $P_s, g_s = \frac{GM_2}{R_2^2}$ ve ρ_s sırasıyla basınç ve bölgesel gravitasyonel toplanma ve bileşen yıldızın yüzeyindeki yoğunluğa karşılık gelmektedir (Marchant, 2017).

Çift sistem evriminde yörüngesel çekim etkileşimi yaklaşımı için Hut (1981) modeli farklı şekilde dönen yıldızların durumunu da içerecek şekilde ele alınır. Her bileşen için açısal dönme hızının zaman evrimi;

$$\frac{d\Omega_{i,j}}{dt} = \frac{\Omega_{orb} - \Omega_{i,j}}{\tau_{sync,j}}, \frac{1}{\tau_{sync,j}} = \frac{3}{(q_j r_{g,j})^2} \left(\frac{k}{T}\right)_{c,j} \left(\frac{R_j}{a}\right)^6 \tag{1.25}$$

Eşitlik 1.25 ile verilmektedir. Burada j = 1, 2 her bir bileşenin indeksidir, Ω, açısal dönme hızı, $r_{g,j}^2 = I_j/(M_j R_j^2)$ dönme yarıçapıdır.

Dejenere olmayan kütle veren bileşenleri ile NS bileşenli LMXB de kütle transferi temel olarak manyetik frenleme ile gerçekleşir. Bu tür sistemlerde gözlenen kütle transfer oranları ile teorik modeller arasındaki tutarsızlıklar bir süredir bilinmektedir ve bu tutarsızlıkları gidermek adına güncel olarak CARB (konveksiyon ve dönmesi artttırılmış) manyetik frenleme yaklaşımı önerilmiştir (Van and Ivanova, 2019). Bu MB yaklaşımının formülasyonu Bölüm 1.2'de Eşitlik 1.13 ile verilmiştir. Geri tür bileşene sahip çift sistemlerin veya bu tür yıldız bileşenlerine sahip NS-LMXB sistemlerinin korunumsuz evrimi ve ata sistemlerinin tahmini konusunda, manyetik alan, dönme, ML, yıldız rüzgarı gibi etkilerin dikkate alındığı yaklaşımları aramak bize gözlemlerle daha uyumlu sonucu sağlayabilir. Tez çalışmasında NS-LMXB'lerin çoğununun evrimini anlamak ve bu tür sistemleri yeniden oluşturabilecek ata çift sistemlerin evriminin tahmini, MESA-binary modülünün bize sunduğu seçenek Rappaport et al. (1983) (daha sonra R83) manyetik frenleme yaklaşımının yanı sıra CARB MB modeli ile de ele alınmış ve hedef çift sistemler üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Bölüm 5'de detaylarıyla tartışılmıştır.

MESA dağıtım versiyon r23.05.1'in kullanımına, yakın dönem içerisinde geliştirilen **Starspots** parametresi eklenmiştir. **Binary** modülünden farklı olarak bu parametre tek yıldız evriminin çalışıldığı **Star** modülünde bulunmaktadır. Tez kapsamında kısa dönemli aktif ve örten çift sistemlerin ve geri tür bileşenli NS-LMXB sistemlerinin korunumsuz evrim modellerinin geliştirilmesinde kullanım için uygun bir parametredir. Tez kapsamında öncelikli olarak hedef çift sistem RT And (bkz. Bölüm 2 ve Bölüm 4.1.1) üzerinde test uygulamaları yapılmıştır. Detaylı korunumsuz evrim modelleri Bölüm 4'te tartışılmıştır.

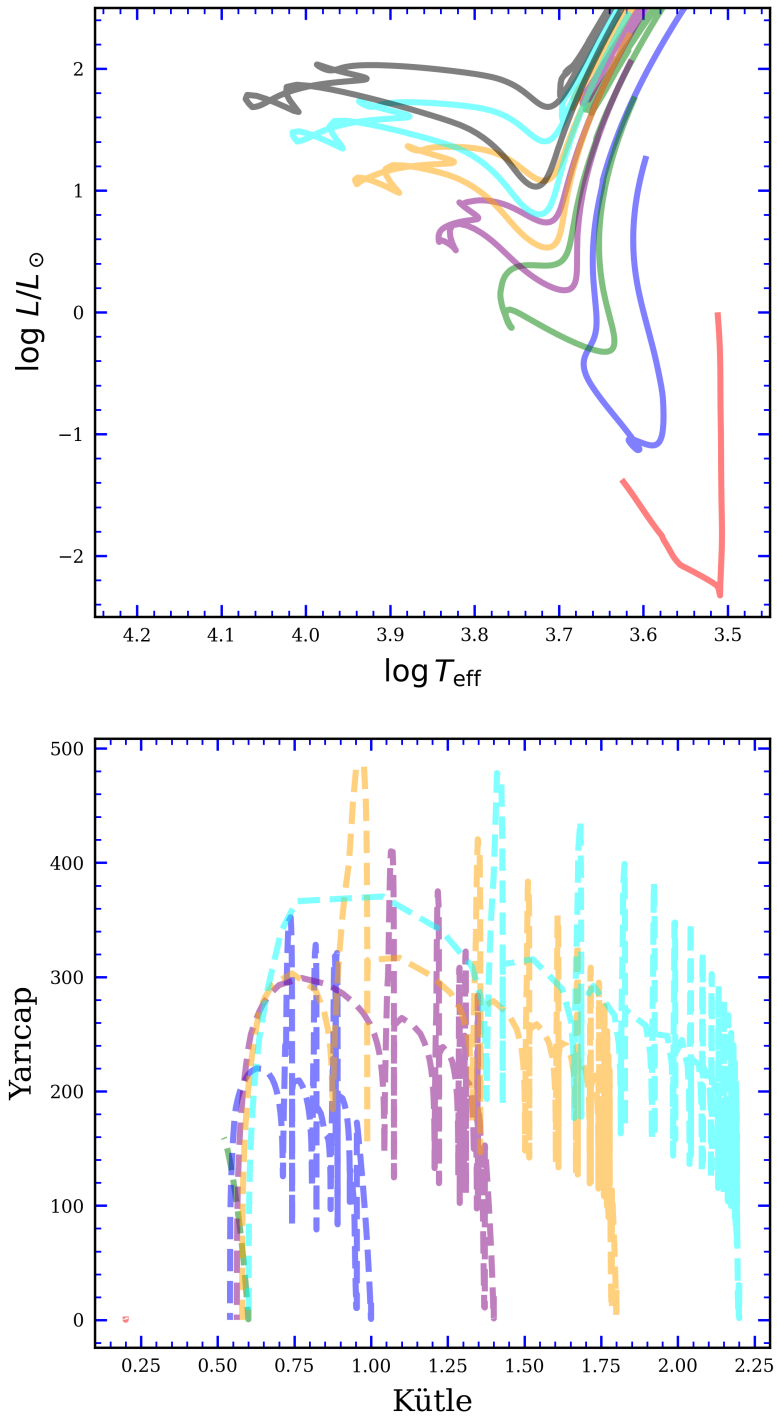
MESA'da "Starspots" uygulaması Somers et al. (2020) SPOTS modellerinde tanıtılmıştır, Yale Dönen Yıldız Evrimi'ne dayanan Kodu (YREC; Demarque et al. (2008); Spada et al. (2013)) ve Somers et al. (2020) ve Somers et al. (2020)'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Star modülündeki bu

yaklaşım yıldız yüzeyindeki "lekelilik" derecesini iki parametre kullanılarak karakterize etmektedir (Jermyn et al., 2023): 1- ⋆ SPOTF (bundan sonra f_{spot} olarak anılacaktır) bir kapsama oranı, 2- ⋆ SPOTX (bundan sonra x_{spot} olarak anılacaktır) lekeli ve lekesiz bölgeler arasındaki sıcaklık kontrastı.Sayısal olarak, her iki parametre için 0.0 ile 1.0 arasındaki değerlere izin verilir (Detaylar için bakınız (Cao et al., 2022)).

MESA starspots ile hesaplanan evrim yolları f_{spot}'un bir fonksiyonu olarak aynı büyüklükte-parlaklıkta ve aynı yönde düzgün bir şekilde kayar. Ayrıca x_{spot}'un başlangıç değeri ne kadar düşük olursa (yani, manyetizma açısından daha aşırı), artan kapsama oranının etkisi o kadar büyük olur (Jermyn et al., 2023). $\approx 0.6\ M_{\odot}$'nin altında SPOTS modelleri MESA 'Starspots' modellerinden daha soğuktur. Bu, atmosferik sınır koşulu seçimindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Jermyn et al., 2023). 0.3 $M_{\odot}$'lik bir M-cücesi için $f_{spot} = 0.34$ ve $x_{spot} = 0.85$ değerleri kullanılarak tahmin edilen yıldız lekeleri, SPOTS modelleriyle uyumlu olarak %3-%5 mertebesindedir (Jermyn et al., 2023). MESA 'Starspots' yaklaşımını test etmek için bakınız [1].

Tez çalışmasının genel kapsamı, farklı kütle aralığında ve türdeki çift yıldızların evrimini incelemektir. Detaylarda daha çok küçük kütleli yıldızların evrimine odaklanılsa da, NS-HMXB ve -LMXB sistemlerinin bileşenlerini oluşturan tek yıldızların evrimini anlamakta önemlidir. Bunun için, kapsamlı olarak tek yıldız evrim yolları ve izokronları (MESA v7503; ((Paxton et al., 2011, 2013, 2015))) MESA'nın gelişmiş açık kaynak 1D yıldız evrim paketi MIST (MESA Isochrones & Stellar Tracks) (versiyon 1.2) Eşdeğer Evrim noktası yolları (Equivalent Evolutionary Point-EEP) kullanarak ele alınmıştır. Model yaklaşımlarında, kütle adım aralığı 0.4 olacak şekilde 0.2 $M_{\odot}$ ile 2.6 $M_{\odot}$ başlangıç kütle aralığındaki yıldızlar ele alınmıştır. Başlangıç dönmesi v/v_{crit}=0.4 seçilmiş ve [Fe/H]=0 olarak alınmıştır. Elde edilen evrim yollarını gösteren Hertzsprung-Russell (H-R) ve Kütle-Yarıçap (M-R) diyagramları Şekil 1.2'de verilmiştir.

[1] `MESA_DIR/star/test_suite/starspots`



Şekil 1.2: Farklı kütle aralıklarındaki (0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2 ve 2.6 $M_\odot$) tek yıldızların MESA-MIST ile elde edilmiş evrim yolları. Üst panel H-R diyagramını, alt panel ise Güneş biriminde M-R diyagramını göstermektedir.

1.6 Çalışmada Kullanılan Gözlem Araçları

1.6.1 Optik Gözlem Araçları

Ege Üniversitesi Gözlemevi (EUO)

EUO, İzmir Kurudağ/Yıldıztepe yerleşkesinde bulunan 35 ve 40 cm teleskoplarla aktiftir. 40 cm ayna çaplı teleskop (Eski T40, yeni R40), Schmidt–Cassegrain türü, 0.29″ ayrıma gücü ve f/10 odak oranı ile Bessel UBVRI bandlarında hizmet vermektedir.

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG), teleskoplarından Antalya Bakırlıtepe Yerleşkesinde bulunan ana ayna çapı 60 cm olan teleskop **T60**, Linux üzerinde çalışan TALON (Observatory Control Software) isimli bir yazılım ile kontrol edilmektedir. Bu teleskop robotik "nesne tabanlı" çalışmaktadır. Odak düzleminde 12 pozisyonlu bir süzgeç tekerleği ve FLI ProLine 3041, 2Kx2K, CCD Kamera bulunmaktadır. f/10 odak oranı, 6000 mm'lik odak uzaklığı ve 0.23″ ayırma gücüne sahip olan teleskop Ağustos 2010 tarihinden beri aktif olarak çalışmaktadır. Aynı yerleşke üzerinde Güney Tepe'de bulunan 1.0 m ayna çaplı **T100** teleskobu ACE tarafından geliştirilmiş ve Windows işletim sistemi üzerinde çalışan bir kontrol yazılımı ile gözlem projesi esaslı olarak kullanılmaktadır. Odak düzleminde her birinde 8 adet yuva olan 2 adet süzgeç tekerleği, Spectral Instruments 1100 serisi 4Kx4K bir CCD (görüntüleme) ve SBIG ST402M CCD kamera (Takip Düzeltici-Autoguider) bulunan teleskop f/10 odak oranı, 1000 cm odak uzaklığı ve 0.11″ ayırma gücü özelliğine sahiptir. T100 teleskobu özellikle geniş alanda çokrenk ışıkölçüm veya astrometri amaçlı gözlemler için kullanılmaktadır.

Super-Wide Angle Search for Planets (SuperWASP), SuperWASP, Birleşik Krallık'ın önde gelen Güneş Sistemi dışı gezegen tespit programıdır. Tüm yıl boyunca sürekli olarak çalışan ve gökyüzünün her iki yarım küresini de gözlemeye olanak tanıyan iki robotik gözlemevinden oluşmaktadır. Bunlardan ilki olan SuperWASP-Kuzey, La Palma adasında Isaac Newton Grubu teleskopları (ING) arasında yer almaktadır. İkincisi, SuperWASP-Güney ise Güney Afrika'nın Sutherland kentinin hemen dışındaki Güney Afrika

Astronomi Gözlemevi (SAAO) sahasında yer almaktadır. Gözlemevlerinin her biri, gezegen geçişi olayları için gökyüzünü eş zamanlı olarak izleyen sekiz geniş açılı kameradan oluşmaktadır. SuperWASP-N, 2004 ve 2007 yılları arasında, her biri Andor CCD dizisine sahip 200 mm f/1.8 canon lense ve 7.8 × 7.8 derecelik görüş alanına sahip kameralarla çalıştırılmıştır (Jurua et al., 2011). Her bir cihaz yaklaşık 482 derece^2'lik görüş alanına sahiptir ve V $\sim$ 7^{m}.0-11^{m}.5 olan nesneler için %1'den daha iyi doğrulukta fotometri sağlayabilmektedir. Daha parlak nesneler için daha düşük kaliteli veriler proje arşivinde saklanmaktadır. Sistemler, V $\sim$ 15^{m}.0 alanları yüksek tempo ile izlemek için tasarlanırken, her 40 dakikada bir görünür gökyüzünün tamamını tarayabilmektedir. Gözlem stratejisine bağlı olarak, veri hızı gece başına 100 GB'a kadar çıkabilir. Bu sistemlerin ana bilimsel amacı, tayfsal takip gözlemleri için uygun parlak geçişli ötegezegen sistemlerini araştırmaktır (Pollacco et al., 2006). Bu son teknoloji kameralar, tüm görüş alanı üzerinde çok hassas fotometri gerçekleştirebilir [2].

All-Sky Automated Survey for SuperNovae (ASAS-SN)

ASAS-SN, Şili ve Hawaii'de her biri dört teleskoplu iki ünite kullanarak görünür gökyüzünü 2-3 günlük bir süreyle V $\lesssim$ 17^{m}'e kadar görüntülemek için çalışmaktadır. Mevcut veriler $\sim$ 100-400 gözlem dönemi ile $\sim$ 2-5 yılı kapsamaktadır. Kullanıcı tarafından seçilen herhangi bir gökyüzü koordinatı için güncel bir açıklık fotometrisi ışık eğrisi sağlayan bir web arayüzü [3] mevcuttur. V bandı fotometrisi iki piksel (16″.0) yarıçaplı bir açıklık kullanılarak elde edilir ve APASS kataloğuna karşı kalibre edilir. Işık eğrileri gerçek zamanlı olarak üretilir, kullanıcının gök küresi üzerindeki herhangi bir nokta için bir ışık eğrisi elde etmesine olanak tanır (Kochanek et al., 2017; Shappee et al., 2014). ASAS-SN yakın zamanda 20 teleskoplu 5 birime genişlemiştir. Mevcut tüm ASAS-SN birimleri g-bandı filtrelerle donatılmıştır ve şu anda gökyüzünü $\sim$ 1 günlük bir kadansla g $\lesssim$ 18^{m}.5'e kadar izlemektedir. ASAS-SN'nin birincil odak noktası, parlak süpernovaların ve diğer geçici olayların (örneğin çekimsel

[2] `http://www.superwasp.org.`

[3] `https://asas-sn.osu.edu/`

bozulma olayları, kataklismik değişenler, AGN patlamaları, yıldız patlamaları, vb.) minimum önyargı ile tespit edilmesidir (Jayasinghe et al., 2020).

Zwicky Transient Facility (ZTF)

ZTF, optik gece gökyüzünün sistematik bir şekilde incelenmesini amaçlayan bir kamu-özel sektör ortaklığıdır. Son derece geniş görüş alanına sahip bir kamera kullanan ZTF, her iki günde bir Kuzey gökyüzünün tamamını taramaktadır. Ortaya çıkan geniş alan araştırması, astronomi camiyasının Yer'e yakın asteroitlerden uzak süper parlak süpernovaların incelenmesine kadar uzanan geniş bir bilim yelpazesini takip etmesini sağlayacaktır. Geniş alan ZTF kamerası, ikonik Palomar Gözlemevi'ndeki tesislerden biri olan 48 inçlik Samuel Oschin robotik teleskobuna (P48) monte edilmiştir ve 47 derece^2'lik görüş alanı ve 8 sn okuma süresi sağlar. SEDM spektrografı ise 60 inç'lik teleskop (P60) üzerinde çalışmaktadır. ZTF, tüm odak düzlemi boyunca 2.0″ FWHM ile görüntü kalitesini korur. Hızlı modern okuma elektroniği, pozlama başına sadece 10 saniyelik ek bir okuma süresi getirir. Teleskop, 30 sn poz süresinde ve g, r, i bandlarında gözlem olanağı sağlamaktadır (Bellm et al., 2019; Dekany et al., 2020).

Optical Monitoring Camera (OMC)

Optik İzleme Kamerası (OMC), X-ışın alanında JEM-X monitörünün desteğiyle ESA görevi INTEGRAL'deki Gama-ışın araçlarının ana hedeflerinden gelen optik ışımayı gözler. OMC'nin başlıca bilimsel hedefleri şunlardır: (1) Gama ve X-ışın cihazları tarafından gözlenen kaynaklardan gelen optik ışımayı izlemek, yüksek enerjilerdeki değişkenlikle karşılaştırmak için optik ışımanın zaman ve yoğunluk yapısını ölçmek ve (2) görüş alanı içinde yer alan herhangi bir Gama veya X-ışın geçici kaynağın optik karşılığının parlaklığını ve konumunu sağlamaktır. OMC, çerçeve aktarım modunda (1024 × 1024 piksel görüntüleme alanı) çalışan geniş formatlı bir CCD (1024 × 2048 piksel) 500 - 600 nm (CCD: 850 nm) dalga boyu aralığını kapsayacak şekilde bir Johnson V filtresi içeren 50 mm (çap) lensin odak düzleminde yer almaktadır. V = 18^{m} parlaklığına kadar olan kaynakları takip edebilir, V ≤ 16^{m} olan nesneler için $0^{\mathrm{m}}.1$'in altında fotometrik belirsizliklere izin verir (Mas-Hesse et al., 2003).

Palomar Transient Factory (PTF)

PTF, optik geçici kaynakların sistematik bir şekilde araştırılması amacıyla yapılmış tam otomatik, geniş alanlı bir projedir. Gözlemler, Palomar Gözlemevi'ndeki 48 inç Samuel Oschin teleskobuna yerleştirilen yeni bir 8.1 derece^2'lik kamera kullanılarak gerçekleştirilir; tespit edilen geçici kaynaklar için renkler ve ışık eğrileri otomatik Palomar 60 inç teleskop ile elde edilir. PTF, 1.2 m teleskop zamanının %80'ini ve 1.5 m teleskop zamanının %50'sini kullanmaktadır. Proje, 60 saniyelik bir pozlama ile $m_g \approx 21.3$ ve $m_R \approx 20.6$ derinliğine ulaşmaktadır. PTF, otomatik, gerçek zamanlı geçici kaynak sınıflandırmasının ve takibin yanı sıra her karede tespit edilen her kaynağı içeren bir veritabanı sağlar (Law et al., 2009). Gözlemler, R ve g bandındadır, bununla birlikte ek bir H_α band seti de kullanımdadır. Teleskop Palomar'daki ilk ışığını 13 Aralık 2008'de almıştır ve 2009 ortasından 2017'ye kadar rutin operasyonlarda bulunmuştur. Proje 2017'den beri ZTF olarak çalışmaktadır.

Digital Access to a Sky Century Harvard (DASCH)

Harvard'da Gökyüzü Yüzyılına Dijital Erişim (DASCH), Harvard College Gözlemevi'nde bulunan $\sim$ 500.000 cam fotoğraf plakasından oluşan koleksiyonu dijital ortama aktarma projesidir. Koleksiyon 1880'den 1985'e kadar olan zaman dilimini kapsamaktadır ve bu süre zarfında gökyüzündeki her nokta 500 ile 1000 kez gözlenmiştir. Harvard Astronomik Plaka Koleksiyonunun sayısallaştırılması, gökyüzünün 100 yıllık zaman ölçeklerinde sistematik olarak incelenmesine olanak sağlamıştır. DASCH, yaklaşık 17^m'den daha parlak neredeyse tüm astronomik nesneler için görüntüleme sunar (Laycock et al., 2010).

DASCH, fotometri kalibrasyonu için **ATLAS** 'Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System' (Tüm Gökyüzü Yıldız Referans Kataloğu) kataloğu, 'AAVSO Photometric All-Sky Survey' (Fotometri Tüm Gökyüzü Araştırması)-**APASS** Sürüm 8 Kataloğu, 'Kepler Input Catalog' (Kepler Giriş Kataloğu) (KIC) ve **GSC2.3.2** 'Guide Star Catalog' (Hubble Kılavuz Yıldız Kataloğunu) kullanmaktadır. ATLAS 'refcat2' kalibrasyonu, tüm gökyüzü üzerinde 19^m parlaklığa kadar en iyi fotometrik doğruluğu sağlamak için yeniden düzleştirilmiş

APASS, SkyMapper DR1, APASS DR9, Tycho-2 ve Yale Parlak Yıldız Kataloğu ile desteklenen Pan-STARRS DR1'i kullanır. APASS kalibrasyonu, plakaların çoğunun filtrelenmemiş fotoğrafik mavisine daha iyi uyan Johnson B ve V parlaklıklarını kullanır. KIC kalibrasyonu, Kepler uydusunun alanı için Kılavuz Yıldız Kataloğundan daha iyi doğruluk sağlar. GSC2.3.2 kataloğu, APASS'ın 9^m ile 15^m parlaklık aralığı dışındaki nesneler için B ve V bandlarını sağlar (Tang et al., 2013; Laycock et al., 2010).

Kepler Kataloğu (KIC) ile kalibre edilen Kepler alanındaki nesneler g-bandı parlaklıklarına; APASS ile kalibre edilen nesneler B-bandı parlaklıklarına; GSC2.3.2 ile kalibre edilen nesneler JpgMag (IIIaJ) parlaklıklarına; ve ATLAS 'refcat2' ile kalibre edilen nesneler g-bandı parlaklıklarına sahipken ATLAS fotometrisi 'c' (cyan) ve 'o' (orange) bandlarına sahiptir. Sloan g ve r parlaklıkları ile kalibre edilen nesneler, özellikle kırmızı yıldızlar, sistematik hatalar içerebilir.

Northern Sky Variability Survey (NSVS)

NSVS, 8^m ile $15^m.5$ optik parlaklık aralığında gökyüzünü taramaktadır. Gözlem, birinci nesil Robotik Optik Geçici Arama Deneyi (ROTSE-I) ile, CCD kameralarla donatılmış dört adet birleşik filtresiz ('median ROTSE mag') telefoto mercekten oluşan robotik bir sistem kullanılarak gerçekleştirilmektedir. NSVS yaklaşık 14 Milyon nesnenin ışık eğrilerini kapsamaktadır. NSVS, 1 yıllık bir taban çizgisi ve nesne başına tipik olarak 100-500 ölçümle, bugün mevcut olan parlak gökyüzündeki yıldız değişkenliğinin en kapsamlı kaydını almaktadır. NSVS fotometrisi, filtrelenmemiş tek bir fotometrik band kullanmanın dezavantajlarına rağmen fotoğrafik çalışmalara göre büyük bir gelişme sergilemektedir (Woźniak et al., 2004).

Catalina Sky Survey (CSS-CATALINA)

CATALINA, birincil amacı NEO'ları keşfetmek ve izlemektir. CSS, bilinen 29.000'den fazla Yer'e yakın asteroidin %45'inden fazlasını keşfetmiştir ve Tucson, Arizona'nın kuzeyindeki 0.7 m f/1.9 Catalina Schmidt Teleskobunu kullanmaktadır. Catalina Schmidt teleskop, tipik olarak dört 30 saniyelik poz dizisinde $\sim$ 1200 derece^2'lik bir alanı kaplar. CATALINA,

Catalina Gökyüzü Araştırması (CSS) ve Catalina Gerçek Zamanlı Geçici Araştırması'ndan (CRTS) oluşmaktadır. CSS projesi hızlı hareket eden Yer'e Yakın Nesneleri (NEO'lar) araştırırken, CRTS sabit optik geçici kaynakları (OT'ler) araştırır. Her iki araştırma da CSS tarafından işletilen üç teleskoptan elde edilen verilerden maksimum bilimsel getiriyi elde etmek için işbirliği içinde çalışmaktadır. CATALINA'nın ikinci halka açık veri sürümü (CSDR2), 33.000 derece karelik bir alanda V band parlaklıkları 11.5 ile 21.5 arasında olan 500 milyon nesnenin fotometrisini kapsamaktadır (Drake et al., 2009).

Kepler/K2

1990'ların başından bu yana Kepler uzay teleskobu ile binlerce gezegen tespiti gerçekleşmiştir. Kepler, yön bulma yeteneğini kaybedene kadar, gökyüzünde potansiyel gezegenlere sahip yaklaşık 150.000 yıldız içeren bir bölgeyi gözledi. Uzay aracının işaretleme kontrolü arızalandıktan sonra, K2 görevi olarak yeniden adlandırıldı ötegezegenleri saptamaya devam etti. Kepler Uzay Teleskobu'nun K2 görevi, yüksek kadanslı fotometri ile hem Galaktik hem de Ekstragalaktik kökenli kaynakları incelemek için eşsiz bir olanak sunmaktadır. Ayrıca, K2'de mevcut olan azaltılmış teleskop kararlılığı, orijinal Kepler görevinden daha düşük bir fotometrik hassasiyet sağlar. Fotometrik hassasiyetteki düşüşe rağmen, K2'nin C01'den C19'a kadar olan kampanyaları, diğer şeylerin yanı sıra, yeni ötegezegenlerin tespit edilmesine yol açan benzersiz fotometrik veriler elde etmesinde başarılı olmuştur. Hedeflenen galaksilerde tespit edilen çok sayıda süpernova ve kuasarın yanı sıra, Kepler'in K2 boyunca tesadüfen birçok geçici kaynak gözlemiş olması muhtemeldir (Howell et al., 2014; Ridden-Harper et al., 2020). Kepler/K2 görevi Ekim 2018'de resmen sona ermiştir. Bununla birlikte gözlemler TESS ile devam etmiştir. TESS'in 2018'de göreve başlamış olmasıyla yeni ötegezegen adayları belirlenmiştir.

Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)

TESS, Massachusetts Institute of Technology (MIT) liderliğindeki bir NASA görevidir ve başta iki yıl boyunca tüm gökyüzünü tarayarak geçiş yapan ötegezegenleri keşfetmeyi amaçlamıştır. TESS, birlikte gökyüzünün 24 dereceye 90 derecelik bir şeridi izleyebilen dört özdeş, son derece optimize edilmiş,

kırmızıya duyarlı, geniş alan kamerasına sahiptir. Her bir şeridi 27 gün ve gece boyunca izleyen TESS, 18 Nisan 2018 tarihinde SpaceX Falcon 9 Roketi ile fırlatılmıştır ve 25 Temmuz 2018'de düzenli bilim görevlerine başlamıştır. TESS, ilk iki yıllık ana görevi boyunca tüm gökyüzünü birlikte inceleyecek olan dört özdeş kameraya sahiptir. Kameralar, her kameraya geniş (24×24 derece) bir görüş alanı sağlayan özel f/1.4 lenslerle donatılmıştır. Kameralar, gezegenlerin tespit edilebilirliğini simüle ederek belirlenen 10 cm (yaklaşık 4 inç) çapında etkili bir açıklık boyutuna sahiptir. Ötegezegenlerin tespiti için yüksek tempo gereklidir, bu nedenle gezegen arama hedeflerinin ve özel ilgi alanındaki diğer yıldızların pozları her 2 dakikada bir elde edilir ve tüm görüş alanının tam kare görüntüleri-full frame image (FFI'ler) her 30 dakikada bir döndürülür (Ricker et al., 2015).

Temmuz 2020 ile birlikte TESS ilk uzatılmış görevine başlamıştır. Yeni bir 20 saniyelik kadans veri modu tanıtılmış ve FFI kadansı 30 dakikadan 10 dakikaya değiştirilmiştir. TESS, Eylül 2022'de ise görevin ikinci uzatmasına girmiştir ve ikinci uzatma sırasında FFI kadansı 200 saniye olarak güncellenmiştir. TESS dedektörünün band aralığı 600-1000 nm arasındadır ve geleneksel Cousins I-bandı (I_C, merkezi dalga boyu = 786.5 nm) üzerinde merkezlenmiştir. Bu geniş, kırmızı optik band geçişi, foton sayım gürültüsünü azaltmak ve soğuk, kırmızı yıldızlardan geçen küçük gezegenlere duyarlılığı artırmak için tercih edilmiştir. Uzun dalga boyu ucu CCD dedektörlerinin kırmızı sınırını temsil eder ve kuantum verimliliklerine göre ayarlanır. Kısa dalga boyu ucu ise kamera merceklerinden birinin üzerindeki uzun geçişli filtre kaplaması tarafından ayarlanır. Kepler'in aksine, TESS band geçişi nispeten geniştir, ancak iki görevin farklı hedef önceliklerini yansıtan daha kırmızı dalga boylarını kapsar (Kepler için Güneş benzeri yıldızlar; TESS için küçük, soğuk yıldızlar). 400 nm genişlik, optik tasarım için en büyük pratik seçim olarak görülmektedir (Ricker et al., 2015).

All Sky Automated Survey (ASAS)

ASAS, hedef olarak tüm gökyüzünde 14^{m}'den daha parlak yaklaşık 10^7 yıldızın fotometrik olarak takibini ele alan düşük maliyetli bir projedir. ASAS'ın

ana hedeflerinden biri değişen yıldızları bulmak ve kataloglamaktır. Şu anda ASAS, biri LCO, Şili'de (1997 ile 2000 arasında; ASAS-2) ve diğeri Haleakala, Maui'de (2006'dan beri) olmak üzere iki gözlem istasyonundan oluşmaktadır. Her ikisi de V ve I bandında eş zamanlı gözlem yapan iki geniş alan 200/2.8 aletiyle donatılmıştır. ASAS, güney yarımkürenin ($\delta < +28$ derece) değişken yıldızlarının (ACVS) kapsamlı kataloglarını üretmiştir. Aralık 2009'a kadar güney yarımkürenin tüm fotometrik V-band verileri mevcuttur (Pojmanski, 2002).

Haziran 2006'da kuzey gözlem istasyonu **ASAS-3N** Haleakala'da (Maui) kurulmuştur ve o zamandan beri iki band'ta (V ve I) veri toplamaktadır. 2010 yılının başlarında güney ASAS istasyonu tam bir donanım yenilemesi geçirmiş ve Haziran 2010'dan beri Las Campanas'tan görülebilen tüm gökyüzünü gözlemeye yeniden başlamıştır. **ASAS-2** Fotometrik I-bandı Kataloğu 140.000 yıldızın 50 milyon'dan fazla ölçümüne interaktif erişim sağlamaktadır. ASAS-2 Değişen Yıldızlar Kataloğu 350'den fazla periyodik ve 3500'den fazla çeşitli değişen yıldızları içerir. **ASAS-3** sistemi, her biri özel yapım otomatik muhafaza içine yerleştirilmiş Apogee 2Kx2K CCD kamera ile donatılmış iki geniş alan 200/2.8 alet, bir dar alan 750/3.3 teleskop ve bir süper geniş 50/4 dürbünden oluşan düşük maliyetli prototip sistem ASAS-1, ASAS-2'nin yerini almıştır.

American Association of Variable Star Observers (AAVSO)

AAVSO 1911 yılında Harvard College Gözlemevi için büyük ölçüde amatör astronomlar tarafından yapılan değişen yıldız gözlemlerini koordine etmek amacıyla kurulmuştur. Bugün, merkezi Cambridge, Massachusetts'te bulunan, 100'den fazla ülkede aktif katılımcıları ve 34 milyondan fazla değişen yıldız gözleminden oluşan bir arşivi olan bağımsız, özel bir araştırma kuruluşu olarak dünyanın en büyük değişken yıldız gözlemcileri birliğidir. Profesyonel astronomların binlerce değişen yıldızın parlaklık değişimleri hakkında veri toplamak için ne zamanları ne de teleskopları vardır ve amatörler değişen yıldızları gözleyerek ve gözlemlerini AAVSO Uluslararası Veri Tabanına göndererek bilime gerçek ve yararlı bir katkıda bulunurlar. Uluslararası Değişen

Yıldız Endeksi (VSX), AAVSO'da kullanıma sunulan bir yardımcı programdır. Bu program iki farklı işleve hizmet etmektedir: değişen yıldızlar hakkındaki bilgilere erişmek için kolay bir portal'dır ve değişken yıldız bilgilerini yüklemek için bir yöntem sunar (Watson et al., 2006).

1.6.2 X-ışın Gözlem Araçları

Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)

Son 50 yılın çoğunda ve RXTE'nin 1995 sonlarında göreve başlamasından bu yana sürekli olarak kullanılan X-ray All sky monitorleri, parlak (yani, $L_X > 10^{37}$ erg/s) Samanyolu'nun çoğunda patlama sergileyen X-ışın çiftlerini algılayabilir (Maccarone et al., 2022). Rossi X-ışın Zamanlama Kaşifi (RXTE) görevi, kara delikleri, nötron yıldızlarını, X-ışın pulsarlarını ve X-ışın patlamalarını ve yüksek enerjili olayları gözlemiştir. RXTE 30 Aralık 1995'te fırlatılmıştır ve 16 yıl boyunca bu uç objeler hakkında inanılmaz keşifler yaptıktan sonra 5 Ocak 2012'de hizmet dışı bırakılmıştır. RXTE arşivindeki terabaytlarca veri, daha fazla keşfe güç verecek zengin bir bilgi sağlamaktadır.

RXTE, Swank (1999)) üzerindeki All-Sky Monitor (ASM, Levine et al. (1996)) üç Gölge Tarama Kamerasından (SSC) oluşmaktadır. Her SSC, gökyüzünü bir yarık maskesi aracılığıyla görüntüleyen konuma duyarlı bir orantılı sayaç (PSPC) içerir. Her SSC'nin görüş alanı (FOV) 6×90 derecedir ve ASM'nin her 1.5 saatte bir gökyüzünün çoğunu taramasına izin verir (Chitnis et al., 2009). Bu nedenle, geçici objelerin yerini belirlemenin yanı sıra, 1.5-12 keV bandındaki toplam veya toplam band yoğunluğuna ek olarak A (1.5-3 keV), B (3-5 keV) ve C'ye (5-12 keV) karşılık gelen üç enerji bandında bilinen kaynakların fotometrik kayıtlarını da sağlar. ASM ışık eğrileri MIT veritabanı (`http://xte.mit.edu/ASMlc.html`) ile verilmektedir.

Monitor of All-Sky X-Ray Image (MAXI)

MAXI, Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki (ISS) Japon Deney Modülü Tesisi'ne (JEM-EF veya Kibo-EF) kurulan ilk deney ve uzay istasyonuna yerleştirilen ilk yüksek enerjili astrofiziksel deneydir. MAXI'nin ana hedefleri, X-ışın geçici

kaynakların patlamalarını erken tespitini sağlamaktır. Bununla birlikte, tüm gökyüzünü 'soft' ve 'hard' X-ışın ile özellikle 0.5 keV'ye kadar tarar. MAXI Ağustos 2009'da gözlemlere başlamış ve orijinal iki yıllık çalışma süresi daha sonra uzatılmıştır (Matsuoka and Kawasaki, 2009).

MAXI, geniş görüş alanlı (FOV) iki tür X-ışın yarık kamerasına ve 2 ile 30 keV (GSC; 2-30 keV) enerji aralığını kapsayan gaz orantılı sayaçlardan ve 0.5 ile 12 keV (SSC; 0.5-12 keV) enerji aralığını kapsayan X-ışın CCD'lerinden oluşan iki tür X-ışın dedektörüne sahiptir. Her iki kamera da ISS yörüngesiyle senkronize olarak her 90 dakikada bir iki farklı yönlü kamera sayesinde tüm gökyüzü X-ışın görüntülerini iki kez tarar. Veriler ISS ile bir Yer istasyonu arasında veri aktarım uyduları aracılığıyla aşağı bağlantı yoluyla gönderilir. MAXI böylece X-ışın novalarını veya geçici olayları birkaç dakika içinde öğrenmemizi sağlar. Her bir kaynağın ölçümleri yerde birleştirilir. Sonuç olarak, AGN gibi zayıf bir kaynağın tespitini dahi sağlar. MAXI, X-ışın kaynaklarının değişkenliklerini araştırmak için belirli dönemler için kaynak katalogları oluşturabilmektedir (Matsuoka and Kawasaki, 2009).

Swift-Burst Alert Telescope (Swift/BAT)

Swift gama ışın patlaması (GRB) gözlemevi 2004 Kasım ayında fırlatılmıştır ve o zamandan beri Patlama Uyarı Teleskobu (BAT) ile 'hard' X-ışın (14-195 keV) gözlemi yapmıştır. 70 aylık Swift/BAT projesi en hassas ve tekdüze 'hard' X-ışın araştırmasıdır ve gökyüzünün %50'sinde 1.03×10^{-11} erg s^{-1} cm^{-2} ve gökyüzünün %90'ında 1.34×10^{-11} erg s^{-1} cm^{-2} akı seviyesine ulaşmaktadır. Swift, Gama-ışın patlamalarını ve ardıl ışımalarını incelemek için birlikte hizalanmış üç alete sahiptir: Patlama Uyarı Teleskobu (BAT), X-ışın Teleskobu (XRT) ve Ultraviyole/Optik Teleskop (UVOT) (Gehrels et al., 2004; Baumgartner et al., 2013).

Patlama Uyarı Teleskobu (BAT), kritik GRB tetikleyicileri ve 4 açıdakikalık pozisyonları sağlamak için tasarlanmış oldukça hassas, geniş bir görüntüleme alanına sahip bir cihazdır. Enerji aralığı, görüntüleme için 15-150 keV'dir. Çeşitli yoğunluklara, sürelere ve zamansal yapılara sahip patlamaları incelemek için BAT'ın geniş bir dinamik aralığa ve tetikleme yeteneklerine sahip olması

gerekir. BAT'ın görüntüleme alanı her zaman XRT ve UVOT görüş alanlarını içerdiğinden, patlamadan kaynaklanan uzun süreli Gama-ışın salmasını, X-ışın ve UV/optik salma ile eş zamanlı olarak inceleyebilir. BAT'tan gelen veriler ile Swift'in iki yıllık görevi boyunca hassas bir 'hard' X-ışın araştırma alanı sağlanmıştır. BAT hakkında daha fazla bilgi Barthelmy et al. (2005) tarafından verilmiştir.

X-ray Multi-Mirror Mission-Newton (XMM-Newton)

XMM-Newton uzay aracı, Avrupa Foton Görüntüleme Kamerasını (EPIC) oluşturan üç X-ışın CCD kamerasından oluşan bir set taşımaktadır. Kameralardan ikisi MOS (Metal Oksit Yarı-İletken) CCD dizileridir (MOS kameralar olarak anılır). Bunlar, Yansıma Izgarası tayfölçelerin (RGS) ızgaralarıyla donatılmış X-ışın teleskoplarının arkasına yerleştirilmiştir. Izgaralar, teleskoptan gelen akının yaklaşık yarısını RGS dedektörlerine doğru yönlendirir, böylece orijinal gelen akının yaklaşık %44'ü MOS kameralarına ulaşır. Üçüncü X-ışın teleskobu engelsiz bir ışına sahiptir; bu teleskobun odağındaki EPIC cihazı pn CCD'ler kullanır ve pn kamera olarak adlandırılır. EPIC kameraları, teleskobun 30 açıdakikalık görüş alanı (FOV) üzerinde ve 0.15 ile 15 keV enerji aralığında orta düzeyde tayfsal (E/Delta E $\sim$ 20-50) ve açısal çözünürlükle (PSF, 6 açısaniye FWHM) son derece hassas görüntüleme gözlemleri yapma imkanı sunmaktadır (Strüder et al., 2001; Turner et al., 2001).

MOS EEV CCD22, açık elektrot yapısına sahip yüksek dirençli epitaksiyel silikon üzerinde üç fazlı bir çerçeve transfer cihazıdır; 0.2 ile 10 keV enerji aralığında faydalı bir kuantum verimliliğine sahiptir. Geleneksel önden aydınlatmalı CCD'nin düşük enerji tepkisi, elektrot yapısındaki soğurma nedeniyle $\sim$700 eV'nin altında zayıftır. Kamera söz konusu olduğunda, tüm FOV üzerinde uzamsal olarak tek tip dedektör kalitesi, tek bir yonga plakası üzerinde on iki adet 3 x 1 cm pn-CCD'nin monolitik üretimi ile gerçekleştirilir.

Her biri 200 x 64 piksel formatında üç pn-CCD alt birimine sahip dört ayrı kadran paralel olarak çalıştırılır. pn dizisi özellikle XMM-Newton X-ışın teleskobu FOV ve ayna PSF için tasarlanmıştır ve 6 x 6 cm'lik bir görüntüleme alanına (FOV'un yaklaşık %97'sini kapsar (Strüder et al., 2001; Turner et al., 2001) sahiptir.

Optik/UV Monitör Teleskobu (XMM-OM) XMM-Newton'un ayna destek platformuna X-ışın ayna modüllerinin yanına monte edilmiştir. X-ışın görüş alanının merkezi 17 yaydakikalık kare bölgesinin 170 nm ile 650 nm arasında kapsama alanını sağlayarak XMM hedeflerinin X-ışını ve morötesi/optik bandlarda ((V, B, U, UVW1, UVM2, UVW2)) eş zamanlı olarak rutin çoklu dalga boyu gözlemlerine izin verir. XMM-OM, bir 'Teleskop Modülü' ve yedeklilik için iki özdeş ünitenin bulunduğu ayrı bir 'Dijital Elektronik Modülünden' oluşur. Teleskop Modülü, f/12.7 odak oranına, yani yaklaşık 3.8 m odak uzaklığına sahip güncellenmiş 30 cm'lik bir Ritchey-Chretien teleskoptan oluşur. Gelen ışık, 45 derecelik açıyla eğimli bir ayna tarafından iki yedek dedektörden birine yansıtılır. OM teleskop tüpü yaklaşık 2 m uzunluğundadır. Gelen ışık birincil aynaya düşer, o da ikincil aynaya yansıtır, buradan da dedektöre yansıtan eğimli aynaya gider. Dedektörlerin hemen önüne bir band çarkı monte edilmiştir. Bu sadece bandları değil, aynı zamanda grismler ve büyüteç gibi diğer optik elemanları da içerir (yani daha uzun odak uzaklığı ve dolayısıyla gökyüzünde daha yüksek çözünürlük için optikler) (Mason et al., 2001).

2 SEÇİLEN RS CVN TÜRÜ KISA DÖNEMLİ SİSTEMLER

2.1 Kısa Dönemli Aktif Çift Sistemler

Yıldızlararası astrofiziğin çok yönlü aşamalarını incelemek için seçilen önemli laboratuvarlardan biri örten değişen yıldızlardır. Bu bağlamda aktif örten yakın çiftler RS Canum Venaticorum (RS CVn) türü ve W UMa türü sistemler olmak üzere iki ayrı grupta ele alınmaktadır. RS CVn yıldızları, en sıcak olan bileşenin, yani baş bileşenin ise, F ve K arasında tayf türünde bir altdev veya dev yıldız olduğu ve en soğuk bileşen olan yoldaşın, G ile M arasında tayf türünde bir cüce veya bir altdev olduğu yakın çiftlerdir (Biermann and Hall, 1976). Gruba adını veren prototip örnek, RS Canum Venaticorum'dur. Soğuk yıldızın sahip olduğu daha düşük parlaklığın bir sonucu olarak, bu sistemlerin bazıları tek çizgili tayfsal çift sistem tipindedir (Martínez et al., 2022). Walter et al. (1978) RS CVn'nin 10^{26} ile $10^{31.5}$ erg/s arasında akılara sahip güçlü X-ışın kaynakları olduğunu belirlemiş ve Evren (1985); Dempsey et al. (1993); Keskin et al. (1994); Taş et al. (1999); Frasca et al. (2008) X-ışınlarındaki zamansal değişimlerin yıldız lekesi yaşam süresi mertebesinde olduğunu bulmuştur. Aktif çiftlerin özel bir sınıfını oluşturan RS CVn çiftlerinde (Hall, 1976) ışık değişimlerinde bileşenler düzensiz dalgalanmalar sergilerken, birinci minimumun değişken bir derinliğe sahiptir ikinci minimumun ise değişken bir yerdeğişimi (kayması) ve biçimi gösterir. Bu özelliklerin bazıları "yarı-ayrık" sistemler arasında yaygındır, ancak bu çift gruplarının gözlenen kesirli boyutları onları "ayrık" sınıfına sokmaktadır (Mancuso et al., 1979b).

RS CVn türünde bileşenler hızlı dönerler ve bu nedenle aynı özelliklere sahip tek yıldızlardan daha aktiftirler (Hall, 1972; Dempsey et al., 1993) ve genellikle güçlü H_α, Ca II , X-ışın dalga boyunda salma gösterirler. Bu aktivite, yüksek dönme hızı sergileyen daha sıcak bileşen tarafından baskılanır (Weiler, 1978). Optik bölgede en belirgin özellik, aynı tayf türüne sahip tek yıldızlardan

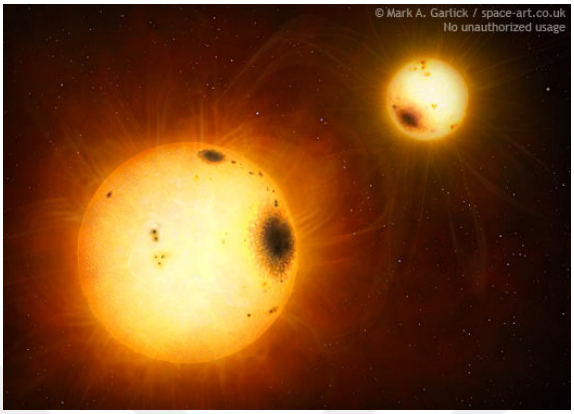
çok daha büyük olan dönemsel fotometrik değişkenliktir (Dempsey et al., 1993). Bu değişkenlik, yıldız yüzeyinin neredeyse %10'unu kaplayan büyük yıldız lekelerinin dönme kaynaklı modülasyonundan kaynaklanmaktadır (Vogt et al., 1999).

Bu tür çiftlerde, manyetik alanı güçlendiren ve geliştiren mekanizmanın Güneş benzeri yıldızlarda görülen bir α-Ω dinamo olduğu bilinmektedir, yani dış yıldız kabuğunun-zarfının (α) ve yıldız dönmesinin (Ω) konvektif hareketlerinin birleşik katkılarıyla çalışır (Magaudda et al., 2022). Singh et al. (1996), X-ışın değişkenliğinin dinamo aktivitesini arttıran çekimsel kaynaklı dönmeyle ilgili olduğunu öne sürmüştür, çünkü bileşenler arasındaki kütle transferinden kaynaklanabileceğine dair net bir kanıt bulunamamıştır (Martínez et al., 2022).

Çift sistemlerde tayfsal ve fotometrik gözlemler bileşenlerin parametrelerinin belirlenmesi konusunda oldukça önemlidir. Aktif örten-yakın çift sistemler durumunda soğuk bileşenin uzun dönemli fotometrik gözlemleri yıldızın aktif bölgelerinin aktivite çevrimi ve evrimi hakkında bilgi ortaya koyabilmektedir. Yıldızlarda yüzey aktivitesi manyetik alanların varlığı ile bağlantılıdır (Pribulla et al., 2001b; Yakut and Eggleton, 2005). Bu kapsamda kısa dönemli RS CVn örten çiftlerinin UBVRI çokrenk (optik) ve yüksek çözünürlüklü tayf gözlemleri onların manyetik aktivite çevrimlerinin (yıldız lekelerinin) ve ışık eğrisi değişimlerinin incelenmesinde kullanılan önemli araçlardır (örneğin, Berdyugina (2005); Strassmeier (2005); Hall (2008); Butler et al. (2015); Lanza (2010)). Bu tür çiftlerin sahip olduğu en belirgin ışık özellikleri kendisini tayfta artan kromosferik ve fotosferik Güneş bezeri aktivite-kromosferik geçiş bölgesi plajları varlığıyla Ca II ve Mg II çizgileri olarak, görsel bölgede ise flarelerin varlığıyla Ca II H ve K çizgi salması olarak gösterir.

Bu sistemlerde, Güneş-benzeri aktivitenin büyük çoğunluğu kapsamlı konvektif zarfları ile çekimsel olarak çiftleşmiş geri tür bileşenlerin hızlı dönmesinin sonucu olarak yorumlanmaktadır (Pribulla et al., 2003). Sistemlerin tutulma dışındaki ışık eğrisinde, diferansiyel dönme sebebiyle hareket

eden karanlık fotosferik lekelerin sebep olduğu bozulmalar görülürken, bazı sistemlerde parlaklık ve renk değişiminde manyetik alan varlığı manyetik ve açısal momentum uçlaşmasının neden olduğu dönemsel, yarı-dönemsel değişimler görülmektedir (Applegate, 1992; Pribulla et al., 2000, 2003). Aktif çiftlere ilişkin temsili Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Kısa dönemli aktif geri tür bileşenlerden oluşan çift sistemin temsili. Kaynak: Mark Garlick `https://pixels.com/featured/magnetic-binary-star-system-mark-garlickscience-photo-library.html`

Aktivite çevrim dönemi P_{cyc} ile Rossby sayısı $R_o = P_{rot}\ \tau_c$ arasında olası bir ilişki Noyes et al. (1984b) tarafından ele alınmıştır; burada τ_c, konveksiyon bölgesinin tabanına yakın konvektif devir süresidir. Daha sonra Saar and Baliunas (1992), yıldız aktivite döngülerinin dönme döneminin bir fonksiyonu olarak çizildiğinde iki farklı dal oluşturduğunu bildirmiştir; bu gerçek daha sonra Saar and Brandenburg (1999); Böhm-Vitense (2007); Brandenburg et al. (2017) tarafından doğrulanmıştır. Brandenburg et al. (1998), P_{cyc}/P_{rot} oranının ortalama alan dinamo teorisindeki α-etkisi ile orantılı olduğunu bulmuştur. Anakol dışında, evrimleşmiş yıldızlar giderek daha kalın konvektif zarflar geliştirebilir ve böylelikle konvektif devir süreleri artar (Gilliland, 1985). Eş zamanlı olarak, dev yıldızların dönme dönemi ve manyetik frenlemesi nedeniyle de artar (Skumanich, 1972).

Bu sebepten, evrimleşmiş yıldızlardaki aktivite döngülerinin incelenmesi, yıldız aktivitesinden sorumlu dinamo mekanizmalarının anlaşılmasına yardımcı olmalıdır (Martínez et al., 2022).

Ayrık kısa dönemli yakın çift sistemlerde çekimsel kuvvetler ve yıldız rüzgarı ile açısal momentum kayıpları çift evriminin en önemli faktörleri arasındadır. Yıldız rüzgarı ile çekimsel kuvvetlerin etkileşimi, bu tür sistemlerde ayrık bileşenleri fiziksel olarak değen konumuna iten bir mekanizma olarak görülmektedir (Nanouris et al., 2007). Geri tür bileşenli bu çiftlerin dönem değişimlerinde (O–C diyagramları) sabit bir oranda bir dönem azalması beklenmektedir (Nanouris et al., 2007). Bu objelerde kütle transfer süreçleri, açısal momentum kayıp süreçleri (ya da transferi), çekimsel etkiler, manyetik aktivite gibi süreçlerin ele alınması yıldız evrimini araştırma olanağı sunmaktadır. Yıldız evrimi hakkında bilgi sağlayan kütle, yarıçap, ışıtma, kimyasal bolluk gibi temel parametrelerin iyi belirlenmesi de evrim hakkında daha doğru bilginin sağlanmasında etkilidir (Yakut and Eggleton, 2005).

Bilindiği gibi kısa dönemli güçlü aktivite sergileyen çift sistemlerin çokrenk ışık değişimlerinin incelenmesi bileşen yıldızların sahip olduğu evrimsel süreçler hakkında bilgi edinmeye olanak sağlamaktadır. Bu tür sistemlerin çokrenk ışık eğrileri ve ölçülmüş dikine hız eğrilerinden çift sistemlerin yörünge ve fiziksel parametrelerinin elde edilmesi ve buradan elde edilen parametreler ile yıldız evrim modelleri ile evrime etki eden astrofiziksel süreçlerin hem gözlemsel hem kuramsal değerlendirilmesi mümkündür. Bu bağlamda, bu tür kısa dönemli aktif çift sistemlerin evrimini daha iyi anlamak hem de örten bir çift olması durumunda sistemin fiziksel parametrelerini elde ederek gözlem ve teorinin testini sağlamak hedeflenmiştir. Böyle aktif bileşenlerin evrim sürecini anlamak, özellikle geri tür bileşene sahip küçük kütleli X-ışın çiftlerinin korunumsuz evrim aşamalarındaki boşlukları doldurmamıza yardımcı olacaktır. Yukarıda sözü edilen temel problemleri irdelemek için tez çalışmasında üç kısa dönemli ayrık örten çift sistem ele alınmıştır: RT And (bkz. Bölüm 2.2), XY UMa (bkz. Bölüm 2.3), CG Cygni (bkz. Bölüm 2.4). Hedef aktif örten çiftlerin temel parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Tez çalışması kapsamında seçilen kısa dönemli aktif çift sistemlerin temel parametreleri.

	RT And	XY UMa	CG Cyg
TIC ID	252737605	287095354	
2MASS	J23111009+5301330	J09095593+5429176	
Gaia ID	1995525922664199296	1023682919309621632	1866704219781935360
α_{2000}	$23^h\ 11^m\ 10^s.0984$	$09^h\ 09^m\ 55^s.9354$	$20^h\ 58^m\ 13^s.4532$
δ_{2000}	$53^\circ\ 01'\ 33''.0313$	$54^\circ\ 29'\ 17''.7241$	$35^\circ\ 10'\ 29''.6726$
B	$9^m.58$	$10^m.24$	$10^m.95$
V	$9^m.04$	$9^m.41$	$10^m.11$
Tayf türü	F8V+G0-K1-3V	G3V+K5V	G9.5V+K3V
Dönem (gün)	0.628	0.479	0.631
$\pi_{\rm Gaia}$(mas)	10.1028	14.7223	10.2392

2.2 Aktif Örten Çift Sistem RT Andromedae

Kısa dönemli örten bir çift olan RT And (BD +52 3383a, α: $23^h\ 11^m\ 10^s$, δ: $+53^\circ\ 01'\ 33''$) sahip olduğu yüksek düzey aktivitesi ve flare sebebi ile hızlı dönmeye bağlı artan manyetik etkileri ile ayrık kısa dönemli RS CVn türü sistem olarak sınıflandırılmaktadır (RS CVn; Hall (1976)). Tayf türü F8V+G0-K1-3V olan iki anakol bileşenden oluşan (Payne-Gaposchkin, 1946) çiftin yörünge dönemi 0.62893 gündür. Örten çift sistem RT And'ın ışık değişiminin değişkenliği 20. yüzyılın başlarında tespit edilmiştir (Deichmüller, 1901). Sistemin ilk ışık eğrisi Zinner (1915) tarafından yayınlanmış fotoğrafik ışık eğrisi Jordan (1929) daha sonra Payne-Gaposchkin (1946) tarafından elde edilmiştir (Pribulla et al. (2000) ve içindeki referanslar). İlk fotoelektrik ışık eğrisi 1947-1950 yılları arasında Gordon (1948, 1955) tarafından elde edilmiş, sonuç ışık eğrisinde geceden geceye ve yıldan yıla değişkenlik gözlenmiş ve birinci minimumun tahmin edilen evreden önce gözlendiği belirtilerek ikinci minimumun belirgin bir asimetri gösterdiği bulunmuştur. Bu değişimler tekrar UBV fotoelektrik gözlemleri ile Dean (1974) tarafından 1962 ve 1964 de bulunarak, Mancuso et al. (1979a) tarafından da doğrulanmıştır.

Miliano et al. (1981); Mancuso et al. (1979c) tarafından 1978 yılına kadar elde edilen tüm mevcut RT And fotoelektrik ışık eğrileri ve O-C eğrisi ile birlikte ele alınmış ve O-C eğrisi sonuçları incelenerek manyetik aktivite döngüsüne eşit leke kaynaklı 22 yıllık ve 44 yıllık çevrimsel bir değişim gösterdiği öne sürülmüştür. RT And'ın ışık eğrilerinde görülen dalga biçimi bozulmalar farklı yazarlar tarafından (Zeilik et al. (1989b); Heckert (1995); Heckert et al. (1996); Heckert (1998); Pribulla et al. (2000) ve Kjurkchieva et al. (2001)) çevrimsel lekelerin varlığı ile açıklanmıştır. Arevalo et al. (1995) sistemin IR ışık eğrilerini analiz etmiş, bileşenlerin yüzey sıcaklıklarını elde etmiş ve bu tayfsal aralıktaki parlaklık değişkenliğini fotosferik karanlık lekelere atfederek doğrulamıştır. Yakut (2001) ise ışık eğrisi analizi sonucu sıcak yıldızın yüzeyindeki lekelerin genellikle 90° ve 250° aktif boylamlarında toplandığı sonucuna varmıştır. RT And'ın daha önceki fotometrik çözümlerinde, özellikle yörünge eğimi (i açısı) için elde edilen sonuçların iki farklı değer civarında kümelendiği görülmektedir: 82 dereceye yakın (Payne-Gaposchkin, 1946; Mancuso et al., 1979c; Wang and Lu, 1993; Kjurkchieva et al., 2001) ve 88 dereceye yakın (Dean, 1974; Dumitrescu, 1974; Miliano et al., 1981; Budding and Zeilik, 1987; Zeilik et al., 1989b; Heckert, 1998). İkinci minimumdaki tutulma profiline bağlı olarak yüksek değerdeki i açısı tercih edilmiştir (Arevalo et al., 1995; Pribulla et al., 2000).

Son dönemlerde Zhang and Gu (2007), sistemin BVRI ışık eğrilerinin analizini yaparak ışık eğrisi üzerinde hem kısa-hem de uzun dönemli değişimleri gözlemiş ve 6.69 yıllık bir aktivite çevrimi uzunluğu bularak aktif bölgelerin evrimini tartışmıştır. RT And'ın tayfsal gözlemleri ile birlikte her iki bileşenin dikine hız eğrisi (RV) ilk olarak Payne-Gaposchkin (1946) tarafından elde edilmiş ve bileşenlerin tayf türlerini G0V ve K1V olarak belirlenmiştir. Daha sonraki tayfsal veriler Wang and Lu (1993) ve Popper (1994) tarafından elde edilmiştir. Popper (1994) tarafından 1989 ve 1993 yılları arasında ölçülen ve Kjurkchieva et al. (2001) tarafından ele alınan H_α ve FeI 6678 $\AA$ çift çizgi profilinden elde edilen maksimum dikine hızlar sırasıyla K_1=135.4 $\pm$ 0.6 km/s, K_2=185.1 $\pm$ 1.0 km/s, K_1=130 km/s K_2=175.8 km/s olarak belirlenmiştir.

Budding et al. (1982) tarafından Kromosferik aktiviteye bağlı Mg II h ve k çizgilerinde ve Arévalo and Lázaro (1999) tarafından birincil bileşen üzerindeki aktif bölgeler ile ilişkili olarak evreye bağlı salma H_α, H_β ve Ca II çizgileri saptanmıştır.

Yüzyılı aşkın gözlemsel veriye ve hakkında çok sayıda yayına sahip olan RT And sistemi son dönemlerde Pribulla et al. (2000); Yakut (2001); Erdem et al. (2001); Nanouris et al. (2007); Zhang and Gu (2007); Jableka et al. (2012) gibi farklı yazarlar tarafından ele alınmıştır. Sistemin bazı yörünge ve fiziksel parametreleri sırasıyla Pribulla et al. (2000) tarafından; i=87.57 $\pm$ 0.11 derece, K_1=131.9 km/s, K_2=178.8 km/s, T_1=5900K, T_2=4651K, M_1=1.128$M_\odot$, M_2=0.832$M_\odot$, q=0.7374 ve Kjurkchieva et al. (2001) tarafından; i=82 $\pm$ 0.1 derece, K_1=130 km/s, K_2=175.8 km/s, T_1=6150K, T_2=4920K, M_1=1.23$M_\odot$, M_2=0.91$M_\odot$, q=0.74 olarak elde edilmiştir.

RT And sisteminin dönem değişimi ilk olarak Wood and Forbes (1963) tarafından ele alınmış ve dönemde bir azalama tespit edilmiştir, Williamon (1974) ise bu azalmayı anlık kütle değişiminin neden olduğu iki dönem sıçraması olarak yorumlamıştır. Albayrak et al. (1999) ve Borkovits and Hegedues (1996) ise bir veya birden fazla cismin varlığından kaynaklanan ışık-zaman etkisiyle (LITE) bu uzun dönemli yörünge azalmasını açıklamıştır. Pribulla et al. (2000) ve Erdem et al. (2001) tarafından yörünge değişiminin olası nedenleri ise 3×10^{-9} $M_\odot$/Milyaryıl oranında sistemden gerçekleşen kütle kaybı, kütle transferi ya da manyetik frenlemeye bağlı dönemde azalma, düşük-kütleli bir üçüncü cismin (0.6 $M_\odot$ ve 105 yıllık bir dönem ya da daha fazla bileşen) varlığı, 65 yıl uzunluğunda bir manyetik aktivite çevrimi olarak yorumlanmıştır. RT And aynı zamanda $L_X = 1.3\times 10^{30}$erg/s'lik ışıtması ile bir X-ışın kaynağıdır (Dempsey et al., 1993). Daha ziyade inaktif bir sistem olarak yorumlanan RT And'ın fotometrik dalga genliği genellikle yüksek yörünge eğikliğine karşın $0^m.05$'den daha düşüktür (referanslar için bakınız Pribulla et al. (2000); Kjurkchieva et al. (2001).

Oldukça parlak bir sistem olan RT And'ın HIPPARCOS ile elde edilen paralaks değeri ve uzaklığı sırası ile π=13.3 $\pm$ 1.1 mas (Popper, 1998), d=75 $\pm$ 6 pc olarak verilirken sistemin uzaklığı yıldızlararası soğurmanın olmadığı koşulda d=83 $\pm$ 2 pc olarak yorumlanmaktadır (Pribulla et al., 2000).

2.2.1 RT And Çift Sistemine ilişkin Elde Edilen Yeni Gözlemler

Yaklaşık bir asırlık ışık değişimi bilinen örten çift sistem RT And'ın bu tez çalışması kapsamında uzun ve kısa dönemli çokrenk (UBVRI) gözlemleri Ege Üniversitesi Gözlemevinde (EUO) 2006 ve 2012 yıllarında T40 teleskobu ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde (TUG) 2016-2020 yılları arasında T60 ve T100 teleskopları ile elde edilmiştir. Sistemin kısa dönemli EUO gözlemleri 5 gece boyunca; 28-29 Kasım, 13-14 Aralık 2006 ve 22 Temmuz 2012 tarihlerinde Apogee CCD 2048 X 2048 ye sahip 40cm teleskop ile yapılmıştır. Bessell B, V, R, I bandlarında 0.5 ile 20 sn arasında değişen poz sürelerinde incelenmiştir.

Sistemin kısa dönemli TUG-T100 gözlemleri ve uzun dönemli T60 gözlemlerinin takibi sırasıyla 1341 ve 1298 nolu gözlem projeleri kapsamında yapılmıştır. T100 gözlemleri 2018 yılı içerisinde 8 gözlem gecesi; 14 Haziran, 20-21 Ağustos, 9-10 Eylül, 8-9 Ekim, 8 Aralık tarihlerinde Bessell B, V, R, I bandlarında 0.5 ve 20 sn arasında değişen poz sürelerinde yapılmıştır. Toplam 3691 gözlem noktası elde edilmiştir. Sistemin ayrıca T100 teleskobu kullanılarak 20-21 Agustos ve 8 Aralık tarihlerinde üç yeni minimum zamanı elde edilmiştir. Robotik T60 teleskobu ile 2016 yılında gözlemlerine başlanan sistemin takibi 2020-C gözlem döneminde sonlanmıştır. RT And'ın uzun dönemli gözlemleri Bessell U, B, V, R bandlarında 1, 5, 20 ve 60 sn de ele alınmış ve toplam 3.299 gözlem noktası elde edilmiştir.

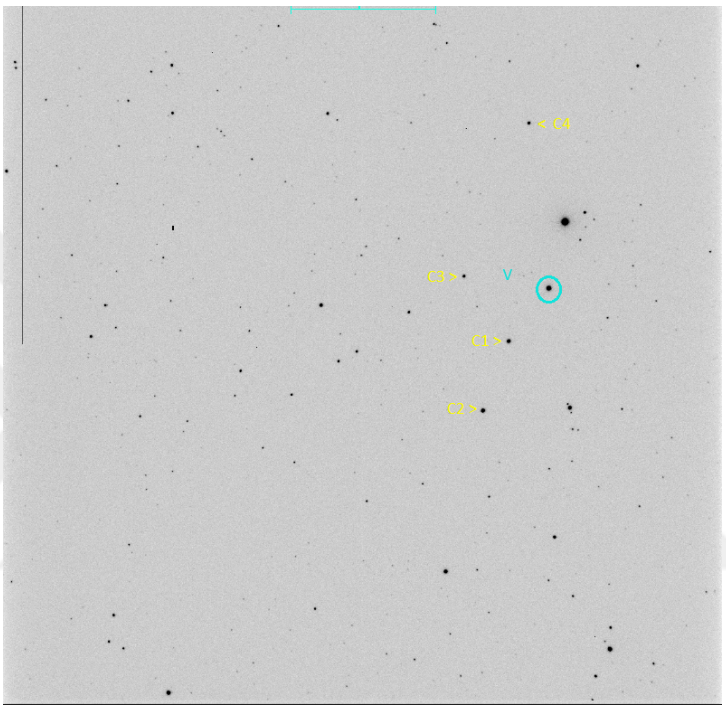
Yeni elde edilen gözlemlerin indirgenmesi sırasında sistem için daha önce literatürde de kullanılan HD 236062, HD 236063, TYC 3998-2231-1 ve TYC 3998-2343-1 yıldızları mukayese olarak kullanılmıştır. Değişen yıldız ve kullanılan mukayese yıldızlarına ilişkin koordinat, parlaklık ve tayf türü bilgisi Tablo 2.2'de ve T100 teleskobuyla elde edilmiş CCD görüntü alanı Şekil 2.2'de verilmiştir.

Yapılan gözlemlerin indirgenmesi sırasında TUG-T100 ve EUO-T40 gözlem verileri her bir gözlem gecesi kendi içerisinde, TUG-T60 verileri ise her bir gözlem dönemi (3'er aylık dönemler) dikkate alınarak ele alınmıştır. Elde edilen gözlemlerin uygun bias, dark ve flat görüntüleri kullanılarak fark fotometrisi (V-C) yöntemi ile indirgemeleri ve zaman düzeltmesi (Koçak et al., 2021; Çokluk et al., 2019; İçli et al., 2013) yapılmıştır. İndirgeme sırasında IRAF/APPHOT paketi ve AstroImageJ (AIJ; Collins et al. (2017)) Programı kullanılmıştır. Yeni elde edilen TUG gözlem sonuçları ve ışık değişimleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bu yeni gözlemler ile elde edilen beş yeni minumum zamanı daha önce literatüde yayınlanmış ve toplanmış minimum zamanları ile birleştirilmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında sisteme ilişkin TESS uydu veri setleri de kullanılmış ve toplamda 47 adet yeni minimum zaman elde edilmiştir. Tablo 2.3'de sisteme ilişkin fotoelektrik minimum zamanları listelenmiştir.

RT And çift sisteminin TUG teleskoplarıyla elde edilen uzun ve kısa dönemli yeni fotometrik gözlemlerinin yanı sıra sistemin literatürde çok sayıda ışık eğrisi mevcuttur. Bu kapsamda sisteme ait 42 ışık eğrisi toplanmıştır. Değişen optik bandlardaki ışık eğrileri normalize edilerek Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu ışık değişimlerini dikkatli incelediğimizde örneğin, farklı yıllarda elde edilmiş 9, 18, 19, 21, 30 nolu ışık eğrilerine baktığımızda maksimum I ve maksimum II arasında gözle görülebilecek belirgin bir seviye farkı görülmektedir. Maksimumlardaki bu seviye farklılığına sebep olan yıldız aktivitesi kaynaklı O'Connell etkisinden sözetmek mümkündür. Bu seviye farkları yıldız aktivitesinin etkinliği hakkında bilgi verdiği kadar sistemden madde atımlarının dolaylı bir göstergesidir.

Tablo 2.2: RT And çift sisteminin gözlem indirgemesinde kullanılan mukayese yıldızların bilgileri `https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/sim-fbasic`.

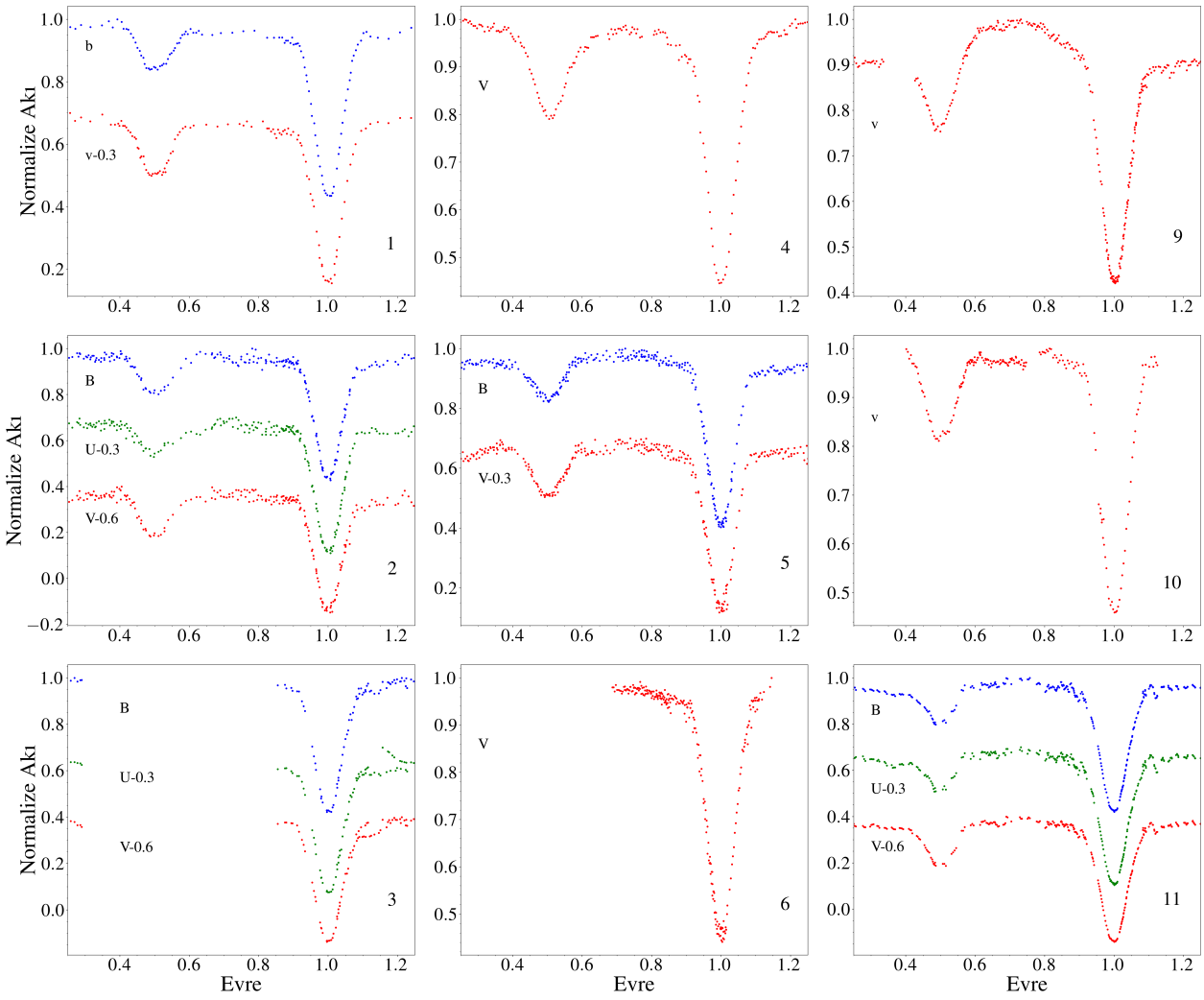
TYC 3998-	α/δ	B	V	Tayf Türü
2167-1	$23^h\ 11^m\ 10^s.09\ +53°\ 01'\ 33''.03$	$9^m.58$	$9^m.04$	F8V+G0-K1-3V
2415-1	$23^h\ 11^m\ 17^s.88\ +52°\ 59'\ 59''.23$	$10^m.18$	$10^m.01$	A3
1794-1	$23^h\ 11^m\ 22^s.86\ +52°\ 57'\ 56''.50$	$10^m.19$	$9^m.75$	A3
2231-1	$23^h\ 11^m\ 26^s.65\ +53°\ 01'\ 53''.31$	$12^m.40$	$10^m.97$	
2343-1	$23^h\ 11^m\ 14^s.02\ +53°\ 06'\ 23''.58$	$11^m.34$	$11^m.41$	



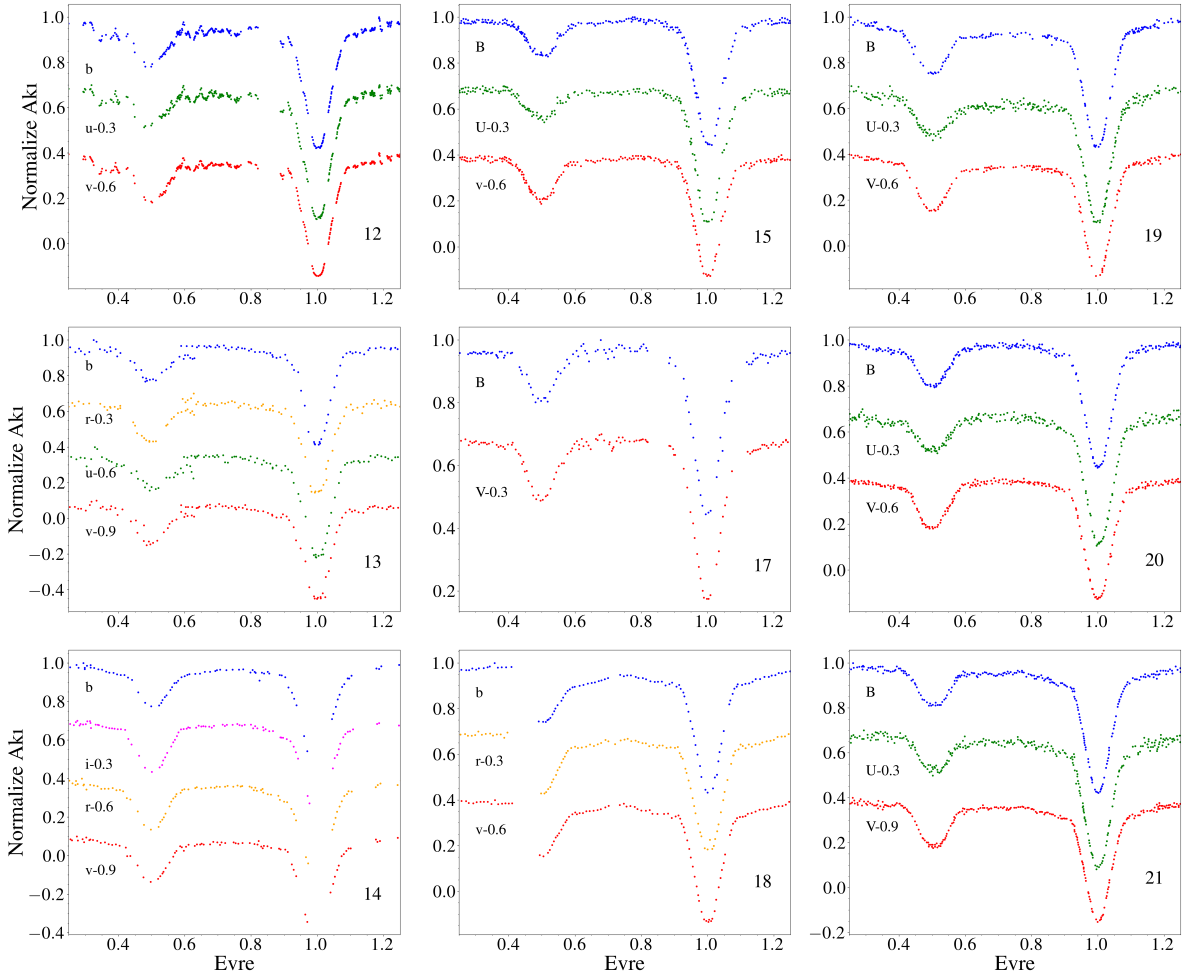
Şekil 2.2: RT And çift sisteminin TUG-T100 teleskobuyla elde edilen CCD alan görüntüsü. Değişen yıldız ve kullanılan mukayese yıldızları işaretlenmiştir.

Bununla birlikte, RT And çift sisteminin ASAS-SN, AAVSO, OMC, SuperWASP gibi gökyüzü tarama programı veri setlerinin yanında TESS (Ricker et al., 2015) (TIC 252737605) ile sektör 16, 17 ve 57 veri setleri de mevcuttur. TESS'in bu sektörlerinin ham gözlemleri AIJ programı yardımıyla indirgenmiş ve ışık eğrileri elde edilmiştir. TESS veri setleri diğer mevcut ışık eğrileri ile birlikte Şekil 2.8 (a)'de verilmiştir. Sisteme ilişkin yörünge ve fiziksel parametleri belirlerken yeni elde edilen TUG ve TESS gözlemleri kullanılmıştır.

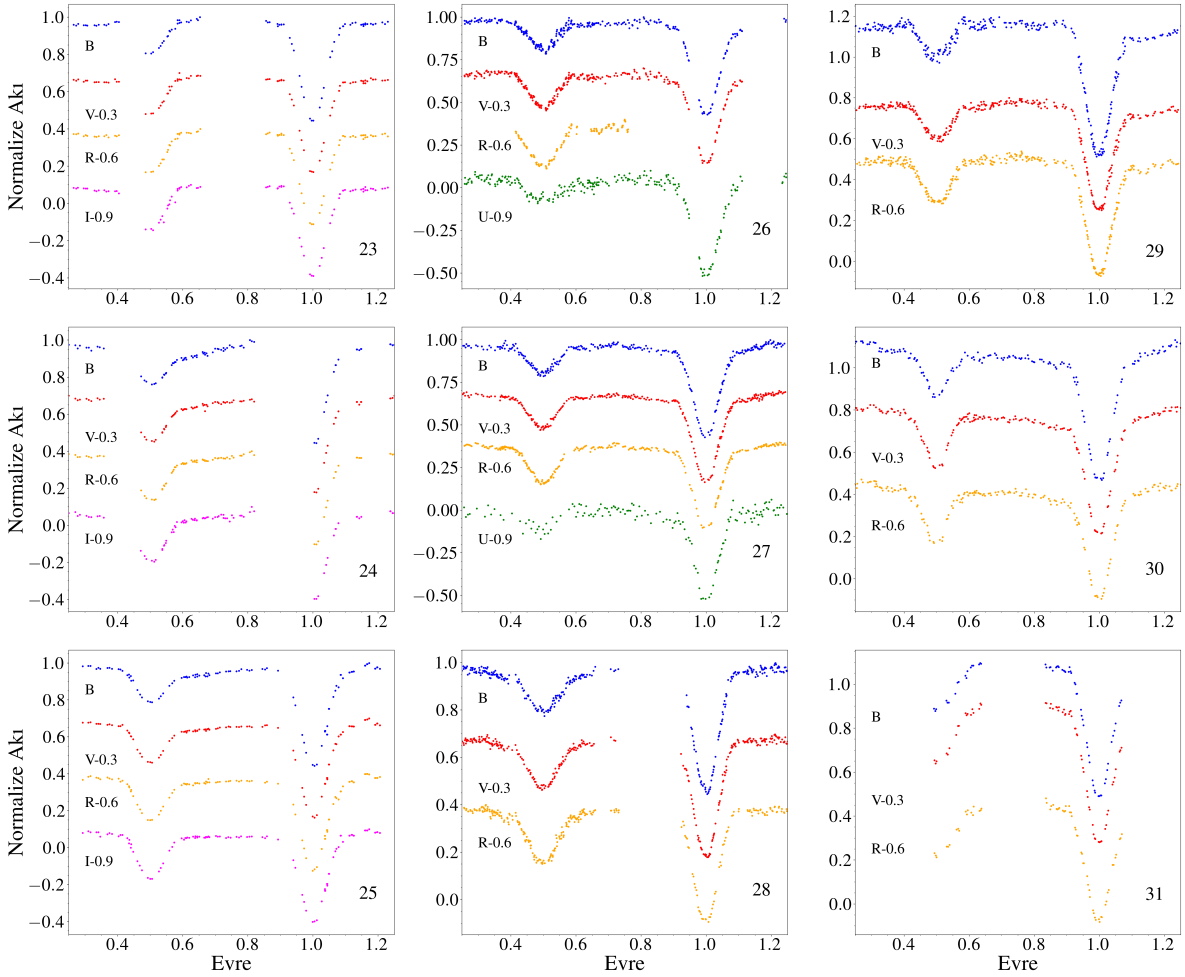
Sonraki çalışmalarımızda Şekil 2.3'te verilen tüm ışık eğrileri kullanılarak yıldızların yüzeylerindeki homojen olmayan yapıların (soğuk ve sıcak bölgeler) modellenmesi ve olası leke enlem ve boylamlarının ortaya konması hedeflenmektedir. Ancak, bu çalışma kapsamında kısa dönemli aktif ayrık çift sistemlerin geri tür bileşenlerinin sahip olduğu korunumsuz kütle kayıplarını anlamaya ve evrime olan etkilerini araştırmaya odaklanılmıştır. Bu tür aktif çift sistemlerin uzun dönemli ışık değişimlerinin takibi mevcut aktivite döngülerinin yanı sıra bileşenlerden ve dolayısıyla sistemden gerçekleşen kütle kayıplarını da tespit etmemize olanak sağlamaktadır.



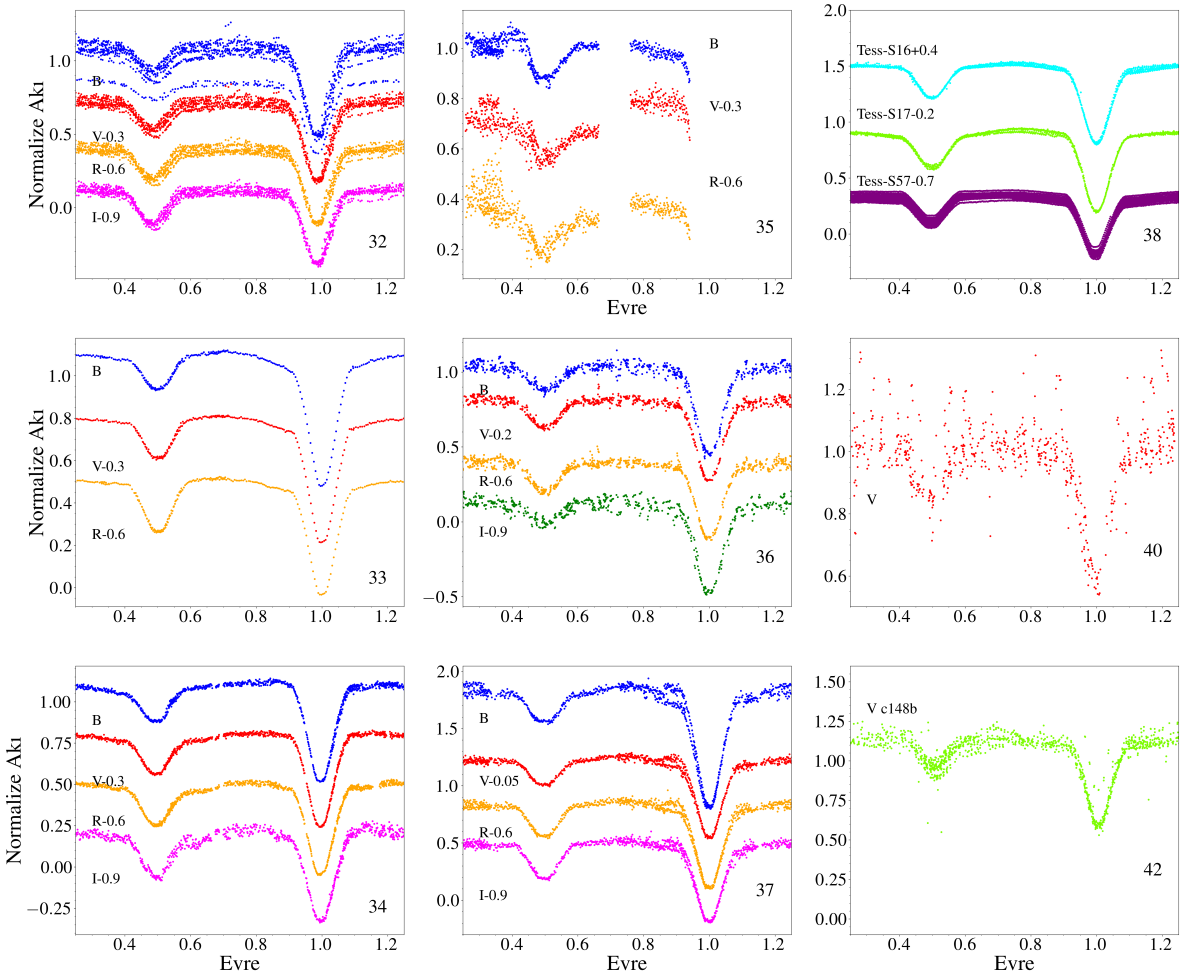
Şekil 2.3: RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrileri.



Şekil 2.3: RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrilerinin devamı.



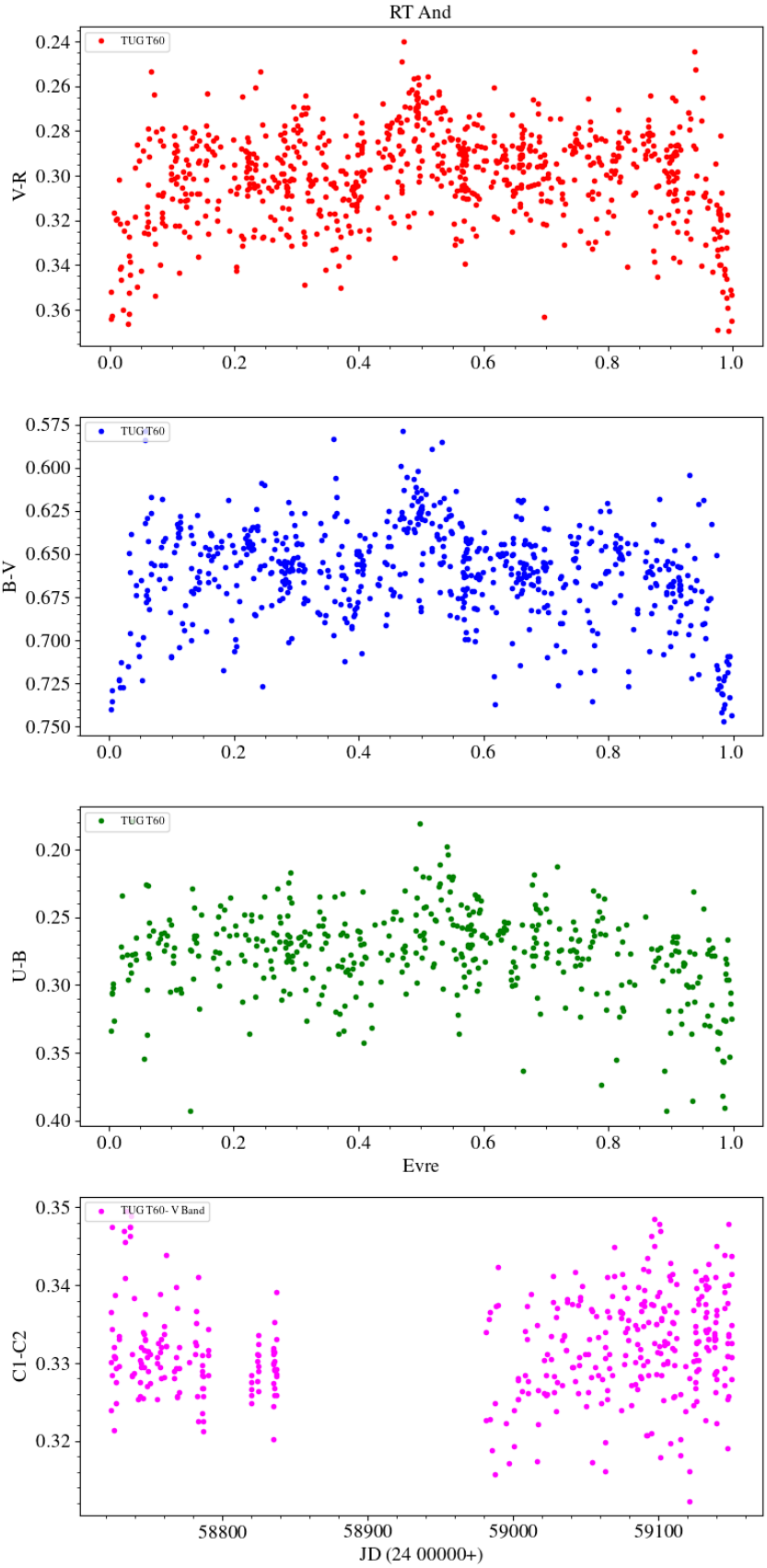
Şekil 2.3: RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrilerinin devamı.



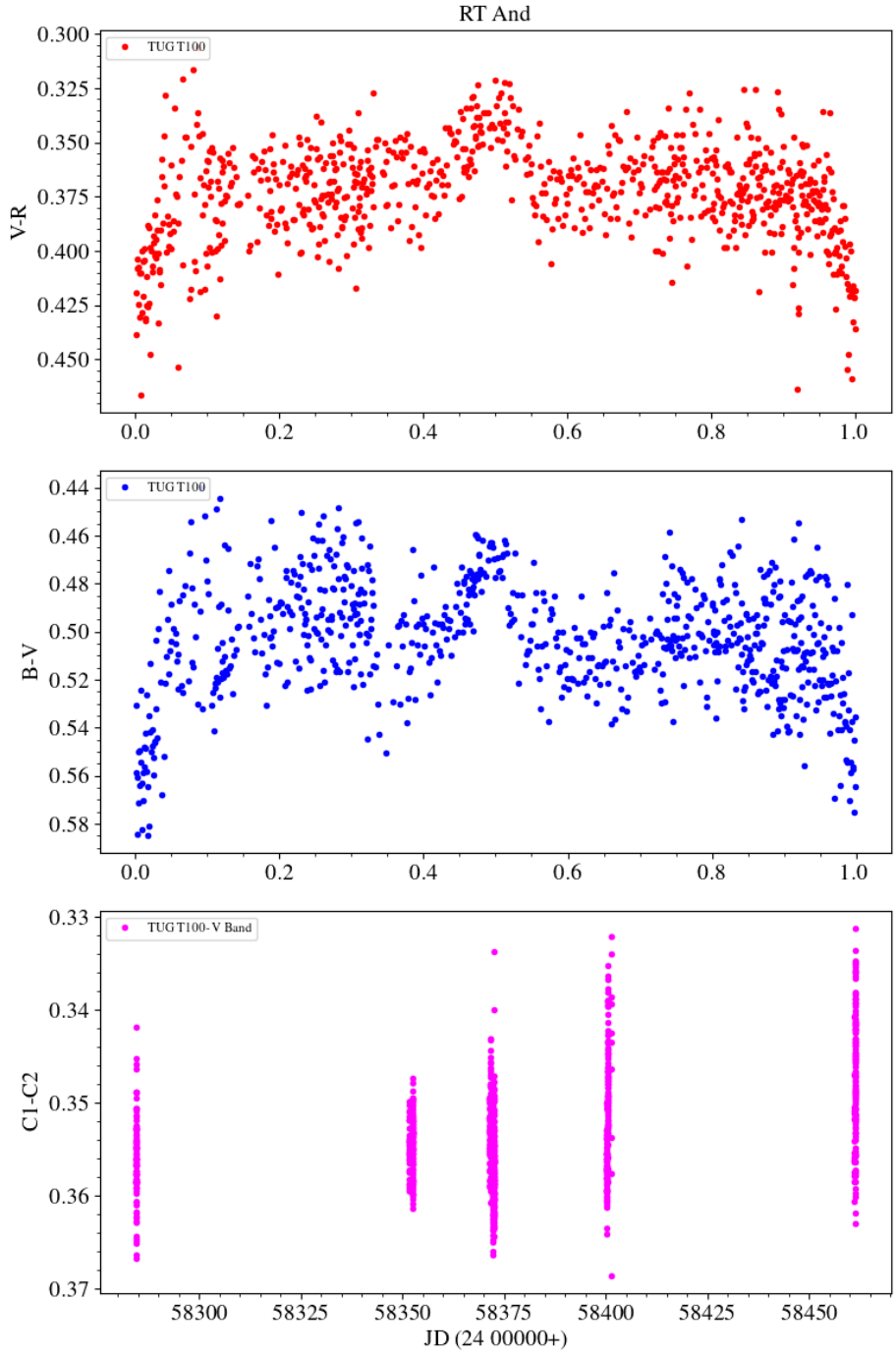
Şekil 2.3: RT And sistemine ilişkin tüm ışık eğrilerinin devamı.

Şekil 2.3'te RT And çift sisteminin verilen ışık eğrileri için kaynaklar: 1-Gordon (1955);2 ve 3-Dean (1974);4- Dumitrescu (1973); 5-Murnikova and Lemeshchenko (1981); 6,7,8,9 ve 10- Mancuso et al. (1979a); 11-Mancuso et al. (1979c); 12- Milano et al. (1986); 13-Zeilik et al. (1982); 14-Zeilik et al. (1988);15- Dapergolas et al. (1991);16-Zeilik et al. (1989a);17-Dapergolas et al. (1991); 18-Gordon et al. (1990); 19-Dapergolas et al. (1991); 20-Dapergolas et al. (1992); 21-Dapergolas et al. (1994); 23-Heckert (1995);24-Heckert et al. (1996);25-Heckert (1998);26, 27 ve 28-Pribulla et al. (2000); 29, 30 ve 31-Yakut and Ibanoglu (2000); 32-Heckert (2012); 33-Zhang and Gu (2007); 34-Kjurkchieva et al. (2001); 35-Ege Gözlemi (2006 ve 2012); 36- Bu çalışma (TUG-T60); 37- Bu çalışma (TUG-T100); 38- TESS (S16, S17 ve S57); 39-AAVSO; 40- ASAS-SN; 41- OMC; 42- SuperWASP. Gözlemlerinin yetersiz veri setine sahip olması nedeniyle numaralandırılmış bazı ışık eğrileri burada gösterilmemiştir.

Aktif yakın çift sistem RT And'ın TUG T60 ve T100 sonuçları ile U-B , B-V ve V-R renk ölçekleri ve standart fark fotometrisinde kullanılan mukayese yıldızlarının V bandındaki parlaklık farkı (C1-C2) Şekil 2.4'te ve Şekil 2.5'te verilmiştir. Yapılan gözlemler dikkate alındığında mukayese yıldızlarının önemli bir değişim sergilemedikleri görülmüştür. Sistemin hem T100 hem de T60 gözlemlerinde elde edilen çokrenk fotometrinin renk indeksleri (U-B, B-V, V-R) incelendiğinde maksimum evrelerde küçük dalgalanmalar görülmektedir, minI evresinde parlaklıkta düşme görülürken minII evresinde parlaklıkta artma görülmüştür. Bu da bize bileşen yıldızların yüzeyinde farklı aktivite süreçlerinin gerçekleştiği hakkında ipucu vermektedir. Bir sezon boyunca yapılmış olan T100 gözlemleri (Şekil 2.5) bu durumu daha güçlü bir şekilde göstermektedir.



Şekil 2.4: RT And'ın TUG-T60 teleskobuyla elde edilen U-B, B-V ve V-R renk ölçeği diyagramları ve V bandındaki C1-C2 mukayese yıldız değişimi (en alt panel).



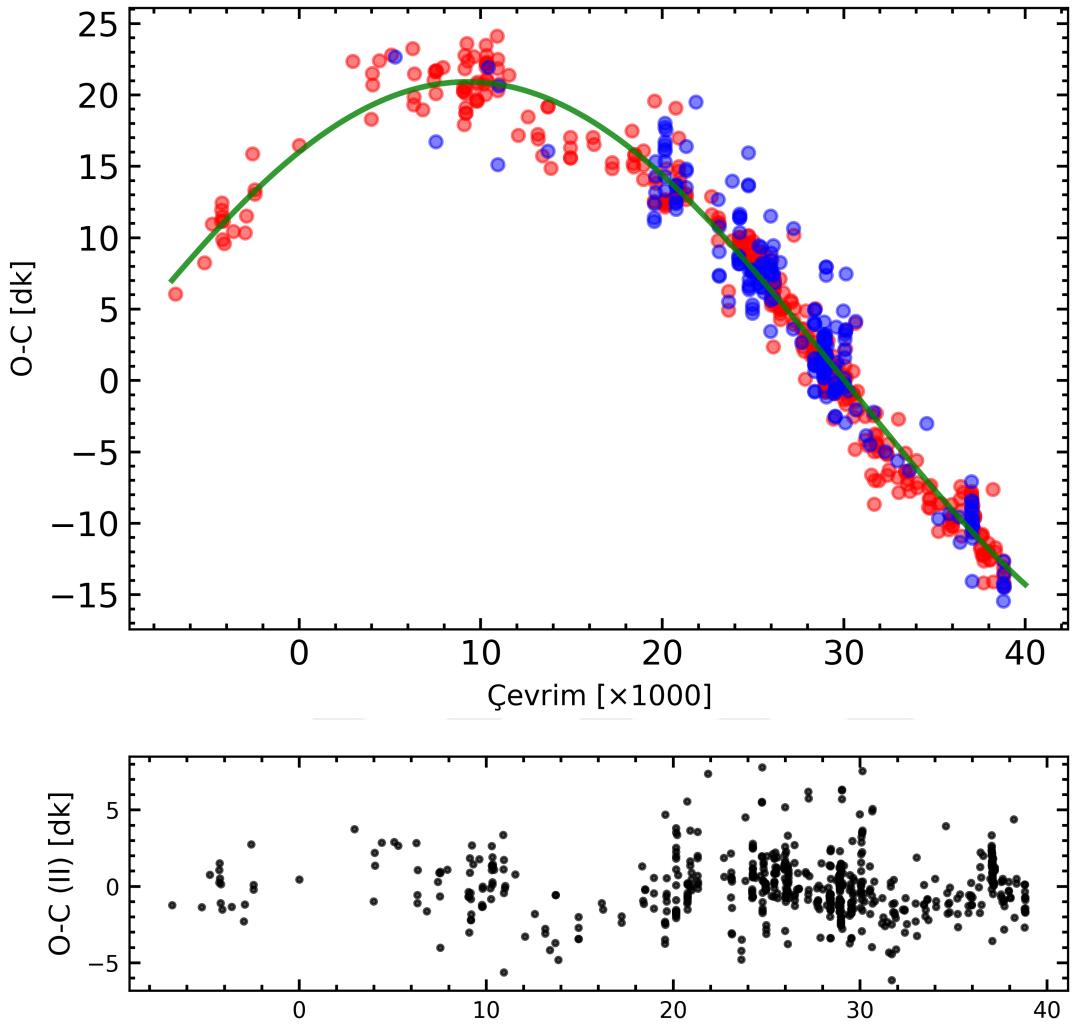
Şekil 2.5: RT And'ın TUG-T100 teleskobuyla elde edilen B-V, V-R ve R-I renk ölçeği diyagramları ve V bandındaki C1-C2 mukayese yıldız değişimi (en alt panel).

2.2.2 Dönem Değişim Analizi

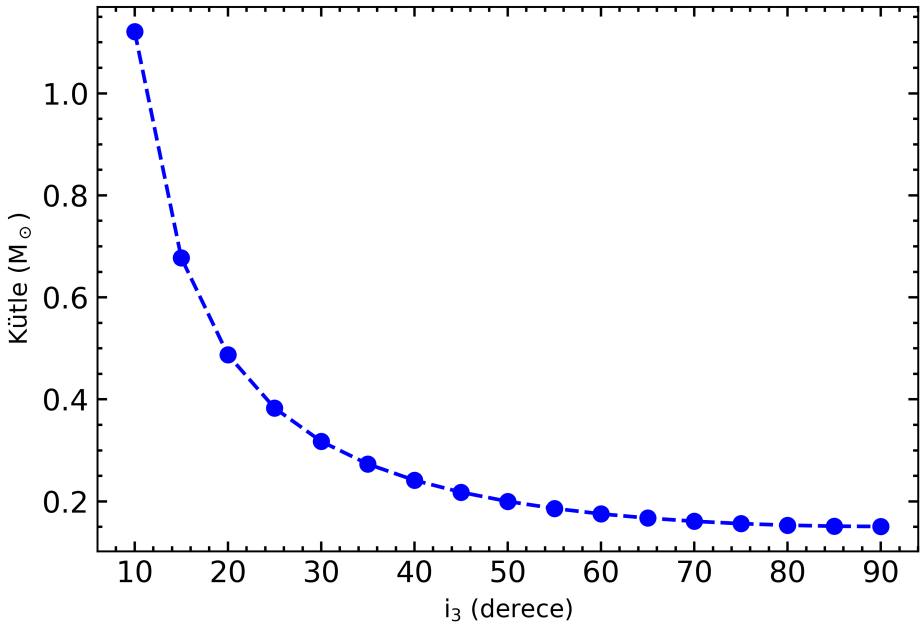
RT And sistemi uzun yıllara yayılmış minimum zamanlarına sahiptir. Bu çalışmada yeni elde edilen TUG, EUO ve TESS gözlemlerinden çok sayıda minimum zaman hesaplanmıştır. Buna ek olarak, bazı tarama programlarından (SuperWASP, AAVSO) bulunan ışık eğrilerine ait minimum zamanları da bu çalışma kapsamında elde edilmiştir. Literatürde yayınlanan ve elde etiiğimiz tüm minimum zamanları biraraya getirilmiş ve Tablo 2.3'de listelenmiştir. Dönem değişimi analizi için Irwin (1952) tarafından formülize edilen yöntem kullanılarak Matlab dilinde yazılan kod (Zasche et al., 2009) kullanılmıştır. Dönem değişim analizi (O-C) sistemin tüm gözlenen minimum zamanları dikkate alınarak yapılmıştır.

Dönem değişim analizi sırasında hem görsel hem fotoğrafik hem de fotoelektrik yöntemler ile elde edilmiş tüm minimum zamanları kullanılmış farklı çözüm versiyonları oluşturulmuştur. Sonuç olarak, en güvenilir gözlemler olan fotoelektrik minimum zamanları ve TESS veri setleri kullanılmıştır. Fotoelektrik gözlem noktaları 5 ve TESS gözlem noktaları ise 10 ile ağırlıklandırılarak dönem değişim analizi çalışması yapılmıştır. Dönem değişim analizi ile elde edilen sonuçlar Tablo 2.4'te verilmiş ve bu parametreler kullanılarak elde edilen sentetik model gözlem noktaları ile birlikte Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Şekil 2.6'daki (O-C) diyagramında 40 dakika genlikli belirgin bir değişim olduğu açıktır. RT And ayrık bir çift sistem olduğundan kütle transferi beklenmemelidir. Bu nedenle, kütle transferi olarak yorumlanabilecek Şekil 2.6'da görülen parabolik değişim yerine parametreleri Tablo 2.4'te verilen üçüncü bir cismin varlığında beklediğimiz sinüs benzeri bir değişimin parçası olmalıdır. Sistemde bulunan üçüncü cismin yörüngesinin eğimine (i_3) bağlı olarak alabileceği kütleler Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Buna göre, üçüncü bileşenin sahip olabileceği minimum kütle 0.15 $M_\odot$'dır.



Şekil 2.6: RT And çift sisteminin (O-C) diyagramı ve analizi sonucu elde edilen model. Üst panel üçüncü cisim varlığı durumunda elde edilen model ve gözlem noktalarını (baş minimum (kırmızı), yan minimum (mavi)) göstermektedir. Alt panel üçüncü cismin etkisi çıkarıldığında kalan artıkları göstermektedir.



Şekil 2.7: RT And sisteminin yörüngesinde bulunan üçüncü cismin farklı yörünge eğimi açısı altında sahip olabileceği kütleler.

Şeklin alt panelindeki O-C artıklarına bakıldığında ((O-C) II) hala küçük genlikli ve kısa dönemli bir değişim daha olduğu görülmektedir. Bu da yıldız aktivitesinin bir sonucu olarak yörünge dönemine yansıyan çevrimsel değişimlerin varlığına ve/veya dördüncü bir cisimin olduğuna işaret eder. Bu varsayımlar altında, RT And çift sisteminin dörtlü bir sistem olma olasılığını dikkate alarak çözüm yaptığımızda çiftin yörüngesine yakın iç yörüngede dolanan 12.3 yıllık döneme sahip üçüncü cisim ve dış yörüngede 217 yıllık dönem ile dolanan bir dördüncü cisim elde edilmiştir.

Tablo 2.3: RT And çift sistemine ilişkin baş ve yan minimum zamanları (HJD*=HJD - 2400000).

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
31175.85600	21	41230.56750	1	46298.48070	1	48511.36960	1	50708.53320	21
32175.85600	15	41232.45360	1	46298.48100	21	48512.31230	1	50708.53328	23
32443.78200	1	41261.38750	1	46988.41860	1	48512.31240	1	50708.53330	1
32758.87600	1	41300.38030	1	47015.46100	1	48512.31260	1	50708.53340	2
32763.90800	1	41508.55630	1	47044.39160	1	48514.51310	1	50708.53357	23
32775.85800	1	41598.49110	1	47082.75690	21	48514.51370	1	50708.53360	21
32787.80700	1	41598.49120	21	47082.75694	1	48514.51430	1	50709.47570	21
32804.78700	1	41619.24580	1	47381.49740	1	48600.36290	1	50709.47570	23
32821.76900	21	41627.42270	21	47381.49810	1	48600.36390	1	50709.47720	2
32865.79300	1	41627.42280	1	47381.49880	21	48600.36410	1	50709.47790	21
33175.85600	1	41886.54180	1	47756.33850	1	48600.36550	1	50709.47792	23
33587.80500	1	41905.40920	1	47758.53900	1	48646.27460	1	50709.47800	1
33627.42840	1	41924.27950	1	47759.48320	1	48646.27480	1	50709.47810	21
33837.49400	1	41932.45450	21	47760.42560	1	48646.27510	1	50794.69642	13
33918.62400	1	41932.45470	1	47763.57110	1	48646.27540	1	50964.50730	1
33920.51100	1	41947.54900	1	47770.80880	21	48858.53880	1	51015.45140	2
35454.47310	1	41947.54940	21	47803.50940	21	48858.53960	1	51015.45144	21
37312.33600	21	41952.57960	1	47806.33890	1	48858.53970	1	51016.39726	21
37958.87310	1	41952.57970	21	47806.33970	1	48858.54080	1	51016.39730	2
37987.80610	1	41956.35400	1	47806.34040	1	48861.36840	1	51021.43030	2
37999.75520	1	41956.35410	21	47817.34560	1	48861.36860	1	51032.43140	2
38227.42900	1	42011.38520	1	48125.52010	1	48861.36870	1	51036.51890	2
38651.32800	1	42317.36110	1	48125.52020	1	49200.68080	21	51041.54940	21
38778.68620	1	42329.30920	1	48125.52030	1	49734.32320	1	51041.54950	21
39390.32090	1	42330.56750	1	48125.52040	1	49750.67449	13	51041.54960	1
39422.39360	1	42338.42400	1	48126.46430	1	49972.37300	1	51041.54990	21
39429.31220	1	42339.37100	1	48126.46570	1	49973.31440	1	51066.39350	21
39441.26300	1	42367.35860	1	48126.46620	1	49981.49130	1	51066.39410	1
39739.37400	1	42385.28320	1	48126.46630	21	49981.49140	1	51066.39430	21
40115.47550	21	42717.35860	1	48126.46650	1	49981.49160	1	51066.39440	21
40161.38780	1	43044.39920	1	48130.55170	1	50000.35920	1	51076.45640	1
40190.31750	1	43381.50650	1	48130.55180	1	50001.30010	1	51103.50070	1
40196.29000	1	43725.53030	1	48130.55190	1	50004.44470	1	51142.49359	21
40197.23680	1	43732.44830	1	48132.43860	1	50004.44590	1	51142.49360	21
40200.38150	1	43880.24600	1	48133.38320	1	50004.44710	1	51142.49370	2
40439.37500	1	44070.49750	21	48133.38490	1	50328.65640	21	51142.49380	21
41141.88850	1	44076.47450	21	48133.38560	1	50329.60020	10	51142.49380	21
41141.88850	23	44076.47450	21	48133.38580	1	50330.54410	21	51142.49384	21
41143.77550	1	44173.32670	1	48159.80050	21	50455.70362	13	51150.35510	21
41167.67300	1	44851.31360	1	48191.55960	21	50456.64990	13	51150.35516	1
41194.71970	1	44851.31360	21	48500.36710	21	50682.43170	23	51150.35520	21
41197.86500	1	44851.31410	1	48506.33730	1	50682.43190	1	51150.35522	21
41218.61810	1	44851.31460	1	48510.42570	1	50682.43200	21	51160.41600	21
41227.42190	1	45630.55870	1	48510.42620	1	50682.43210	23	51160.41620	2
41227.42190	23	45673.32560	1	48511.36880	1	50708.53319	23	51160.41640	21

Tablo 2.3: Devam

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
51178.34400	21	51863.24593	14	53202.23470	21	53626.76279	17	53672.67263	17
51340.92030	10	51863.24600	2	53250.66300	21	53626.76280	21	53672.67270	21
51379.91580	10	51863.24633	14	53290.60100	11	53626.76299	17	53672.67273	17
51417.33570	1	51884.31501	14	53291.54300	11	53626.76300	21	53672.67287	17
51426.45460	2	51884.31612	14	53294.68748	17	53627.70470	21	53672.67290	21
51433.37320	2	51884.31620	2	53294.68750	21	53627.70472	17	53705.69306	17
51434.31730	2	51884.31756	14	53294.68756	17	53627.70490	21	53705.69310	17
51436.51850	2	51884.62710	23	53294.68760	17	53627.70494	17	53705.69700	17
51437.46258	21	51901.61090	23	53294.68760	21	53627.70516	17	53705.69740	21
51437.46260	2	51911.67439	13	53294.68760	21	53627.70520	21	53705.69742	17
51438.40490	2	51912.30228	14	53294.68760	21	53627.70527	17	53716.38290	21
51438.40493	21	51912.30280	2	53294.68764	17	53627.70530	21	53722.35980	21
51463.24800	2	51912.30297	14	53294.68770	21	53627.70670	21	53739.65577	21
51463.56340	21	51912.30320	14	53294.68775	17	53627.70675	17	53743.74327	21
51465.76400	2	51912.61759	13	53313.24010	2	53628.64930	21	53779.59090	21
51498.46800	2	51924.25170	21	53314.18390	2	53628.64933	17	53779.59310	3
51508.21660	2	52112.93194	13	53317.01400	2	53628.64936	17	53965.75250	3
51511.36130	2	52113.87614	13	53318.58676	17	53628.64940	21	53965.75490	21
51530.22800	2	52114.81722	13	53318.58678	17	53628.64943	17	53966.69715	21
51549.72459	13	52120.47713	14	53318.58680	21	53628.64960	21	53983.36560	21
51550.66983	13	52120.47740	2	53318.58680	21	53628.64961	17	53994.68590	21
51776.45476	9	52120.47765	14	53318.58680	21	53644.68670	17	54016.38380	21
51776.45480	1	52186.51540	2	53318.58684	17	53644.68680	21	54022.67077	17
51776.45490	21	52229.28330	21	53318.58700	21	53644.68682	17	54022.67080	21
51776.45495	9	52251.29510	21	53318.58700	21	53644.68688	17	54022.67200	21
51778.34110	9	52251.29510	21	53318.58700	17	53644.68690	21	54022.67204	17
51778.34150	1	52257.58440	23	53318.58702	17	53644.68747	17	54022.67210	21
51778.34160	9	52481.48380	21	53319.52840	21	53644.68750	21	54022.67212	17
51778.34170	9	52504.75410	23	53319.52843	17	53644.68854	17	54022.67240	17
51792.48963	14	52566.70240	21	53319.52969	17	53649.40300	21	54022.67241	17
51792.49270	2	52577.39910	21	53319.52970	21	53649.40304	23	54023.61530	21
51792.49282	14	52577.70890	23	53319.53000	21	53661.35250	21	54023.61531	17
51792.49524	14	52586.51410	23	53319.53001	17	53671.73019	17	54023.61536	17
51794.37793	14	52589.66290	23	53319.53168	17	53671.73020	21	54023.61542	17
51794.37930	2	52609.78510	23	53319.53170	21	53671.73100	21	54023.61546	17
51794.37987	14	52860.41200	21	53319.53237	17	53671.73103	17	54023.61550	21
51794.38023	14	52864.50070	21	53319.53240	21	53671.73160	21	54023.61567	17
51815.44684	14	52893.43060	21	53333.68200	21	53671.73163	17	54023.61570	21
51815.44716	14	52900.34906	23	53334.31230	21	53671.73170	21	54055.37950	21
51815.44720	2	52900.34910	21	53529.90770	12	53671.73174	17	54079.59080	23
51815.44746	14	52931.79620	23	53553.80590	12	53671.73190	21	54079.59090	23
51830.54132	14	52950.66300	21	53592.48630	21	53671.73192	17	54084.30855	16
51830.54203	14	52983.36600	21	53626.76260	17	53672.67250	21	54089.65340	21
51830.54340	2	53016.70261	13	53626.76270	17	53672.67252	17	54100.34483	22
51863.24576	14	53057.58180	23	53626.76273	17	53672.67260	21	54124.24540	21

Tablo 2.3: Devam

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
54304.43650	21	55058.83160	4	56579.58250	21	58739.01267	19	58849.38810	23
54339.65287	22	55066.37990	21	56584.29950	21	58741.84238	19	59055.67558	18
54340.59565	22	55097.51100	21	56617.31730	21	58742.15595	19	59055.67570	21
54344.68472	22	55157.57330	5	56842.47570	21	58744.98680	19	59060.70770	23
54345.62778	22	55233.35940	21	56871.40540	21	58745.30104	19	59108.50540	21
54346.57126	22	55288.38929	7	56872.66300	21	58748.13159	19	59118.56920	23
54347.51486	22	55352.54302	7	57199.39520	21	58748.44415	19	59118.56930	21
54351.60397	22	55353.48660	21	57249.39200	21	58752.53383	19	59157.56190	23
54352.54648	22	55376.44060	21	57258.82500	21	58752.53383	19	59157.56197	18
54353.49114	22	55381.46950	23	57277.69330	21	58752.84791	19	59166.36560	21
54357.57841	22	55386.50210	21	57313.54230	21	58755.67812	19	59171.39810	21
54363.55477	22	55402.22760	21	57327.37830	21	58755.99229	19	59323.59958	18
54368.58596	22	55432.41580	21	57335.55550	21	58758.82268	19	59323.59960	21
54373.61335	22	55447.51157	7	57588.38440	21	58759.13748	19	59323.60000	23
54374.55817	22	55473.29617	7	57598.13210	21	58764.79396	20	59380.83180	23
54381.47856	22	55473.29660	21	57607.87990	23	58765.11155	20	59380.83183	18
54382.42286	22	55478.32750	21	57684.61070	23	58767.94168	20	59494.04260	21
54383.36620	3	55516.69200	6	57963.85460	23	58768.25615	20	59507.87457	18
54394.37527	22	55528.01130	21	57964.48320	21	58771.08592	20	59549.38129	18
54394.68340	21	55758.51550	21	57980.52170	21	58771.40101	20	59549.38450	23
54399.40401	22	55817.32030	21	58049.38930	21	58774.23066	20	59574.54259	18
54405.37651	22	55817.32035	23	58049.38940	21	58774.54526	20	59574.54280	23
54465.75277	21	55828.01110	21	58054.42140	21	58778.63307	20	59853.47145	20
54466.69651	21	55850.65410	23	58076.43290	21	58779.57733	20	59857.24417	20
54641.85330	21	55889.64650	23	58078.31970	21	58781.77807	20	59861.01847	20
54641.85443	3	56167.31400	21	58101.59040	21	58782.72219	20	59868.56684	20
54653.80190	21	56180.52700	21	58314.48330	21	58784.92181	20	59872.33914	20
54659.46340	21	56188.38780	21	58351.58894	8	58785.86680	20	59876.11341	20
54709.77507	3	56221.09500	21	58352.53442	8	58811.65167	23	59853.78702	20
54709.77740	21	56226.75180	21	58372.66080	21	58811.65170	23	59857.56027	20
54722.35980	23	56464.48830	21	58386.49610	21	58811.65177	23	59861.96249	20
54738.39330	21	56464.48833	23	58404.73380	21	58811.65180	23	59868.88060	20
54738.39760	21	56464.48920	21	58461.33962	8	58844.35680	23	59872.65366	20
54798.45700	21	56515.43100	21	58694.67120	21	58844.35680	23	59876.42739	20
54813.55040	4	56528.63880	21	58738.69750	19	58849.38810	23		

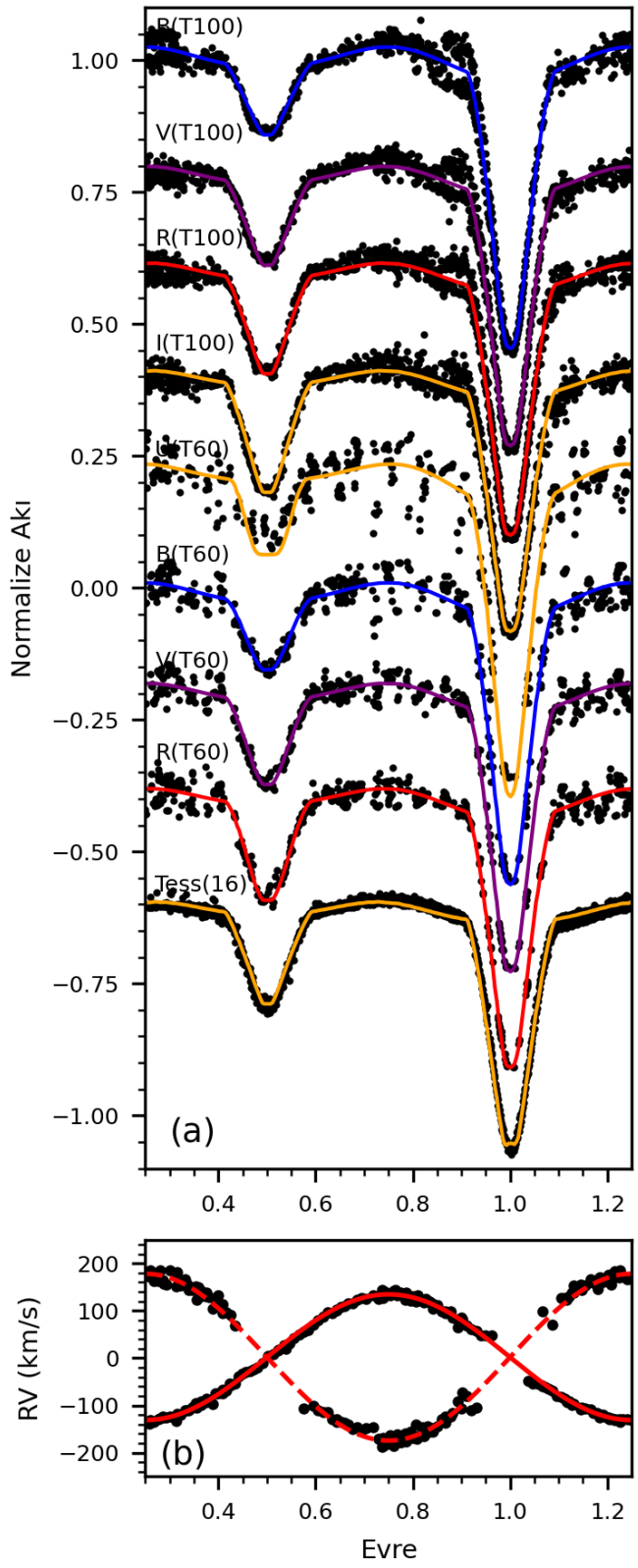
Tablo için Kaynaklar 1- Pribulla et al. (2000); 2- Zhang and Gu (2007); 3- Manzoori (2009); 4- Samolyk (2009); 5- Samolyk (2010); 6- Samolyk (2011); 7- Jableka et al. (2012); 8- Bu çalışma-TUG; 9- Pribulla et al. (2001c); 10- Kreiner et al. (2001); 11- Pribulla et al. (2005); 12- Cook et al. (2005); 13- Heckert (2012); 14- Yakut and Ibanoglu (2000); 15- Hegedus,T. (KY?); 16- Bu çalışma-EUO; 17- Coughlin (2010); 18- Bu çalışma-AAVSO; 19 & 20-Bu çalışma-TESS; 21- (O-C) Gateway:`http://var2.astro.cz/ocgate/ocgate.php?star=RT+And&submit=Submit&lang=en`; 22- Bu çalışma-SuperWASP; 23- (O-C) BAV:`https://www.bav-astro.eu/index.php/veroeffentlichungen/service-for-scientists/lkdb-engl`

Tablo 2.4: Dönem değişim analizi sonucunda RT And üçlü sistemine ilişkin elde edilen parametreler.

Parametre	Birim	Değer
T_o	[HJD]	2435454.4614±0.0009
P_o	[gün]	0.62892987±0.00000004
P_3	[yıl]	144±4
T_3	[HJD]	2458401
e_3		0.00±0.03
ω_3	[°]	109(5)
$a_{12} \sin i_3$	[AB]	2.54±0.04
$f(m_3)$	[$M_\odot$]	0.000792±0.000002
$m_{3;i'=30°}$	[$M_\odot$]	0.32±0.02
$m_{3;i'=60°}$	[$M_\odot$]	0.18±0.01

2.2.3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi

Sistemin 1949-2022 yıllarında yayınlanmış 42 ışık eğrisi ve 1946-2001 yılları arasında yayınlanan dikine hız verisi literatürden toplanmıştır. Çalışma kapsamında yeni elde edilen TUG gözlemleri ile birlikte tüm ışık eğrileri ve dikine hızları verileri sentetik ışık ve dikine hız eğrisi modeli yapılarak ele alınmıştır. Sentetik ışık ve dikine hız eğrisi modellemesinde Phoebe (Prša and Zwitter, 2005) programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda, sistemin yörünge ve fiziksel parametreleri elde edilmiştir. RT And çift sisteminin TUG-T60 ve T100 teleskobu ile elde edilen yeni çokrenk gözlemleri, TESS verisinin ışık eğrisi modellemesi ve sistemin dikine hız eğrisi Şekil 2.8'de sentetik modelleri ile verilmiştir. Çözümde Albedolar (A_1, A_2) Ruciński (1969)'da ve çekim kararma katsayıları (g_1, g_2) ise Lucy (1967)'de önerilen teorik değerlere sabitlenmiştir. Güneş bolluğuna sahip bir yıldız için çözümde van Hamme (1993)'den alınan katsayılarla logaritmik kenar kararması yasası kullanılmıştır. RT And çift sisteminin ışık eğrisi ve dikine hız analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri Tablo 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.8: RT And sisteminin TUG T100,T60 ve TESS gözlemleri ve ışık ve dikine hız eğrilerinin sentetik model sonuçları. İyi bir görünüm için ışık eğrileri rastgele sayılar eklenerek kaydırılmıştır. Dikine hız grafiğinde sürekli çizgi baş bileşeni gösterirken kesikli çizgi yoldaş yıldızı temsil etmektedir.

Tablo 2.5: RT And çift sisteminin ışık eğrisi ve dikine hız eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri. 1 ve 2 indisleri sırasıyla sıcak ve soğuk bileşeni temsil etmektedir.

Parametre	Değer (hata)
$T_0/\mathrm{JD} - 2400000$	58461.3387(10)
P/d	0.628929(1)
$i/^\circ$	86.7(1)
Ω_1	3.943(5)
Ω_2	4.331(6)
$q = m_2/m_1$	0.7535(68)
T_1/K	5900(200)
T_2/K	4595(90)
l_2/l_{1+2} (B)	% 11.0
l_2/l_{1+2} (V)	% 14.2
l_2/l_{1+2} (R)	% 16.6
l_2/l_{1+2} (I)	% 19.1
Sıcak bileşenin göreli yarıçapı (R_1/a)	0.3199(7)
Soğuk bileşenin göreli yarıçapı (R_2/a)	0.2375(2)
$K_1/\mathrm{km\,s^{-1}}$	132.75
$K_2/\mathrm{km\,s^{-1}}$	176.18
Kütle merkezinin dikine hızı $V_\gamma/\mathrm{km\,s^{-1}}$	1.8(5)
$\mathrm{a_1 sin}i/R_\odot$	1.650
$\mathrm{a_2 sin}i/R_\odot$	2.189
$\mathrm{m_1 sin^3}i/M_\odot$	1.096
$\mathrm{m_2 sin^3}i/M_\odot$	0.826

2.2.4 Bileşen Yıldızların Fiziksel Parametreleri

Bir örten çift sistem, iyi elde edilmiş çokrenk ışık ve çift çizgili dikine hız eğrilerine sahipse bu sisteme ilişkin fiziksel parametreler hassas bir şekilde elde edilebilir. Bu çalışmada, sentetik modeller sonucu elde edilen parametreler kullanılarak bileşen yıldızların kütle, yarıçap, ışıtma ve uzaklık gibi parametreleri hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 2.6'da verilmiştir. Tez çalışmasının sonraki bölümlerinde, elde edilen bu sonuçlar ile yapılan evrim modelleri karşılaştırılacaktır.

Tablo 2.6: RT And'ın fiziksel parametreleri. 1σ standart hatalar parantez içinde verilmiştir.

Parametre	Sıcak Bileşen	Soğuk Bileşen
Kütle $M/M_\odot$	1.101(13)	0.829(9)
Yarıçap $R/R_\odot$	1.230(7)	0.913(5)
Etkin Sıcaklık $T_{\rm eff}$/K	5 900(200)	4 595(200)
Işıtma $\log_{10}(L/L_\odot)$	0.217	-0.477
Yüzey çekimi $\log_{10}(g/{\rm cm\,s^{-2}})$	4.300	4.436
Bolometrik salt parlaklık M_B	$4^{\rm m}.19$	$5^{\rm m}.92$
Görünür salt parlaklık M_V	$4^{\rm m}.34$	$6^{\rm m}.22$
Yıldızlar arasındaki ayrıklık $a/R_\odot$	3.845(17)	
Uzaklık (pc)	96(8)	

2.3 Kromosferik Aktif Çift Sistem XY Ursae Majoris

2.3.1 XY UMa'ya ilişkin yapılan çalışmalar

XY UMa (BD +55 1317, HD 27143) iyi bilinen kısa dönemli aktif bir örten çift'tir. RS CVn türü sistemlerde grubun çok güçlü kromosferik aktivitesini sergileyen sistem birçok gözlemcinin ilgisini çekmektedir (Yuan, 2010). Her iki bileşenin manyetik etkinlikleri, tutulma/örtme dışındaki fotometrik değişkenliği yıldız lekelerinin varlığıyla ilişkilendirilmiş ve çeşitli yazarlar tarafından farklı dönemlerde incelenmiştir (Singh and Pandey (2022) ve içindeki referanslar). 0.479 gün yörünge dönemine sahip olan çift sistemin ışık eğrileri çok düzensiz değişimler sergiler ve yörünge döneminde de dönemsel veya yarı-dönemsel değişimler gösterir.

XY UMa'nın fotometrik ışık eğrileri farklı yazarlar tarafından elde edilmiştir (Pribulla et al., 2001a; Lister et al., 2001; Kjurkchieva et al., 2000; Hilditch and Bell, 1994; Collier Cameron and Hilditch, 1997; Li et al., 1989). Yoldaş bileşen V bandındaki toplam ışığın yaklaşık %8'ine katkıda bulunduğundan, yalnızca baş bileşenin tayfsal yörüngesi ilk olarak Rainger et al. (1991) tarafından çapraz korelasyon fonksiyonu tekniği ile elde edilmiştir. Daha sonra Pribulla et al. (2007, 2001a) ve Kjurkchieva et al. (2000) tarafından da yalnızca baş bileşenin tayfsal yörüngesi elde edilmiştir. Pojmanski (1998) ise yoldaş bileşenin RV'lerini saptamak ve ölçmek için Ca II kızılötesi üçlü bölgesinde yakın kızılötesi tayfların karmaşık bir modellemesini uygulamıştır.

Sistemin parametreleri Pojmanski (1998) tarafından; K_1 = 122.5 ± 1.0 km/s, K_2= 202.0 ± 6.0 km/s, kütle merkezinin dikine hızı γ = -10.5 ± 1.0 km/s ve tayfsal kütle oranı q = 0.61 ± 0.05 olarak verilirken, Pribulla et al. (2007) tarafından; γ_0 = -10.5 ± 1.0 km/s, K_1=122.5 ± 1.0 km/s ve K_2=202 ± 6 km/s olarak verilmiştir. H_α, $_\beta$, Ca II kızılötesi üçlü (IRT) çizgisinin salma fazlalığı ilk olarak Arévalo and Lázaro (1999) tarafından yörüngesel evre çözünürlüğü ile analiz edilmiştir. Daha sonra bu kromosferik salma Özeren et al. (2001) tarafından incelenmiştir.

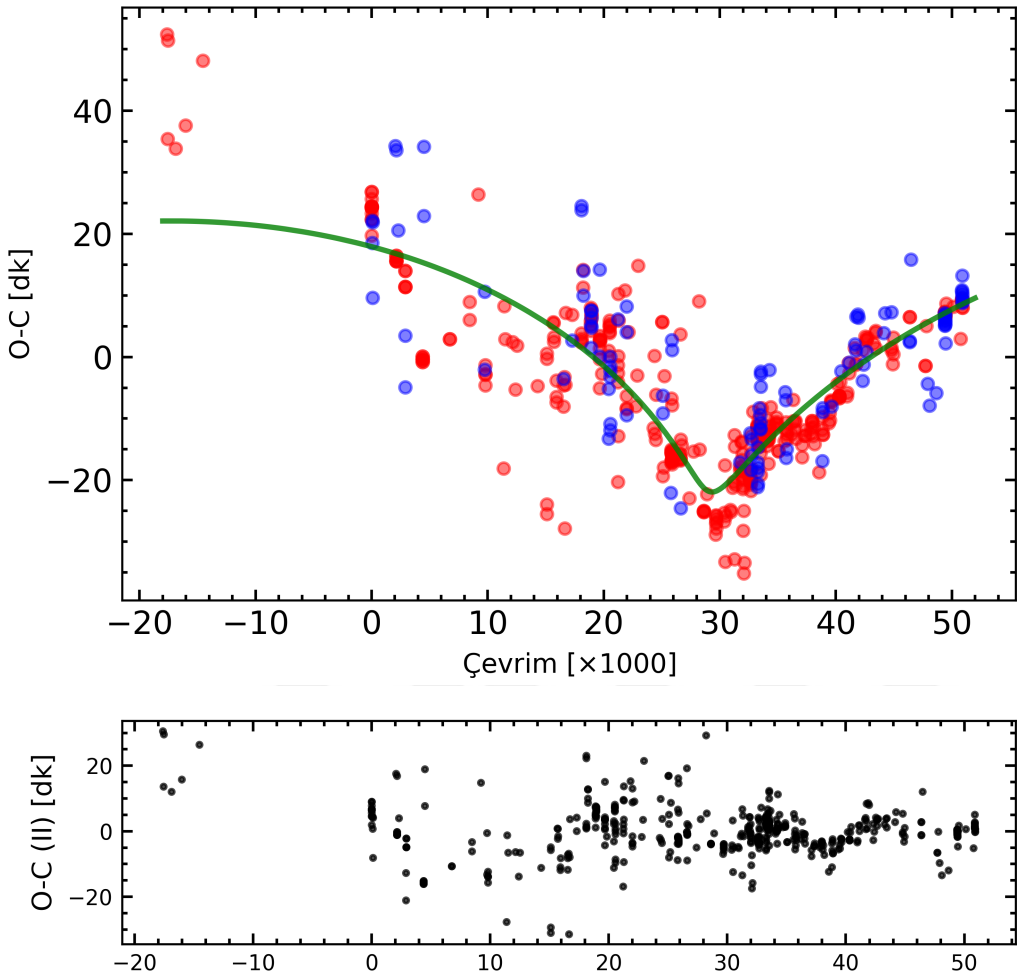
Sistemin, üçüncü cisime sahip olduğu ve bu cismin yörünge döneminin yaklaşık 30 yıl olan çoklu bir sistem üyesi olduğundan şüphelenilmiştir (Pribulla et al., 2001b). Sistemin HIPPARCOS paralaksı, 15.09 ± 1.48 mas ve maksimum görsel parlaklığı V = 9^m.62, mutlak görsel parlaklığı M_V= 5^m.51 ± 0.22 olarak verilirken Gaia paralaksı Tablo 2.1'de verilmiştir. Yaklaşık 15.1 mas paralaks tek bir G8 V türü anakol yıldızına karşılık gelir. XY UMa'nın tayf türü, sistemin ortalama tayfı analiz edilerek tahmin edilmiştir. Ortalama tayfa uyan en iyi şablon K0 V olarak bulunmuştur (sonraki mevcut şablonlar G8 V ve K4 V olmuştur). Bu şablon, tutulmalar sırasında gözlenen bireysel tayflar için bile en iyisi olarak yorumlanmıştır. Bileşenlerin yayınlanmış tayf türleri G3 V ve K5 V'dir (Pribulla et al., 2001b).

Pribulla et al. (2007) tarafından verilen daha büyük kütleli bileşenin hız yarı genliği K_1 = 124.74 ± 0.28 km/s olarak kabul edildiğinde, sistemin parametreleri Yuan (2010) tarafından şu şekilde türetilmiştir: M_1 = 1.01(1) $M_\odot$, R_1 = 1.22(1) $R_\odot$, L_1 = 1.10(2) $L_\odot$, M_2 = 0.65(1) $M_\odot$, R_2 = 0.58(0) $R_\odot$, L_2 = 0.09(0) $L_\odot$ ve a = 3.05(1) $R_\odot$, Pribulla et al. (2001a) değerlerine yakın olarak hesaplanmıştır. İki bileşenin Roche loblarının eşdeğer hacim yarıçapları 0.4169a ve 0.3421a olarak verilmektedir, bu da birincil/baş ve ikincil/yoldaş bileşenlerin Roche loblarını, sırasıyla %87.5 ve %17.2'sini doldurduğunu göstermektedir (Yuan, 2010). Fotometrik kütle oranı q=0.6487 ± 0.0035, eğim açısı (i)= 79.84 ± 0.18 ve bileşenlerin sıcaklıkları sırasıyla T_1=5360 ± 17 K, T_2=4190 ± 12 K olarak verilmektedir (Yuan, 2010). EXOSAT'tan yapılan X-ışın gözlemleri, sakin bir durumda bir flare olayı ve yörünge modülasyonu tespit etmiştir (Jeffries and Bedford, 1990; Bedford et al., 1990). Bedford et al. (1990) X-ışın yüzey akısını F_x = (0.5-1.8) × 10^8 erg/s cm^{-2} olarak bulmuştur ki bu net bir birincil tutulma gösterir ve herhangi bir soğuk yıldızın en yüksek değeridir. Ancak, Jeffries (1998) önemli bir X-ışın tutulması gözlememiştir, bu da birincil yıldızın yüksek, tutulmamış enlemlerinde genişletilmiş koronalar veya sıkışık bir korona için kanıt olarak yorumlanmaktadır.

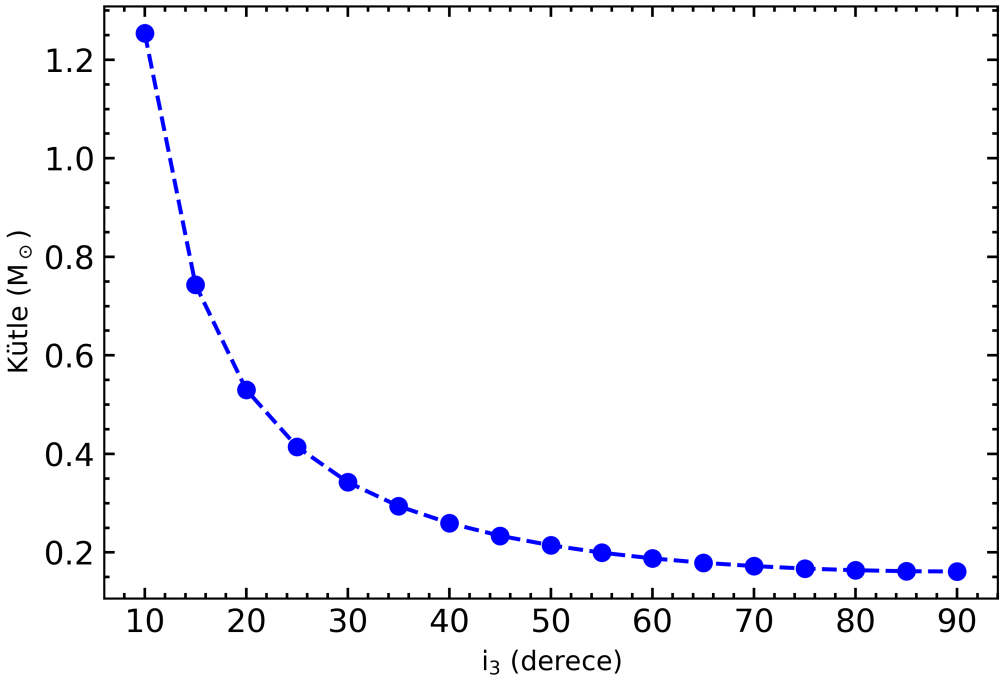
2.3.2 Dönem Değişim Analizi

Kısa dönemli ve aktif bir sistem olan XY UMa için TESS ışık eğrilerinden elde edilen yeni 32 tane minimum zamanının literatürde bulunan 460 tane minimum zaman ile bir arada ele alınarak dönem değişim analizi yapılmıştır. Gözlenen minimum zamanlarının ağırlıklandırılması fotoğrafik ölçüm ile elde edilenler için 1, fotoelektirik yöntem ile elde edilenler için 5 ve TESS veri setlerinden elde edilenler için 20 olarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında, XY UMa çiftinin dönem değişim analizinde kullanılan fotoelektrik minimum zamanları Tablo 2.7'te listelenmiştir.

(O-C) diyagramının analizi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 2.8'de verilmiş olup gözlemler ile karşılaştırılması Şekil 2.9 ile gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucu çift sistemin etrafında 131 yıl dönem ile dolanmakta olan bir üçüncü cisim elde edilmiştir. Üçüncü cismin yörünge parametreleri çıkarıldığında elde edilen değişimler Şekil 2.9'in alt panelinde gösterilmiştir. Buradan da görüleceği gibi hala çevrimsel bir değişim söz konusu olup bu da CG Cyg sisteminde de tartışıldığı gibi ya dördüncü bir cisim ya da aktivite çevrimine yorumlanabilir. Olası bir üçüncü cismin sahip olabileceği minimum kütle 0.16 $M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. Kütlenin dış yörüngenin eğim açısına göre alabileceği değerler Şekil 2.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.9: XY UMa örten çift sisteminin (O-C) diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model. Kırmızı ve mavi noktalar sırası ile baş ve yan minimumları göstermektedir. Düz sürekli yeşil hem üçüncü cisim varlığı durumda beklenen kuramsal değişimi göstermektedir. Alt panelde bulunan sürekli siyah değişim ise üçüncü cismin etkisi çıkarıldığında kalan artıkları simgelemektedir.



Şekil 2.10: XY UMa sisteminin yörüngesinde bulunan olası üçüncü bileşene ilişkin kütle değerlerinin dış yörüngenin eğim açısına bağlı değişimi.

Tablo 2.7: XY UMa çift sistemine ilişkin baş ve yan minimum zamanları (HJD*=HJD - 2400000).

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
35216.50290	1	42846.40870	7	45035.42480	1	47966.38570	1	50839.64500	5
35216.50360	11	43137.63520	1	45035.42500	11	47966.38580	1	50852.33261	8
35216.50420	1	43137.63760	1	45035.42550	1	47966.61980	2	50869.57575	8
35216.50440	1	43138.35680	2	45036.38360	1	48332.33420	1	50872.45092	11
35217.46230	1	43175.47920	7	45036.38380	11	48500.46700	1	50872.45092	8
35217.46320	11	43497.37140	11	45036.38420	1	48918.62350	1	50872.69155	8
35217.46400	1	43497.60800	2	45061.51910	2	48918.62352	3	50877.72004	8
35246.43750	2	43880.34030	2	45061.52580	2	48919.58160	1	50881.55155	8
35246.44000	2	43880.34080	2	45061.52740	2	48919.58162	3	50888.50010	5
35258.40620	2	43880.56490	1	45064.39380	2	49055.61830	1	50888.50190	5
35258.41470	2	43880.56510	1	45064.39910	2	49412.94460	11	50891.61207	8
36193.42310	2	43880.56530	11	45064.40030	2	49433.54270	4	50955.80390	11
36229.34730	2	43880.56590	1	45384.37480	2	49433.54320	11	51130.63560	1
36229.57430	1	43947.63050	1	45384.60720	1	49433.54360	4	51130.63570	1
36231.49030	1	43947.63250	1	45384.60820	1	49436.41610	4	51130.63572	11
36231.49060	11	43947.86910	2	45384.60910	1	49436.41680	11	51130.63590	1
36231.49090	1	43947.87190	2	45743.37200	1	49436.41750	4	51141.65110	1
36307.41460	2	44258.49390	1	45743.37210	1	49443.39300	4	51141.65135	11
36603.41630	2	44258.49460	7	45743.37350	1	49443.39500	4	51141.65140	1
36603.42210	2	44258.49500	11	45743.61080	2	49766.92400	11	51141.65150	1
36604.62510	1	44258.49650	7	45743.62020	2	49775.54690	1	51150.50720	1
36604.62690	1	44266.39540	2	45743.62310	2	50026.54100	11	51150.50890	1
37315.44640	1	44266.39790	2	46854.64010	1	50048.57460	11	51150.51000	1
37315.44660	11	44266.39960	2	47227.06100	2	50118.51070	11	51158.41620	1
37315.44670	1	44288.43150	2	47227.06300	2	50212.87750	11	51158.41640	11
37315.44700	1	44288.43260	2	47227.29340	1	50422.43640	6	51158.41650	1
37367.43390	2	44288.43340	2	47593.24890	1	50422.67500	1	51158.41650	1
37367.44170	2	44288.67200	7	47593.24910	11	50422.67540	6	51158.65050	1
39876.39650	2	44288.67240	1	47593.24920	1	50478.71867	8	51158.65230	1
39876.40530	2	44288.67250	11	47594.20670	1	50482.55260	6	51158.65460	1
39913.51690	1	44288.67300	1	47594.20680	11	50483.51070	6	51177.57550	1
39913.51810	11	44634.26320	2	47594.20690	1	50493.56671	8	51177.57567	11
39913.51820	1	44634.27300	2	47616.23980	1	50508.41499	8	51177.57570	1
39913.51920	1	44634.49910	1	47616.24010	11	50528.53215	8	51177.57580	1
41147.40960	11	44634.50240	11	47616.24040	1	50532.36397	8	51183.32440	1
42451.70110	1	44634.50360	1	47616.49170	2	50540.50612	8	51183.32460	1
42451.70220	1	44634.50460	1	47617.19780	1	50542.42183	8	51183.32502	11
42452.67660	7	44635.46240	1	47617.19790	1	50814.49320	7	51183.32610	1
42452.67720	7	44635.46250	1	47618.15530	1	50814.49340	7	51200.56780	1
42716.60740	7	44635.46260	11	47618.15560	7	50814.49350	7	51200.56792	11
42728.58220	7	44635.46300	1	47618.15560	1	50815.45070	7	51200.56820	1
42738.63900	7	45001.41350	1	47944.35260	1	50815.45090	11	51203.44180	1
42741.51350	7	45001.41410	1	47944.35260	1	50815.45100	5	51203.44190	1
42838.74230	1	45001.64370	2	47964.46990	1	50833.65213	8	51203.44192	11
42838.74290	1	45001.64930	2	47964.47000	1	50837.48420	5	51203.44210	1

Tablo 2.7: Devam

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
51211.34858	8	51559.33552	8	52697.43100	1	54521.45014	10	56671.18890	12
51211.58497	8	51560.29570	11	52697.63200	12	54521.45030	1	56673.10460	12
51215.41681	8	51572.74720	1	52706.53250	1	54521.45030	1	56723.39760	1
51237.44960	1	51598.61040	1	52707.21020	9	54521.45034	10	56745.43250	1
51237.45020	11	51602.44510	11	52726.16930	1	54521.45034	10	56757.40930	1
51237.45080	1	51617.29460	11	52979.55600	1	54556.41860	1	57427.76340	1
51250.38320	1	51621.60549	8	52985.30530	1	54594.50000	1	57427.76350	12
51250.38358	11	51625.91730	1	53082.54250	1	54830.40260	11	57430.40070	1
51250.38370	1	51626.39530	11	53096.43340	11	54842.85690	1	57430.40071	12
51250.38380	1	51628.55820	8	53112.24090	1	54906.08770	1	57482.37820	1
51253.73540	7	51630.70740	1	53328.26760	1	54922.37240	1	58077.99750	1
51254.69450	1	51687.23100	11	53372.81480	1	54922.61310	1	58077.99750	12
51256.37190	1	51838.59140	11	53399.63940	1	55151.33525	11	58112.48970	1
51256.37340	1	51919.54200	1	53399.63940	11	55166.90300	1	58166.37020	1
51265.70950	7	51919.54210	1	53405.86610	1	55187.25800	1	58250.67100	13
51267.38870	8	51919.54230	11	53434.12540	12	55201.86900	1	58523.70000	13
51268.34744	8	51919.54280	1	53461.42920	1	55213.36870	1	58899.71730	14
51272.89200	1	51999.53130	1	53501.66290	1	55232.28380	1	58933.01200	1
51273.37540	1	52251.48420	1	53683.19910	1	55278.51240	1	59222.80410	15
51273.37540	1	52278.55300	1	53817.80320	1	55314.43670	1	59528.39980	16
51273.37549	11	52311.36000	1	53818.03770	1	55476.57310	1	59589.95790	1
51273.37570	1	52311.60280	1	53822.11270	11	55481.59910	1	58870.50113	17
51274.33330	1	52322.37770	1	53833.37110	1	55520.87860	1	58879.12210	17
51274.33360	1	52322.61320	1	53834.32950	1	55583.86970	1	58888.70176	17
51274.33371	11	52351.35390	1	53848.45690	1	55630.33190	1	58870.74066	17
51274.33420	1	52351.59510	1	53848.45692	11	55643.50300	12	58879.36245	17
51278.41040	1	52368.35940	1	54076.93920	1	55656.67680	1	58888.94215	17
51278.41180	1	52376.50330	1	54125.31890	11	55674.39980	1	59580.61399	17
51278.41210	1	52559.95830	1	54134.89800	1	55937.84680	1	59589.23566	17
51278.64390	7	52608.81730	12	54173.69890	1	56004.42850	1	59601.68882	17
51289.66040	7	52613.13070	1	54192.37960	11	56021.67250	1	59586.60205	17
51321.75710	11	52693.59860	1	54196.69060	1	56028.37650	1	59589.47569	17
51529.63700	11	52694.33320	1	54197.40850	12	56357.68780	1	59592.34944	17
51534.42810	11	52694.55800	1	54442.89640	1	56408.46360	1	59598.57591	17
51544.48650	11	52695.51550	11	54521.45010	1	56670.95340	12	59601.44997	17

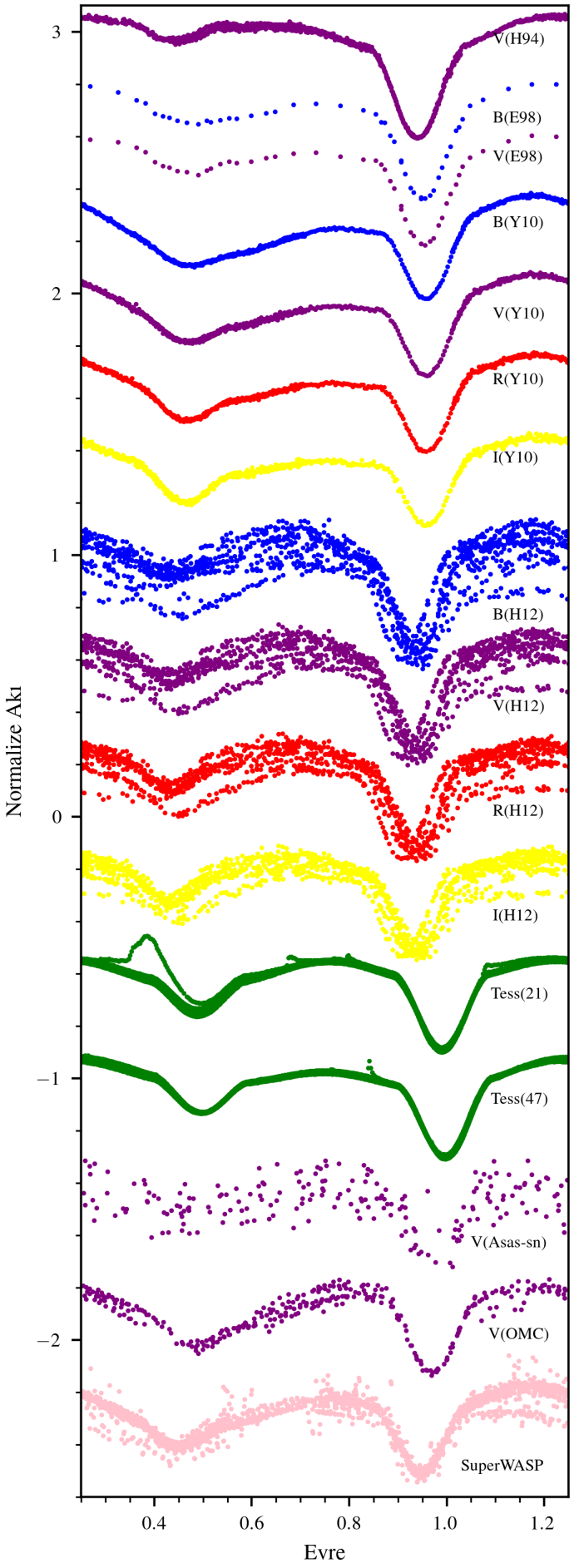
Tablo için Kaynaklar 1- (O-C) Gateway `http://var2.astro.cz/ocgate/`; 2-Pojmanski and Geyer (1990); 3-Hilditch and Bell (1994); 4-Erdem and Gudur (1998); 5-Chochol et al. (1998); 6-Kjurkchieva et al. (2000); 7-Sowell et al. (2001); 8-Lister et al. (2001); 9-Bakis et al. (2003); 10-Brát et al. (2008); 11-Yuan (2010); 12-(O-C) BAV:`https://www.bav-astro.eu/index.php/veroeffentlichungen/service-for-scientists/lkdb-engl`; 13- (Nelson, 2019); 14-Nelson (2020); 15-Nelson (2021); 16-Paschke (2021); 17- Bu çalışma-TESS.

Tablo 2.8: Minimum zamanlarının (O-C) analizinden elde edilen XY UMa sisteminin üçüncü bileşeninin yörünge parametreleri.

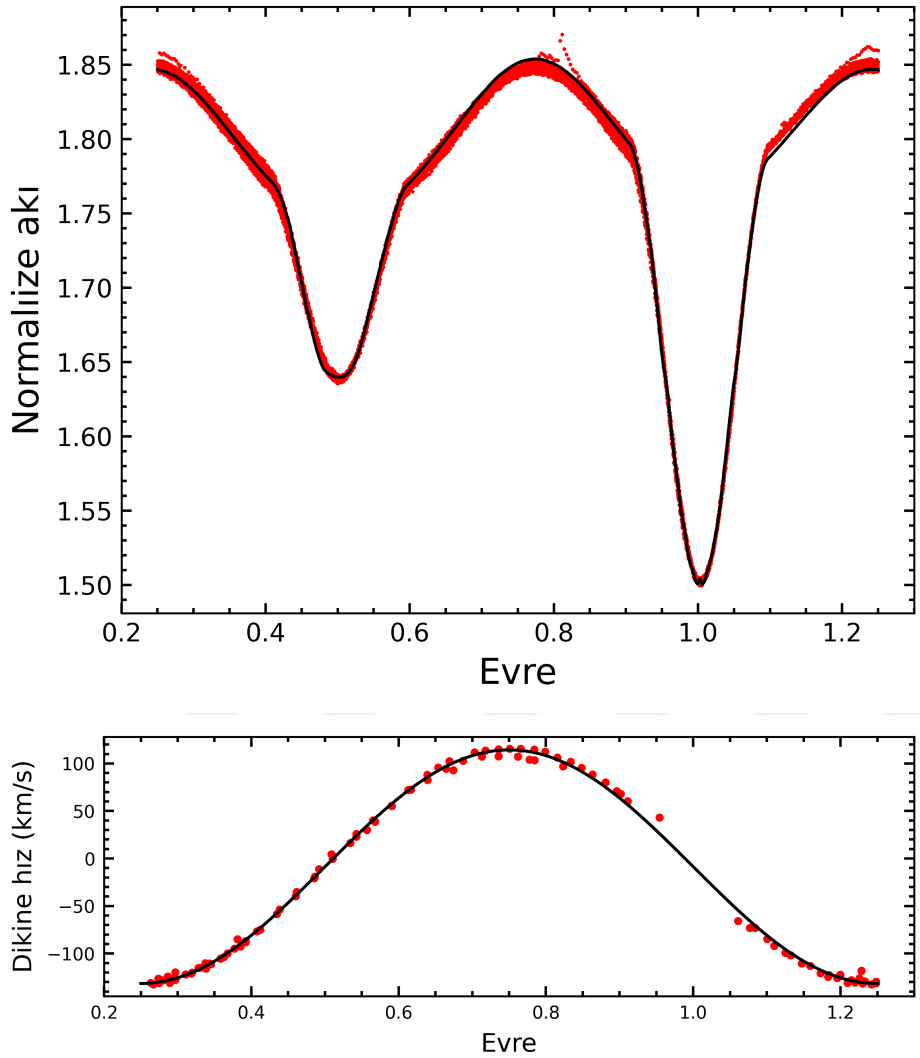
Parametre	Birim	Değer
T_o	[HJD]	2435216.4873±0.0011
P_o	[gün]	0.47899579±0.00000003
P_3	[yıl]	131 ± 4
T_3	[HJD]	2449094
e_3		0.82
ω_3	[°]	256 ±5
$a_{12} \sin i_3$	[AB]	2.69 ±0.12
$f(m_3)$	[$M_\odot$]	0.001136
$m_{3;i'=30°}$	[$M_\odot$]	0.34
$m_{3;i'=60°}$	[$M_\odot$]	0.19

2.3.3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi

XY UMa aktif çift sisteminin uzun dönemli fotometrik gözlemleri bulunmaktadır. Sistemin 1994 yılından bu yana elde edilmiş 16 çokrenk ışık eğrisi çalışma kapsamında toplanmış ve normalize akıya dönüştürülerek Şekil 2.11'de verilmiştir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi sürekli veriye sahip olan TESS gözlemleri en hassas olan ışık eğrilerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, ışık eğrisi analizi sırasında sadece TESS veri setleri kullanılmış diğer ışık eğrileri ise sonraki çalışmalarımızda yıldız yüzey leke haritalandırılmasında kullanılacaktır. XY UMa çift sisteminin bileşenleri arasında önemli bir ışıtma farkı olduğundan elde edilen dikine hızları tek çizgili olarak ölçülebilmiştir. Bu durum, fiziksel parametrelerin hesabında diğer çift çizgili sistemler olan RT And ve CG Cyg'ye göre daha az hassasiyete sahip olmasına neden olur. Sistemin ışık ve dikine hız eğrilerinin analizi RT And çift sisteminde olduğu gibi Phoebe (Prša and Zwitter, 2005) programı kullanılarak yapılmıştır. Çözüm sonuçları Tablo 2.9'da, elde edilen sentetik modeller ile gözlemlerin karşılaştırılması ise Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11: XY UMa sisteminin literatürde yer alan tüm ışık eğrileri.



Şekil 2.12: Örten etkileşen çift sistem XY UMA'nın TESS ışık eğrisi ve dikine hız çözümleri.

Şekil 2.11'da verilen ışık eğrilerinin kaynakları; H94:Hilditch and Bell (1994); E98:Erdem and Gudur (1998); Y10:Yuan (2010); H12:Heckert (2012); TESS; ASAS-SN; OMC; SuperWASP.

Sistemin ışık eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9: XY UMa çift sisteminin ışık eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri. 1 ve 2 indisleri sırasıyla sıcak ve soğuk bileşeni temsil etmektedir.

Parametre	Değer
T_0/ JD − 2400000	35216.3714(3)
P/d	0.47899821(9)
$i/^\circ$	80.9(2)
Ω_1	3.419(2)
Ω_2	4.372(4)
$q = m_2/m_1$	0.647(98)
T_1/K	5200 (200)
T_2/K	4406 (120)
l_2/l_{1+2}	% 9.9
Sıcak bileşenin göreli yarıçapı (R_1/a)	0.3808(12)
Soğuk bileşenin göreli yarıçapı (R_2/a)	0.2036(9)

2.3.4 Bileşen Yıldızların Fiziksel Parametreleri

Örten ayrık çift sistem XY UMa'nın TESS ve dikine hız eğrilerinin çözümü sonucu elde edilen parametreler kullanılarak sistemin bileşen yıldızlarının kütle, yarıçap, sıcaklık, ışıtma ve yüzey çekim ivmesi hesaplanmış ve Tablo 2.10'da verilmiştir. Hesaplamalar sırasında Güneş'in yüzey sıcaklığı 5777 K alınmıştır. XY UMa'nın uzaklığı ise çalışma kapsamında 71 pc olarak hesaplanmıştır. Gaia'nın astrometrik yöntem ile elde etmiş olduğu 68 pc uzaklık ile uyumlu bir sonuç vermiştir.

Tablo 2.10: Ayrık aktif sistem XY UMa'nın fiziksel parametreleri.

Parametre	Sıcak Bileşen	Soğuk Bileşen
Kütle $M/M_\odot$	0.96(11)	0.62(16)
Yarıçap $R/R_\odot$	1.14(10)	0.61(3)
Etkin Sıcaklık $T_{\rm eff}$/K	5 200(120)	4 406(120)
Işıtma ($L/L_\odot$)	0.86(21)	0.13(3)
Yüzey çekimi $\log_{10}(g/{\rm cm\,s^{-2}})$	4.305	4.659
Bolometrik salt parlaklık M_B	$4^{\rm m}.90$	$6^{\rm m}.98$
Görünür salt parlaklık M_V	$5^{\rm m}.12$	$7^{\rm m}.58$
Yıldızlar arasındaki ayrıklık $a/R_\odot$	3.00(28)	
Uzaklık (pc)	71(4)	

2.4 Kısa Dönemli Örten Çift Sistem: CG Cygni

2.4.1 CG Cyg sistemine ilişkin yapılan çalışmalar

Örten çift yıldız CG Cyg iki cüce bileşenden oluşan ve 0.6311 günlük döneme sahip tipik bir kısa dönemli RS CVn türü (yörünge dönemleri bir günden az olan alt grubunun bir üyesi) çift sistemdir ve Williams (1922) tarafından değişken bir sistem olduğu keşfedilmiştir. Sistemin tayf türü G9.5V + K3V'dir (Naftilan and Milone, 1979). Williams'ın (1922) ilk görsel ışık eğrisini yayınlamasından sonra birçok yazar fotometrik gözlemler yapmıştır (Shi et al. (2012) ve içindeki referanslar). CG Cyg yıldızı fotometrik olarak iyi çalışılmıştır, ancak oldukça farklı değerlere sahip sadece iki dikine hız çözümü vardır (Popper, 1994; Naftilan and Milone, 1985). Bu da sistemin parametrelerinin düşük bir hassasiyetle belirlenmesine yol açmaktadır.

Işık eğrisindeki tutulmanın varlığı ile keşfedilen CG Cyg (Williams, 1922) sisteminin ışık eğrisinde maksimumlarda küçük ölçekli "tümsekler" gözlenmiştir (Kjurkchieva et al. (2003) ve içindeki referanslar). Bedford et al. (1987) yörünge evresi 0.3'te ("üçüncü minimum") bir çöküntü saptamış ve yörünge düzleminde bulunan yıldız çevresi malzemenin varlığını öne sürmüşlerdir. Bu yörünge evresinde kısa süreli flare benzeri patlamalar da gözlenmiştir.

Kjurkchieva et al. (2003) CG Cyg'nin tayfsal ve fotometrik gözlemlerini yayınlamışlar ve CG Cyg'nin diğer kısa dönemli RS CVn türü yıldızlardan (XY UMa, RT And, SV Cam ve ER Vul) daha güçlü aktivite belirtileri (kromosferik aşırı salma, kütle merkezi etrafında soğurucu madde, yoldaş yıldızın uzamış flare'si) gösterdiğini bulmuşlardır. CG Cyg'nin kromosferik aktivitesi Naftilan and Milone (1979) tarafından Ca II'nin H ve K çiftindeki salmadan gözlenmiştir. Lazaro and Arevalo (1997) ise bu sistemin her iki yıldızı için H_α çizgisinde, yıldızların homojen olmayan kromosferiyle ilişkili yörünge çevrimi boyunca değişkenlik gösteren bir salma fazlalığı keşfetmişlerdir. Hα ve Hβ çizgilerinin salma fazlalıklarının oranı plaj benzeri yapılar için tipiktir.

Milone and Ziebarth (1974) 1967'den sonra yörünge döneminde bir azalma olduğunu kaydetmiştir. Yörünge dönemindeki değişkenlik daha sonra başka yazarlar tarafından da teyit edilmiştir (ref. için bkz. (Kjurkchieva et al., 2003)). Sowell et al. (1987) 1967-1980 yılları arasında tutulmalar dışında ortalama ışık seviyesinin %15 oranında arttığını kaydetmiştir. Tutulmanın hem dışında hem de içinde dikkate değer içsel değişimler gözlenmiş ve bunlar yıldız lekesi modelleriyle açıklanmıştır (ref. için bkz. (Cheng et al., 2022)). Yıldız ayrıca bir UV artığı da göstermektedir (Naftilan and Milone, 1985). Sistemin 10.600 MHz'de 25 mJy'lik bir radyo salması vardır (Wendker, 2015).

CG Cyg'nin yörünge dönem değişimi birçok yazar tarafından incelenmiştir (Shi et al. (2012) ve içindeki referanslar). Milone and Ziebarth (1974) ilk olarak yörünge dönemindeki olası bir değişikliği rapor etmiştir. Milone et al. (1979) ve Naftilan et al. (1987) O-C eğrisine bir parabol eklenebileceğini varsaymıştır.

Hall (1991) CG Cyg'nin O-C eğrisi ile tutulma dışındaki ortalama parlaklığın ve dönemin aynı çevrim uzunluğu olan $\sim$ 50 yıl ile değiştiğini öne sürmüştür. Albayrak et al. (1999) O-C eğrisini periyodik bir fonksiyonla sunmuştur ve çevrimsel dönem değişiminin nedeninin ışık zamanı etkisi olduğunu varsayarak, ışık eğrisi minimumunu uydurarak 46.54 yıl dönemli bir üçüncü cisim yörüngesi modeliyle dönem değişimini hesaplamıştır. Afşar et al. (2004), sistemde 51 yıllık bir yörünge dönemine ve O-C eğrisinde parlaklık değişimlerinin dönemine benzer 22.5 çevrimsel değişime sahip üçüncü bir cisimin varlığına dair kanıtları ortaya koymuştur.

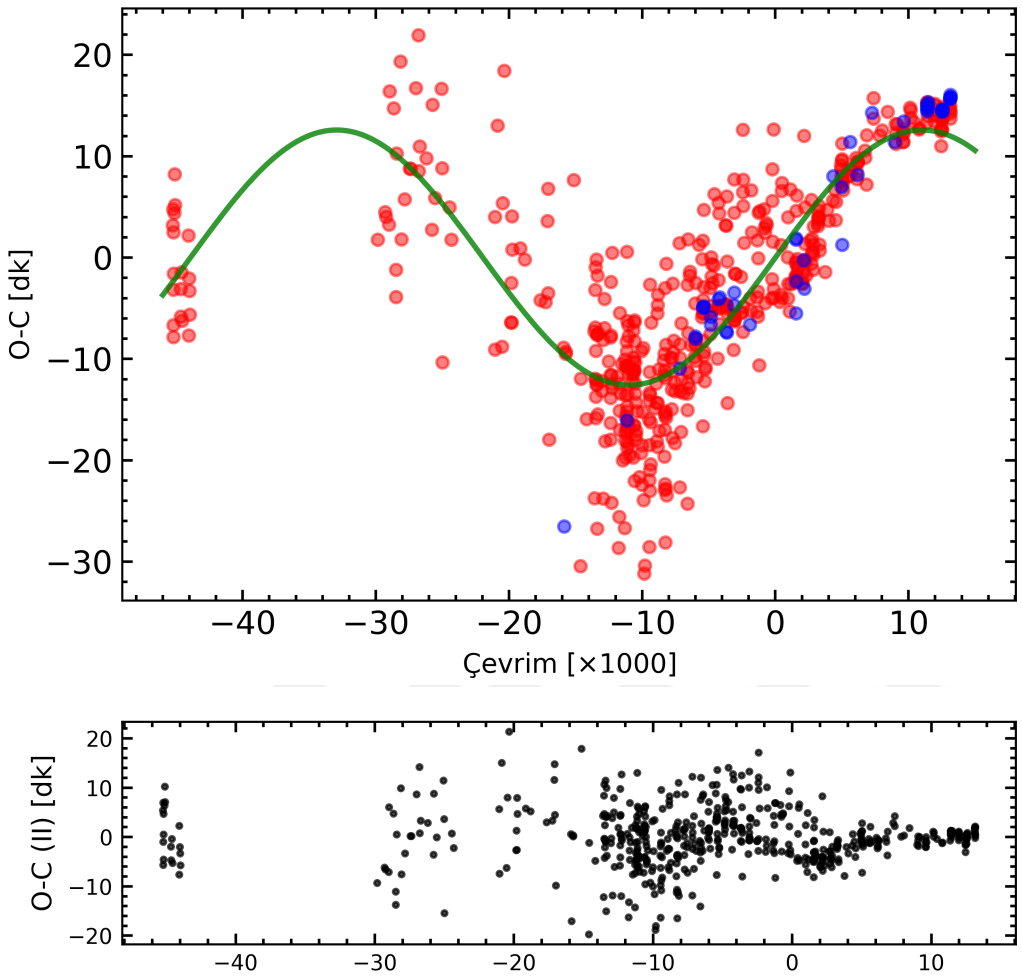
Jassur et al. (2006) O-C eğrisi analizi sonucunda CG Cyg'nin yörünge döneminin süreleri 52.3 yıl ve 15.9 yıl olmak üzere iki çevrimsel yapı ile değişken olduğunu bulmuştur. Tsantilas and Rovithis-Livaniou (2007) da sistemin yörünge döneminin 104.72, 52.36 ve 34.91 yıl ile üç olası çevrimsel salınım gösterdiğini ve bunların dP/dt = $+2.5077 \times 10^{-8}$ gün/yıl oranında uzun dönemli bir dönem artışının üzerine bindiğini önermiştir. Shi et al. (2012) dönemin 2.48×10^{-8} gün/yıl arttığını tahmin etmiştir. Cheng et al. (2022) tarafından sistemin yörünge değişimi 0.14 $M_\odot$'lik bir üçüncü cism ve yaklaşık 59.20 (0.36) yıllık bir dönem ile yorumlanmıştır, ayrıca CG Cyg'nin olası ikinci dönem salınımı yaklaşık 18.31 (0.06) yıllık bir çevrim ile analiz edilmiştir. CG Cyg'nin uzun dönem değişimlerinin kütle transferinden ziyade manyetik aktivite veya yıldız rüzgârından kaynaklı olabileceği tartışılmıştır (Cheng et al., 2022).

Sistemin yörünge ve fiziksel parametre tayini farklı yazarlar tarafından elde edilmiştir. Kjurkchieva et al. (2003) tarafından i=83 derece iken bileşenlerin kütleleri M_1=0.97 $\pm$ 0.04 $M_\odot$ ve M_2=0.8 $\pm$ 0.03 $M_\odot$ olarak verilirken yarıçapları ve sıcaklıkları sırasıyla R_1=1.00 $\pm$ 0.03 $R_\odot$, R_2=0.83 $\pm$ 0.03 $R_\odot$, T_1=5200 $\pm$ 50 K, T_2=4400 $\pm$ 50 K olarak hesaplanmıştır. Cheng et al. (2022) tarafından sistemin fiziksel ve yörünge parametreleri: i=82.890 $\pm$ 0.029, q=0.820 $\pm$ 0.001, M_1=0.953 $M_\odot$, M_2=0.782 $M_\odot$, R_1=0.99 $R_\odot$, R_2=0.84 $R_\odot$, T_1=5200 K, L_1=0.64 $\pm$ 0.05 $L_\odot$, L_2=0.28 $\pm$ 0.02 $L_\odot$ ve a=3.717 $R_\odot$ olarak tahmin edilmiştir.

2.4.2 Dönem Değişim Analizi

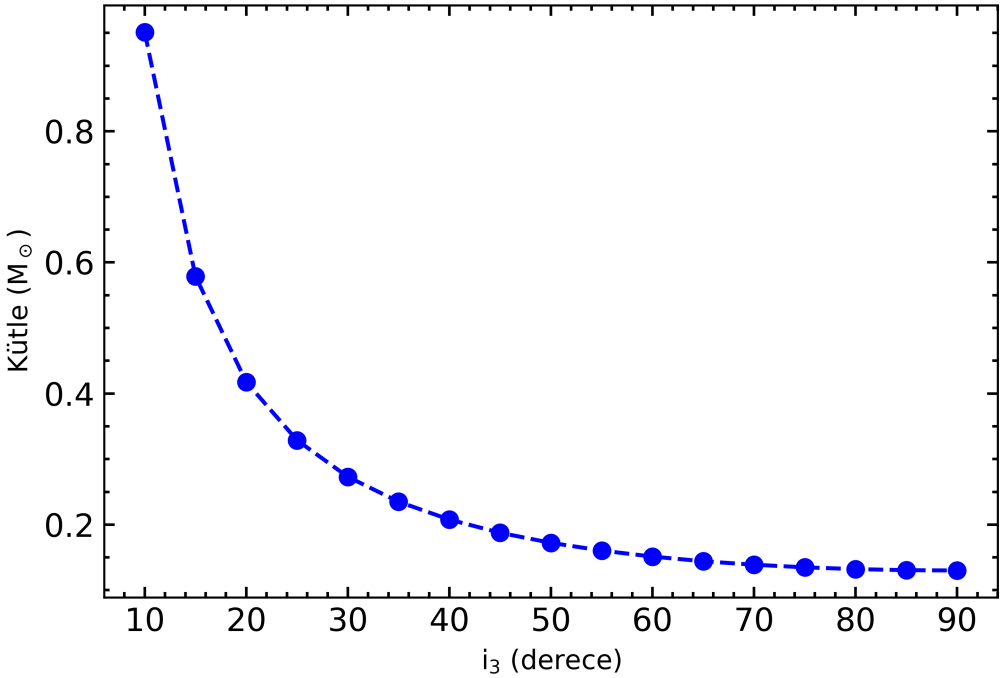
Kısa dönemli CG Cyg aktif çift sisteminin elde edilmiş tüm minimum zamanları literatürden toplanmıştır. Dönem değişim analizi için bu çalışma kapsamında TESS uydu gözlemleri ile elde edilen minimum zamanları ile toplanan minimum zamanları birleştirilmiştir. Analiz sırasında TESS gözlemlerinden elde edilen 31 adet yeni minimum zamanına ek olarak literatürde bulunan 523 minimum zaman kullanılmıştır. Gözlenen minimum zamanlar XY UMa sisteminde de uygulanan ağırlıklarla ele alınmış ve en küçük kareler yöntemi ile çözüm yapılmıştır. Sistemin fotoelektrik minimum zamanları Tablo 2.11'de verilmiştir. TESS verisi ile elde edilen ışık eğrileri kullanılarak elde edilen minimum zamanları katlanarak okunduğu için analizler sırasında bu noktalara iki kat daha fazla ağırlık verilmiştir. Dönem değişim analizleri RT And sisteminde de belirtilen yöntemler takip edilerek yapılmıştır.

(O-C) diyagramının analizi sonucu elde edilen birinci ve ikinci dereceden farkların (O-C(I) ve O-C (II)) çevrime karşı değişimi Şekil 2.13'de verilmiştir. Şekilde de anlaşılacağı üzere göreli olarak büyük bir döneme sahip ve dairesel bir yörüngede dolanan bir ilave cisim olasılığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucu üçüncü cismin yörünge dönemin 78 yıl olarak elde edilmiştir. Üçüncü cismin olası tüm yörünge eğim açılarına karşın alabileceği kütle değeri de Şekil 2.14'de verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi üçüncü cisim için minimum kütle değeri (i_3=90°) 0.13 $M_\odot$ olarak öngörülebilir.



Şekil 2.13: CG Cygni örten çift sisteminin (O-C) diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model. Kırmızı ve mavi noktalar sırası ile baş ve yan minimumları göstermektedir. Düz sürekli yeşil üçüncü cisim varlığı durumunda beklenen kuramsal değişimi gösterirken alt panelde bulunan sürekli siyah değişim ise bu etkiden çıkarılmış artıkları simgelemektedir.

Şekil 2.13'ün alt paneline bakıldığında ikinci dereceden farkların zamana karşı değişimi bize hala çevrimsel bir değişim olduğu yönünde ipucu vermektedir. Bu değişim bir başka ek cisim (20 yıl döneme sahip başka bir cisim) olabileceği gibi, çok aktif çift yıldızların dönem değişiminden beklediğimiz gibi bir aktivite çevrimine işaret ediyor olabilir. Kabaca 20 yıllık bir çevrim böylesi sistemlerde beklenen mertebededir.



Şekil 2.14: CG Cygni örten çift sisteminin yörüngesinde bulunana olası üçüncü bileşene ilişkin kütle değerlerinin dış yörüngenin eğim açısına bağlı değişimi.

Böylesi değişimler tarafından dikkat çekilmiş ve literatürde çok sistemde (örneğin RT Lac Keskin et al. (1994)) görülmüştür. Bazı sistemlerde ise dönem değişiminde görülen böylesi değişimlerin nedeni konusunda hemfikir olunamamıştır. Böylesi değişimin görüldüğü sistemlerden biri V471 Tau (Ibanoglu et al., 1994) çift sistemidir. Daha da yakın zamanda TESS gözlemleri kullanılarak dönem değişim analizinden aktivite etkisi PP Lac (Yılmaz et al., 2023) sisteminde ve çok sayıda yakın sistemde tespit edilmiştir. RT And çift sisteminde de değindiğimiz aktivite ve dördüncü cisim olasıklıklarını dikkate alarak tekrar çözüm yaptığımızda, sisteme yakın iç yörüngede dolanan 8.9 yıllık bir üçüncü cisimin ve dış yörüngede dolanan 263 yıllık bir dördüncü cismin varlığını öngörmekteyiz.

Tablo 2.11: CG Cyg çift sistemine ilişkin baş ve yan minimum zamanları (HJD*=HJD - 2400000).

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
39052.11630	1	48458.35630	1	50702.38630	1	52785.79270	1	54996.69560	1
39649.17720	1	48463.40480	1	51044.46620	1	52798.41550	1	55068.33220	1
40383.19410	1	48464.35280	1	51044.46760	1	52810.40760	1	55105.25210	1
40726.54200	1	48825.36660	1	51364.45380	1	52863.42410	1	55380.43050	1
41483.90480	1	48825.36690	1	51364.45940	1	52864.37160	1	55381.69230	1
41581.73160	1	48828.52230	1	51364.46150	1	52898.45140	1	55415.14410	1
41584.25630	1	48831.36290	1	51381.50660	1	52930.32720	1	55420.50790	1
43049.13770	1	48831.36320	1	51395.38680	1	52931.58840	1	55425.24240	1
43297.17660	1	48840.51350	1	51436.41880	1	52963.14540	1	55436.60290	1
43429.72300	1	48840.51390	1	51442.71870	1	52986.49680	1	55759.74910	2
44425.65910	1	48840.51530	1	51719.47464	1	53183.41590	1	55785.62550	2
44475.51820	1	48895.42360	1	51719.47679	1	53224.44383	1	55837.37740	2
44475.51850	1	48895.42360	1	51720.42061	1	53232.64350	1	55856.31510	2
44487.51150	1	48895.42360	1	51720.42094	1	53267.35720	1	56101.51576	2
44488.45760	1	48896.37090	1	51727.36309	1	53335.52240	1	56170.62560	2
44528.53510	1	48896.37110	1	51732.41320	1	53529.91480	1	56176.30730	2
46332.34800	1	49184.48750	1	51773.43800	1	53548.84890	1	56462.84380	2
46987.47460	1	49185.43240	1	52110.46903	1	53555.79210	1	56590.33510	2
46987.47480	1	49186.38080	1	52110.47300	1	53567.15250	1	56842.79370	2
46993.46870	1	49186.38080	1	52110.47300	1	53568.41540	1	57179.50660	2
46993.46900	1	49189.53660	1	52110.47320	1	53568.41540	1	57227.79030	2
46993.46940	1	49191.42990	1	52110.47320	1	53581.66890	1	57236.62570	2
46999.46560	1	49224.56310	1	52122.46180	1	53611.33083	1	57240.41180	2
47733.48650	1	49224.56310	1	52129.40260	1	53624.58440	1	57305.42090	2
47734.43310	1	49225.51150	1	52196.30290	1	53887.76970	1	57564.82050	2
47734.43350	1	49569.48370	1	52240.48480	1	53977.39630	1	57573.65560	2
47735.37980	1	49570.43240	1	52459.49160	1	53977.39630	1	57577.44300	2
47738.53530	1	49574.53220	1	52473.37720	1	54062.59990	1	57583.75390	2
47739.48260	1	49574.53320	1	52490.41900	1	54260.46640	1	57600.48063	2
47745.47300	1	49574.53430	1	52495.46710	1	54338.41170	1	57607.73800	2
48089.45310	1	49577.37400	1	52496.41140	1	54388.26990	1	57909.42620	2
48093.55430	1	49577.37420	1	52497.36030	1	54394.58260	1	57939.72090	2
48093.55600	1	49578.31970	1	52497.36070	1	54621.79670	1	57942.87610	2
48093.55770	1	49578.31990	1	52498.30990	1	54638.83730	1	58085.51420	2
48096.39610	1	49579.58210	1	52501.46570	1	54657.45480	1	58322.82360	2
48097.34260	1	49581.47580	1	52502.41080	1	54658.40200	1	58340.49570	2
48097.34290	1	49923.53940	1	52512.51263	1	54675.44420	1	58687.62490	3
48097.34910	1	49925.44910	1	52515.34790	1	54676.70520	1	58739.37910	4
48101.44580	1	49930.48120	1	52522.60650	1	54681.75680	1	58754.52700	4
48124.48210	1	50281.42450	1	52526.39881	1	54688.69830	1	58763.36310	4
48455.51630	1	50281.43350	1	52563.63110	1	54706.36890	1	58764.31020	4
48457.40970	1	50281.43560	1	52563.63270	1	54709.52430	1	59068.20520	3
48457.40990	1	50316.44160	1	52566.78710	1	54737.29420	1	59068.20550	3
48458.35600	1	50702.38620	1	52589.50820	1	54989.75250	1	59068.20560	3

Tablo 2.11: Devam

HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.	HJD*	Ref.
59081.45840	3	59474.66170	8	58731.48975	9	59436.47647	9	59811.37650	9
59081.45880	5	58711.60885	9	59420.06679	9	59436.79176	9	59814.84669	9
59156.56490	5	58711.92388	9	59420.38176	9	59440.26345	9	59815.16339	9
59376.83180	6	58715.39580	9	59423.85366	9	59440.57867	9	59818.63327	9
59376.83280	6	58715.71087	9	59424.16859	9	59797.17536	9	59818.95047	9
59384.40670	3	58719.18250	9	59427.64048	9	59797.49131	9		
59393.87380	7	58719.49814	9	59427.95550	9	59800.96197	9		
59418.48840	3	58727.38751	9	59431.42743	9	59801.27817	9		
59457.62030	8	58727.70283	9	59431.74238	9	59811.06007	9		

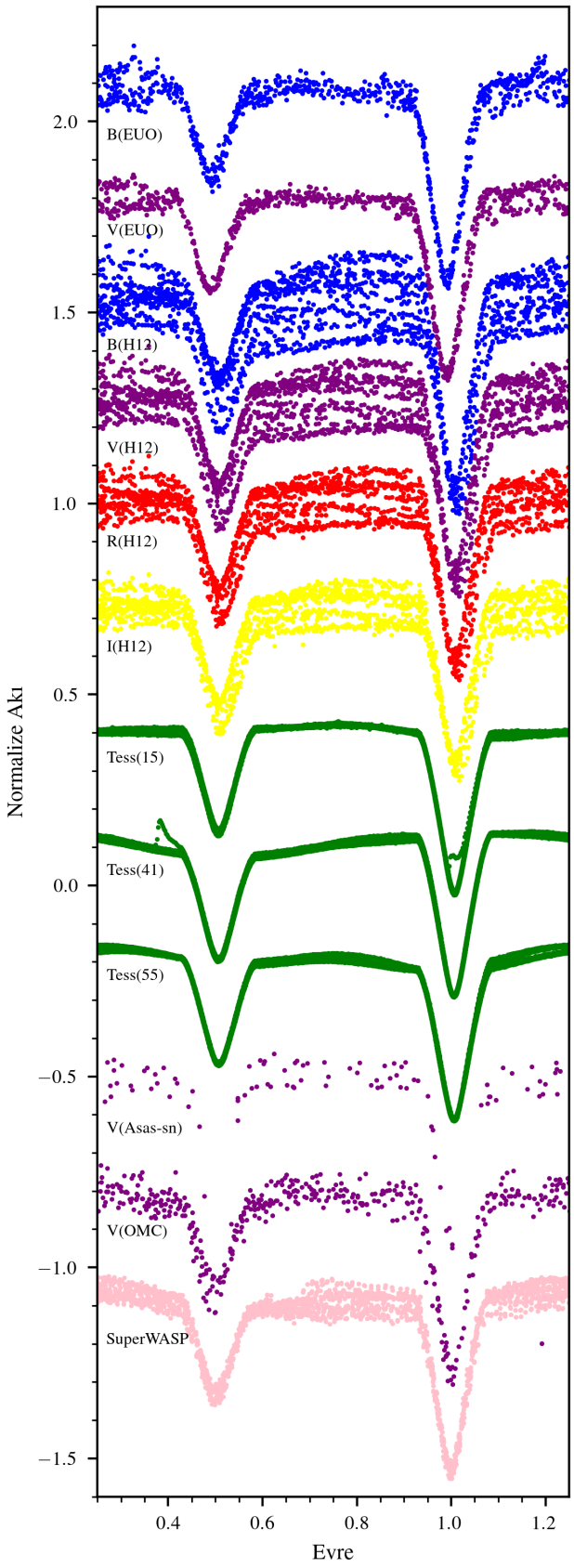
Tablo için Kaynaklar 1-Shi et al. (2012); 2-(O-C) BAV:`https://www.bav-astro.eu/index.php/veroeffentlichungen/service-for-scientists/lkdb-engl`; 3- (O-C) Gateway `http://var2.astro.cz/ocgate/`; 4-Samolyk (2020); 5-Samolyk (2021b); 6-Samolyk (2021a); 7-Nelson (2021); 8-Samolyk (2022); 9- Bu çalışma-TESS.

Tablo 2.12: CG Cyg'nin dönem değişim analizi sonucu elde edilen parametreler. Son basamaktaki standart hatalar 1σ seviyesinde olup, parantez içinde verilmiştir.

Parametre	Birim	Değer
T_o	[HJD]	2451522.2460±0.0004
P_o	[gün]	0.63114335±0.00000003
P_3	[yıl]	77.8±1.2
T_3	[HJD]	2452638
e_3		0.00±0.06
ω_3	[°]	9.8
$f(m_3)$	[$M_\odot$]	0.000606±0.000011
$m_{3;i'=30^\circ}$	[$M_\odot$]	0.27±0.04
$m_{3;i'=60^\circ}$	[$M_\odot$]	0.15±0.03

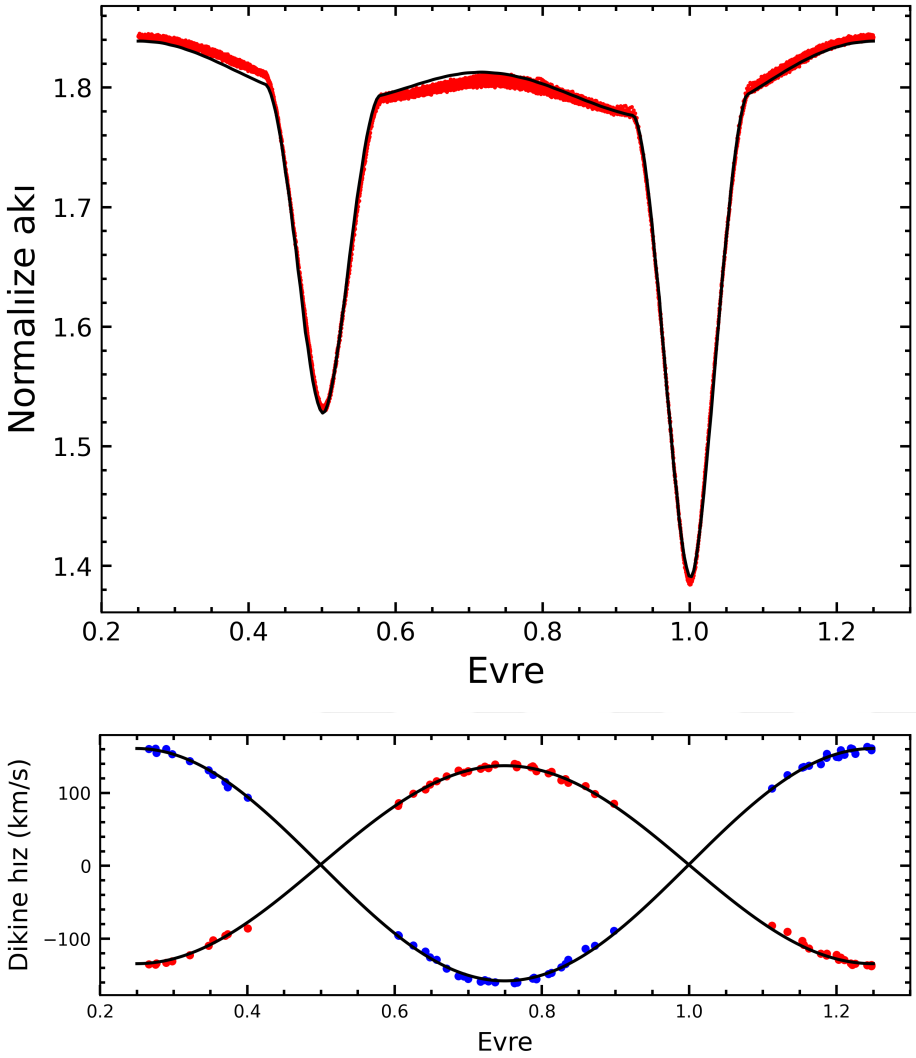
2.4.3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi

CG Cygni örten aktif çift sisteminin literatürde yayınlanmış olan ışık eğrileri ile TESS, OMC, ASAS-SN ve SuperWASP uydu veri setlerinden elde edilen ışık değişimleri maksimum ışığa normalize edilmiş ve Şekil 2.15'te verilmiştir. Şekil 2.15'te gösterilen ışık eğrileri içinde TESS uydu veri setleri çok daha hassastır. Bu nedenle, sentetik modellerin oluşturulması sırasında dikine hız ile sadece TESS verisi kullanılmıştır. Hem RT And hem XY UMa'da takip edilen yöntemler kullanılarak yapılan çözümler sonucu elde edilen parametreler Tablo 2.13'te verilmiştir. Çözüm sonucunda hem ışık eğrisi hem de dikine hız eğrisi için elde edilen sentetik modeller Şekil 2.16'da gözlemler ile karşılaştırılarak verilmiştir.



Şekil 2.15: CG Cygni sisteme ilişkin literatürde bulunan ışık eğrileri ile çalışma kapsamında çeşitli tarama programlarından alınmış ışık eğrileri.

Şekil 2.15'de verilen ışık eğrileri için kaynaklar; H12:Heckert (2012); TESS; ASAS-SN; OMC; SuperWASP; EUO.



Şekil 2.16: Örten etkileşen çift sistem CG Cyg'nin TESS ışık eğrisi ve dikine hız çözümlerinin gözlemler ile uyumu. Dikine hız eğrilerinde kırmızı noktalar baş bileşene, mavi noktalar ise yoldaş bileşene aittir.

Tablo 2.13: CG Cyg çift sisteminin ışık ve dikine hız eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri.

Parametre	Değer
T_0 JD $-$ 2400000	59811.0604(1)
P/d	0.631122(4)
$i/^\circ$	81.4(2)
Ω_1	4.916(3)
Ω_2	4.632(2)
$q = m_2/m_1$	0.852(4)
T_1/K	5260 (200)
T_2/K	4885 (90)
l_2/l_{1+2}	% 39.0
Sıcak bileşenin göreli yarıçapı (R_1/a)	0.2506(2)
Soğuk bileşenin göreli yarıçapı (R_2/a)	0.2425(2)
$a_1 \sin i/R_\odot$	1.690
$a_2 \sin i/R_\odot$	1.984
$m_1 \sin^3 i/M_\odot$	0.903
$m_2 \sin^3 i/M_\odot$	0.770

2.4.4 Bileşen Yıldızların Fiziksel Parametreleri

Örten ayrık çift sistem CG Cygni'nin sahip olduğu çift çizgili dikine hız eğrileri ve hassas TESS fotometrisi sayesinde fiziksel parametreleri XY UMa'ya göre çok daha hassas olarak belirlenebilmiştir. Sistemin dikine hız ve ışık eğrilerinin analizi sonucu elde edilen parametreleri Tablo 2.13'te sunulmuştur. Bu tablo kullanılarak bileşen yıldızların ayrı ayrı kütle, yarıçap ve ışıtmaları büyük hassasiyetle hesaplanmış diğer tüm parametreleri ile birlikte Tablo 2.14'te listelenmiştir. Bu çalışmada sistemin bizden olan uzaklığı 101.5 pc olarak elde edilmiş olup Gaia'nın farklı bir yöntem ile bulmuş olduğu 98 pc değeri ile oldukça uyumludur.

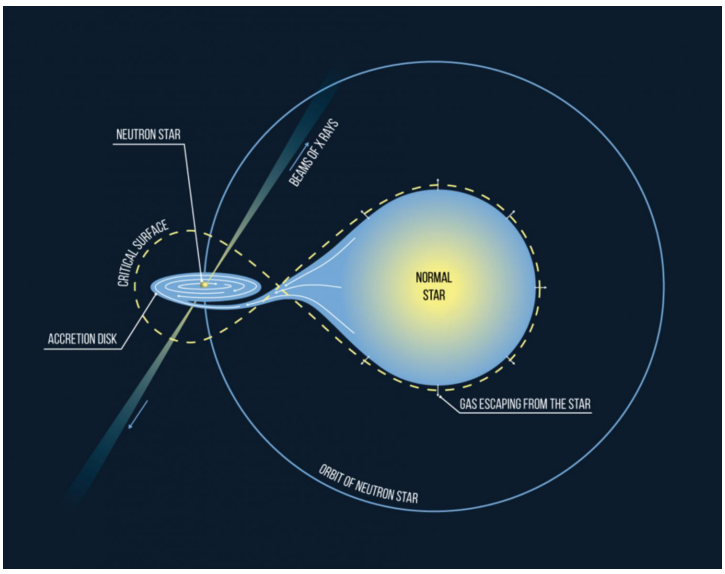
Tablo 2.14: CG Cyg ayrık örten çift sistemin fiziksel parametreleri. 1σ standart hatalar parantez içinde verilmiştir.

Parametre	Sıcak Bileşen	Soğuk Bileşen
Kütle $M/M_\odot$	0.934(6)	0.796(6)
Yarıçap $R/R_\odot$	0.931(2)	0.901(2)
Etkin Sıcaklık $T_{\rm eff}$/K	5 260(100)	4 885(100)
Işıtma ($L/L_\odot$)	0.596(48)	0.415(35)
Yüzey çekimi $\log_{10}(g/{\rm cm\,s^{-2}})$	4.471	4.430
Bolometrik salt parlaklık M_B	$5^{\rm m}.29$	$5^{\rm m}.69$
Görünür salt parlaklık M_V	$5^{\rm m}.50$	$6^{\rm m}.05$
Yıldızlar arasındaki ayrıklık $a/R_\odot$	3.716(9)	
Uzaklık (pc)	101.5(3.6)	

3 NÖTRON YILDIZI BİLEŞENLİ X-IŞIN ÇİFT SİSTEMLERİ

Büyük kütleli bir yıldız evriminin sonunda yıldızın bir çekirdek çöküşüne maruz kalmasıyla oluşan nötron yıldızı (veya bir kara delik) ve optik bileşenden oluşan X-ışın çift sistemlerinde, yoldaş yıldızdan (optik bileşen) nötron yıldızına doğru akan madde bir toplanma diski oluşturabilir, bunun aksi durumlar da mümkündür. Toplanma sırasında, madde bir dereceye kadar manyetosfere nüfuz eder ve manyetik alan çizgileri boyunca nötron yıldızının manyetik kutuplarına doğru akar. Kutuplara doğru düşen madde, birkaç yüz milyon dereceye kadar ısıtılır ve parlak X-ışın salması üretir. Nötron yıldızının dönme (spin) ekseni, manyetik ekseniyle farklı hizalandığında bir gözlemciye göre atmalar gözlemlenmesine neden olabilir. Çalışma kapsamında incelenen Her X-1 (HZ Her) böylesi atmaları sergileyen iyi bir örnektir (bkz. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).

En parlak galaktik şişim bölgesinde bulunan kaynakların X-ışın ışıtmaları $L_X \sim 10^{38}$ erg/s mertebesindedir. Eddington ışıtması yaklaşımı ile 10^{-8} $M_\odot$/yıl mertebesindeki kütle aktarım oranları ile uyumludur. Bu değer Verbunt and Zwaan (1981) tarafından anakol yıldızları için öngörülen 10^{-10} $M_\odot$/yıl değerinden 100 kat kadar daha büyüktür. Buna karşın, açısal momentum kaybını içeren bir toplanma diski ya da yoldaş yıldız için geliştirilmiş bir kütle-yarıçap ilişkisi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonuçları önemli derecede değiştirmemektedir (Kieboom and Verbunt, 1981). Bu nedenle kataklismik değişenler ve X-ışın çiftlerinin her ikisinde de kütle atımı büyük oranlarda olabilir. Anakol yıldızı bileşenli modellerde gravitasyonel ışıma ile açısal momentum kaybı açıklanabilir (Verbunt and Zwaan, 1981). Çalışma kapsamında incelenen nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerinin temsili olarak Roche-lobunu doldurmuş optik bir bileşene sahip sistemin geometrisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Roche-lobunu doldurmuş optik bileşen ve toplanma diski eşliğinde bir X-ışın çift sistemi temsili gösterimi. Kaynak: Moscow Institute of Physics and Technology

X-ışın çift sistemlerinin yörünge dönemleri, saat veya gün mertebesinde olup hem X-ışın hem de optik dalga boylarında hesaplanabilir. X-ışın akısındaki değişim, çift sistemin yörünge düzlemine yakın bakıldığında görülebilir. Bu durumda, X-ışın kaynağı yoldaş bileşen tarafından gölgelenir veya toplanma akışındaki madde tarafından örtülür. Optik dalga boylarındaki değişim, yoldaş yıldızın yüzeyindeki farklı konumlarından kaynaklanabilir. Bazı X-ışın çift sistemlerinde (örn. Her X-1), tutulma öncesi (X-ışın soğurması) akı düşüşleri, X-ışın dalga boylarında gözlenir (Jurua et al. (2011) ve içindeki referanslar). Akıdaki bu düşüşler genellikle gözlemcinin görüş düzlemi boyunca soğuk maddenin soğurulmasının bir sonucu olarak yorumlanmaktadır (İnam and Baykal, 2005). Bir dizi X-ışın çift sisteminde süperyörünge dönemler gözlenmiştir. Bu değişimler, on/yüz gün mertebesindeki zaman ölçeklerinde meydana gelebilir ve sıkışık yıldızın etrafındaki eğri bir diskin deviniminden kaynaklanabilir (Jurua et al., 2011).

Günümüzde nötron yıldızlarının kütle hesaplarının çoğu, pulsarlardan ve toplanan X-ışın çift sistemlerinin radyo, kızılötesi, gama-ışın ve optik gözlemlerden elde edilen gözlemler ile literatür ve onaylanmış X-ışın gökyüzü tarama

veri setlerini kullanarak (bkz. Champion et al. (2008); Liu et al. (2006); Özel et al. (2010); Farr et al. (2011)) ve LIGO/virgo (The LIGO Scientific Collaboration et al. (2021); Abbott et al. (2016a, 2017a); Çokluk et al. (2023)) tarafından birleşen çift nötron yıldızı sistemlerinin tespitinden yapılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, seçilen nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin TUG teleskopları kullanılarak yeni çokrenk optik gözlemleri 2015-2021 yılları arasında yapılmıştır. Tezde aynı zamanda literatürde bulunan tüm gözlemlerin yanı sıra Yer (ZTF, OMC, CATALINA, ASAS-SN gibi) ve Uzay (TESS, Kepler/K2, Gaia, XMM-Newton, MAXI, RXTE/ASM, Swift/BAT gibi) konuşlu teleskoplardan elde edilen gözlemler kullanılmıştır. Bilindiği gibi evrim modellerinin temel amacı, gözlem ve teorinin uyumunu aramaktır. Bunun için, gözlem bu tür sistemlerin özellikle örten çift olması durumunda fiziksel ve yörünge parametrelerinin tahmini için olanak sağlar. Bununla birlikte, çift sistemin sahip olduğu optik bileşenin sergilediği yıldız aktivitesi, yıldız rüzgarıyla kütle kaybı, kütle transferi, açısal momentum kaybı gibi önemli evrimsel astrofiziksel süreçlerin anlaşımasında ve tanımlanmasında önemli bir yeri vardır. Önceki yıllarda yapılan çalışmalarda, seçilen sistemlerimize ilişkin yörünge ve fiziksel parametreler hassas bir şekilde tayin edildiği için yeniden hesaplanmamıştır. Bunun yerine, kısa ve uzun dönemli değişimler araştırılmış ve buna neden olan fiziksel süreçler tartışılmıştır.

Tez çalışmasında, yörünge dönemleri yaklaşık 0.2 ile 4000 gün arasında değişen küçük ve büyük kütleli nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemleri ele alınmıştır. Seçilen sistemlerin çokrenk uzun ve kısa dönemli gözlemleri ve gözlenen özellikleri İçli and Yakut (2015) ve İçli (2016) da detayları ile verilmiş ve tartışılmıştır. Çalışma kapsamında ise gözlemsel proje kapsamında da incelediğimiz iyi çalışılmış Her X-1, Sco X-1, PSR J1023+0038 ve SAX J2103.5+4545 sistemleri sunulmuştur. Hedef sistemlerin gözlemsel özellikleri Tablo 3.1'de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 3.1: Seçilen NSXRB sistemlerin TUG-T60 gözlem özellikleri. Gözlem zamanı (BJD-2450000) olarak verilmiştir. Gözlem nokta sayıları VRI bandları toplamına karşılık gelmektedir.

Sistem	Tür	α	δ	V	P_{orb}(gün)	Gözlem Zamanı	N_{obs}
SAX J2103.5+4545	HMXB	$21^h\ 03^m\ 35^s.7$	$+45°\ 45'\ 05''.5$	$14^m.20$	12.6	7236.4799-9204.1607	1833
Her X-1	LMXB	$16^h\ 57^m\ 49^s.8$	$+35°\ 20'\ 32''.4$	$13^m.63$	1.700	7236.2972-9150.1837	2037
Sco X-1	LMXB	$16^h\ 19^m\ 55^s.0$	$-15°\ 38'\ 25''.0$	$11^m.10$	0.787	7086.6346-9056.2680	1390
PSR J1023+0038	LMXB	$10^h\ 23^m\ 47^s.6$	$+00°\ 38'\ 41''.0$	$17^m.31$	0.198	7731.5797-9235.5218	611

3.1 Gözlemler ve İndirgemeler

X-ışın çift sistemleri hem X-ışın bölgesinde önemli akı değişimleri sergiler hem de optik bölgede de değişimler gözlenmektedir. Onların uzun dönemli ışık değişimleri bize bu sistemlerde oluşan ani değişimlerin yanı sıra yoldaş yıldızın yüzeyindeki değişimler hakkında da bilgi sunar. Bu değişimler, bileşen yıldızın sahip olduğu yıldız aktivitesi başta olmak üzere sıcak yıldız rüzgarları ve bileşenin bozulmuş yapısı nedeni ile meydana gelmiş olabilir. Tezin bu bölümünde geri tür ya da ön tür bir bileşen ve bir nötron yıldızından oluşan çift sistemlerin V, R ve I bandlarındaki uzun ve kısa dönemli ışık değişimleri ele alınmıştır. Elde edilen tüm yeni gözlemler ile bu sistemlere ilşkin literatürde bulunan tüm veri setleri (PTF, AAVSO, SuperWASP, ASAS-SN, ASAS, OMC, ZTF, NSVS, CATALINA (CSS), ATLAS2, ATLAS, GSC2.3.2, Kepler/K2, ASAS-3, APASS, TESS gibi tarama programları ve XMM-Newton, MAXI, RXTE/ASM ve Swift/BAT X-ışın ışık eğrileri) birleştirilmiş ve uzun dönemli ve bazı kısa dönemli değişimlerin doğasını anlamak amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının nötron yıldızı bileşenli çift sistemlere ilişkin gözlemsel kısmı için uzun dönemli gözlem takibi TUG-T60 robotik teleskobu kullanılarak 776 ve 1298 nolu gözlem projeleri kapsamında, bazı sistemler için kısa dönemli gözlem takibi T100 teleskobu kullanılarak 1341 nolu gözlem projesi kapsamında yapılmıştır. Şubat 2015'de başlayan hedef sistemlerin yeni optik gözlemleri 2020 yılına kadar devam etmiştir. Bunun için olabildiğince uzun zaman diliminde, seçilen sistemlerin hem yörünge hem de aktivite

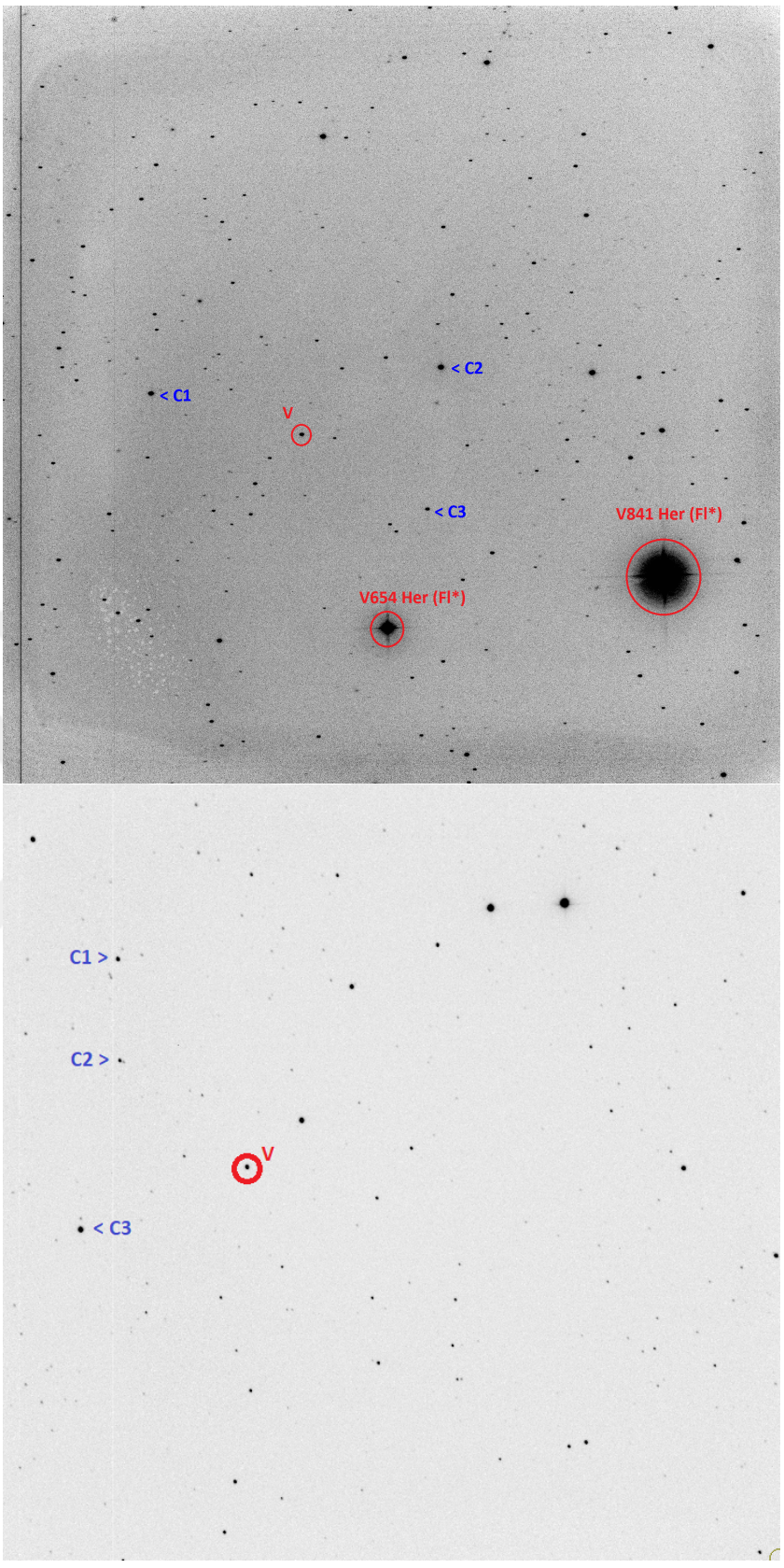
değişimleri kaynaklı olası ışık değişimlerinin incelenmesi ve bu gözlemlerle bu tür sistemlerin optik değişimleri konusunda literatüre önemli katkı sağlanması amaçlanmıştır. Seçilen sistemlerin gözlem zamanları ve gözlem nokta sayıları Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

V, R ve I bandlarında elde edilen gözlemler 5, 20, 60 ve 120 sn ile değişen poz sürelerinde ele alınmıştır. Sistemlerin gözlem verilerinin indirgenme aşaması CCD alanında belirlenen mukayese yıldızları kullanılarak yapılmış ve standart fark fotometrisi yöntemi ile ele alınmıştır. Her bir sistem için CCD alan görüntüleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiş ve seçilen/kullanılan mukayese yıldız bilgisi Tablo 3.2'de verilmiştir. T60 verileri her bir gözlem dönemi kendi içerisinde, T100 verileri ise her bir gözlem gecesi kendi içerisinde olacak şekilde indirgenmiştir. Tüm gözlemlerin indirgeme işlemleri ve veri analizi MaximDL, IRAF/PHOT ve AstroImageJ (Collins et al., 2017) programları yardımıyla yapılmıştır. Görüntülerin eşleştirme işlemleri konusunda daha hızlı ve başarılı olduğu için MaximDL programı tercih edilirken, fotometrik ölçüm konusunda AstroImageJ yazılımı daha hassas olduğundan nihai ölçümler AstroImageJ kullanılarak elde edilmiştir. Uzun yıllardır başarılı bir şekilde test edilen IRAF yazılımını ise gözlemlerimizin doğruluğunu test etmek için kullandık ve IRAF'ın bir alt rutini olan APPHOT paketi ile ele aldık. İndirgeme bias ve dark görüntülerinin çıkarılması ve flat alanına bölünmesiyle gerçekleştirildi. Zaman düzeltmeleri ise daha önceki çalışmalarımızdaki gibi (Koçak et al., 2021; Çokluk et al., 2019; İçli et al., 2013) ele alınmıştır.

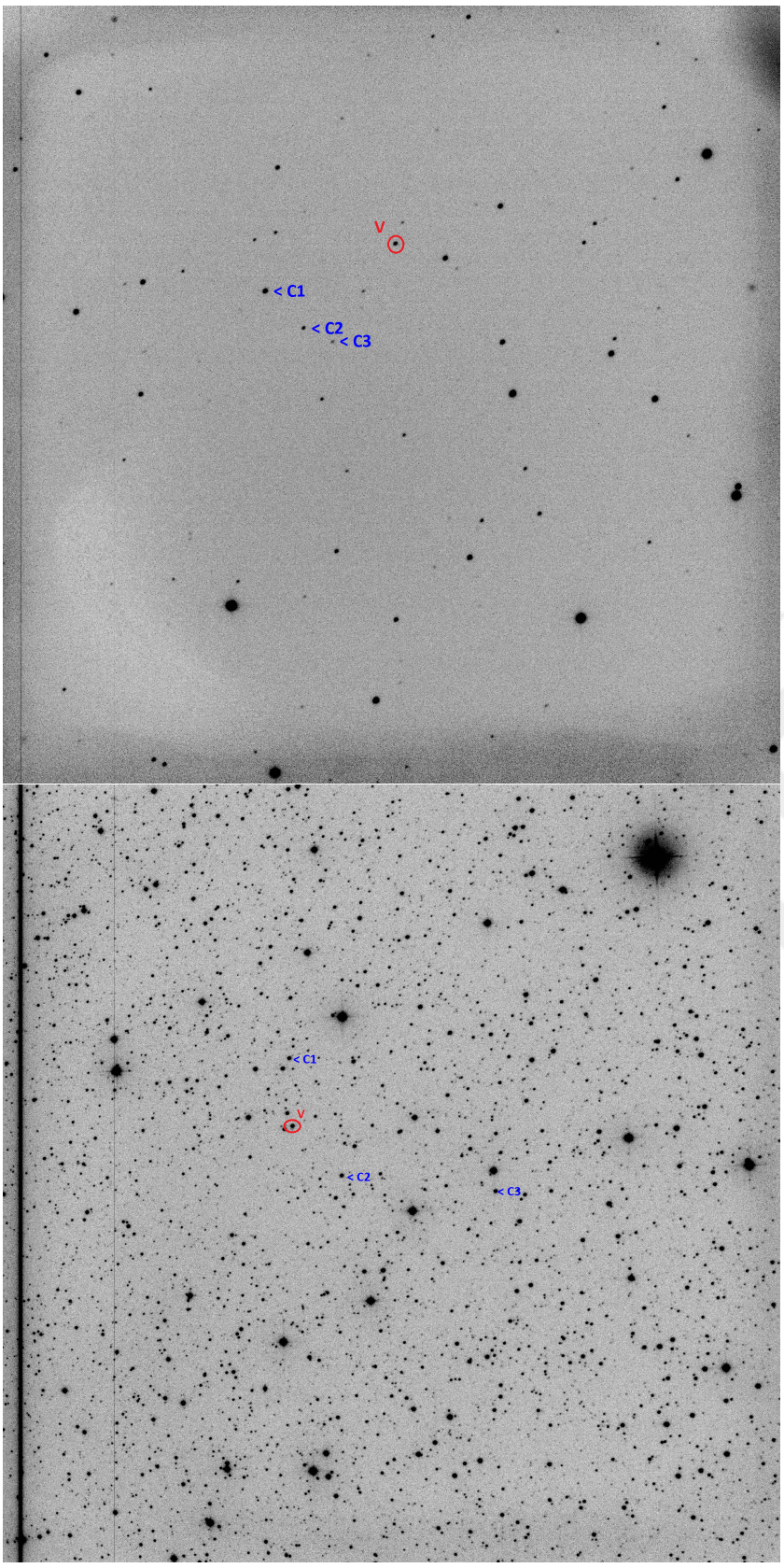
Tablo 3.2: NSXRB sistemlerinin gözlem verilerinin indirgenmesinde kullanılan mukayese yıldızlarının bilgileri.

Mukayese yıldız	α/δ	B	V
HZ Her			
C1	$16^h\ 58^m\ 06^s.31\ +35°\ 21'\ 34''.40$		
C2 (2MASS J16573442+3521574)	$16^h\ 57^m\ 34^s.42\ +35°\ 21'\ 57''.52$		
C3	$16^h\ 57^m\ 36^s.34\ +35°\ 18'\ 50''.84$		
Sco X-1			
C1 ($[HH95]$ V818 Sco-10)	$16^h\ 20^m\ 15^s.30\ -15°\ 35'\ 20''.00$	$16^m.02$	$15^m.10$
C2 ($[HH95]$ V818 Sco-3)	$16^h\ 20^m\ 06^s.50\ -15°\ 33'\ 45''.00$	$14^m.74$	$13^m.04$
C3 (BD-15 4303)	$16^h\ 20^m\ 10^s.58\ -15°\ 39'\ 42''.35$	$12^m.22$	$11^m.37$
PSR J1023+0038			
C1	$10^h\ 23^m\ 59^s.44\ +00°\ 37'\ 46''.51$		
C2	$10^h\ 23^m\ 56^s.21\ +00°\ 36'\ 51''.54$		
C3	$10^h\ 23^m\ 53^s.48\ +00°\ 36'\ 32''.59$		
SAX J2103.5+4545			
C1	$21^h\ 03^m\ 36^s.05\ +45°\ 46'\ 37''.47$		
C2	$21^h\ 03^m\ 29^s.57\ +45°\ 44'\ 01''.02$		
C3 (UCAC4 679-094807)	$21^h\ 03^m\ 09^s.93\ +45°\ 43'\ 33''.73$	$15^m.22$	$14^m.38$

Çalışma kapsamında uzun dönemli gözlemleri elde edilen sistemlerin dönemsel veya çevrimsel değişimleri de araştırılmıştır. Bunun için hedef sistemlerin 6 yılı aşkın TUG-T60 verisi ile bazı sistemler için 100 yılı aşkın bir zaman dilimini kapsayan tüm literatür veri setleri Fourier serisi analizi yöntemi kullanan Period04 (Lenz and Breger, 2005) yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Hedef sistemlerin temel parametreleri (Gaia Collaboration et al., 2023) Tablo 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.2: HZ Her (üst panel) ve Sco X-1 (alt panel) sistemlerinin TUG-T60 teleskobuyla elde edilen CCD alan görüntüleri.



Şekil 3.3: PSR J1023+0038 (üst panel) ve SAX J2103.5+4545 (alt panel) sistemlerinin TUG-T60 teleskobuyla elde edilen CCD alan görüntüleri.

Tablo 3.3: Tez çalışması kapsamında seçilen nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerin temel parametreleri.

	Her X-1	Sco X-1	PSR J1023	SAX J2103
TIC ID	341738544	52901460	277798746	273066197
2MASS	J16574981+3520323	J16195506-15382506	J10234768+0038412	J21033570+4545055
Gaia ID	1338822021487330304	4328198145165324800	3831382647922429952	2162805896614571904
α_{2000}	16^h 57^m $49^s.8110$	16^h 19^m $55^s.0692$	10^h 23^m $47^s.6841$	21^h 03^m $35^s.7100$
δ_{2000}	35° 20′ 32″.4865	-15° 38′ 25″.0176	00° 38′ 41″.0058	+45° 45′ 05″.5687
B	$14^m.89$	$12^m.40$		$15^m.34$
V	$13^m.63$	$11^m.10$	$17^m.31$	$14^m.20$
Tayf türü	∼ A7	∼ K4 IV ya da geri tür	G0 V	B0 Ve
Dönem (gün)	1.70017	0.787	0.198	12.665
$\pi_{\rm Gaia}$(mas)	0.1152	0.4296	0.6861	0.1308

Çalışma kapsamında, elde edilen optik gözlemlere ek olarak X-ışın bölgesinin farklı enerji bölgelerinde gözlem yapan X-ışın alıcılarından (MAXI, XMM-Newton, vb.) gözlemler de kullanılmıştır. Burada, hedef sistemlerin özellikle geri tür optik bileşen kaynaklı yıldız aktivitesi, ani akı değişimleri gibi etkileri ve varsa aynı gözlem dönemi içerisinde kalan X-ışın veri setleriyle de bu değişimleri teyit etmek amacıyla MAXI, Swift/BAT, RXTE/ASM ve XMM-Newton ile elde edilmiş ışık eğrileri incelenmiştir. Aşağıda tez çalışması kapsamında seçilen NSXRB sistemleri ayrı ayrı ele alınmış, gözlemler detaylı incelenmiştir.

3.2 Küçük Kütleli Örten Çift Sistem Her X-1

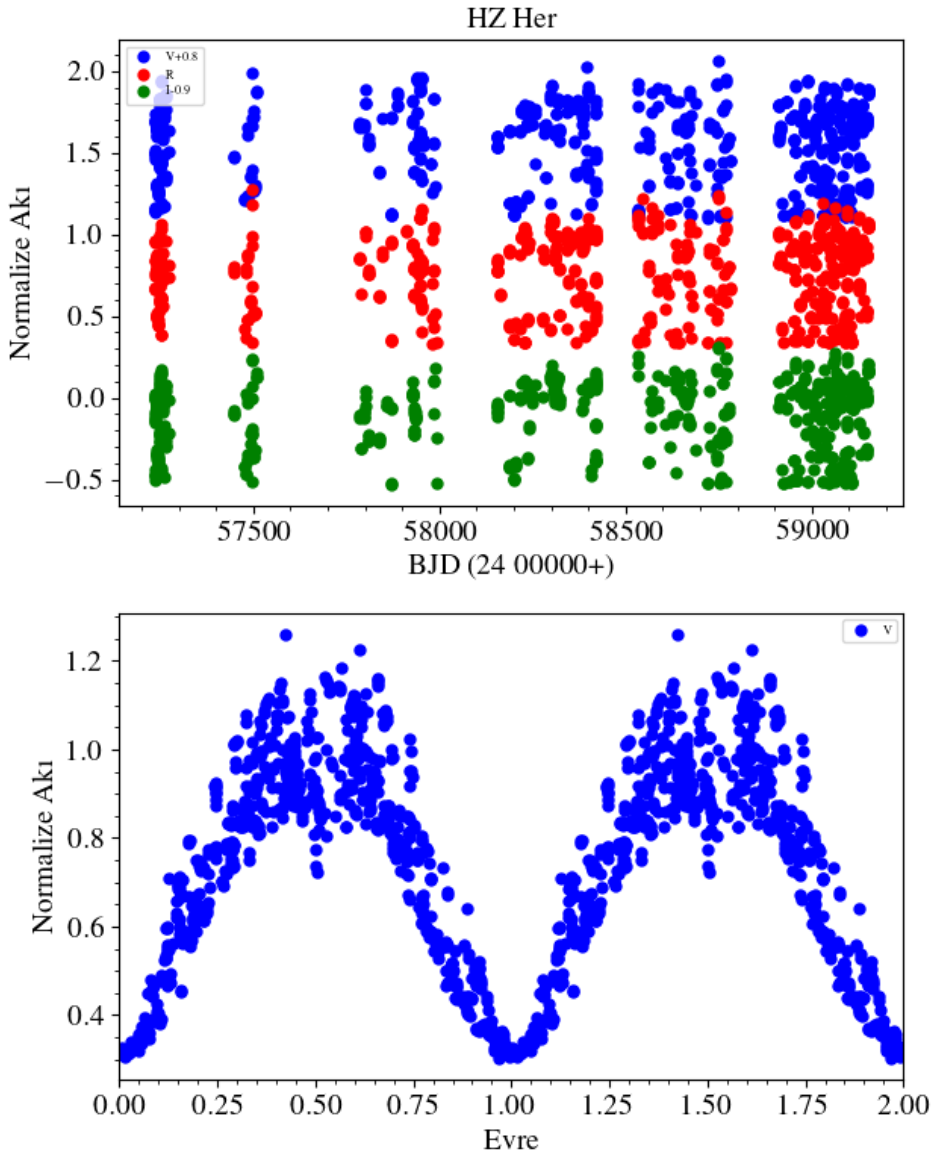
Galaktik nötron yıldızlı X-ışın çifti Her X-1, ilk olarak 1972 yılında UHURU uydusu ile keşfedilmiştir (Tananbaum et al., 1972). Optik olarak HZ Her değişkeni olarak bilinen tayf türü ∼A7 (İçli et al., 2019; Leahy and Scott, 1998; Middleditch and Nelson, 1976) olan 2.2 $M_{\odot}$'lik Roche lobunu doldurmuş yıldız etrafında yörüngede 1.5 $M_{\odot}$'lik (Reynolds et al., 1997; İçli et al., 2019) pulsar içeren örten bir X-ışın çiftidir. Her X-1'deki kütle transferinin öncelikle Roche lobu taşması yoluyla gerçekleştiğine inanılsa da, Her X-1'in yoldaş yıldızının, olası toplanma oranını etkileyen bir rüzgara sahip olduğuna dair bir gösterge vardır ((Boroson et al., 2007) ve içindeki referanslar). Her X-1, 1.24 s'lik bir atma dönemine, 1.7 günlük bir yörünge dönemine sahiptir ve uzaklığı 6.6 kpc'dir (Tananbaum et al., 1972; Reynolds et al., 1997).

Sistem farklı dalga boylarında (Optik, Moröte, Radyo ve X-ışın) gözlenmiştir bakınız, örneğin, (İçli et al., 2020, 2019; İçli, 2016; İçli and Yakut, 2015; Cherepashchuk et al., 1974; Shakura et al., 1997). Ek olarak, çeşitli dalga boylarında örneğin X-ışınlarında (Giacconi et al., 1973; Scott et al., 2000) ve moröte/optik dalga boylarında (Deeter et al., 1976; Gerend and Boynton, 1976; Leahy and Marshall, 1999) tespit edilen ∼35 günlük bir 'süperyörünge' değişimi gösterir. Geniş bir enerji aralığında saptanan değişim düşük ve yüksek durum arasında geçiş yapan X-ışınlarında yaygındır. 35 günlük modülasyonun, nötron yıldızının çarpık-warped-eğrilmiş bir toplanma diski tarafından periyodik olarak örtülmesinin bir sonucu olduğuna inanılmaktadır (Jurua et al., 2011). Optik fotometrik değişimler, Her X-1'in süperyörünge ve yörünge dönemleri arasında 1.62 günlük bir atma dönemi gösterir. Optikte, 1.62 günlük fotometrik değişime, bileşen yıldızın iç yüzünden yeniden işlenmiş X-ışın salması hakimdir ve yüksek enerjili ışınım alanı tarafından yönlendirilen eğrilmiş ve hareket eden toplanma diski tarafından örtülmüştür; X-ışınlarında ise, nötron yıldızına (Gerend and Boynton, 1976) yakın X-ışın yayan bölgeyi kapatan dış disk maddesinin değişen dikey boyutunun bir sonucudur (Erkut et al., 2008; Jurua et al., 2011).

Güçlü bir manyetik alana sahip bütün nötron yıldızları arasında en büyüğü Her X-1'dir. Sistemin galaktik düzleme olan uzaklığı, nötron yıldızı bileşeninin $\sim 6 \times 10^8$ yıl civarındaki belirlenen görece düşük yaşını açıklar niteliktedir (Verbunt et al., 1990; Chanmugam and Brecher, 1987). Buna rağmen büyük bir yaşa sahip olan bu sistemdeki nötron yıldızı güçlü bir manyetik alana sahiptir ve değeri B $\sim 10^{12}$ G ile B $\sim 3 \times 10^{12}$ G arasındadır (White et al., 1995; Truemper et al., 1978).

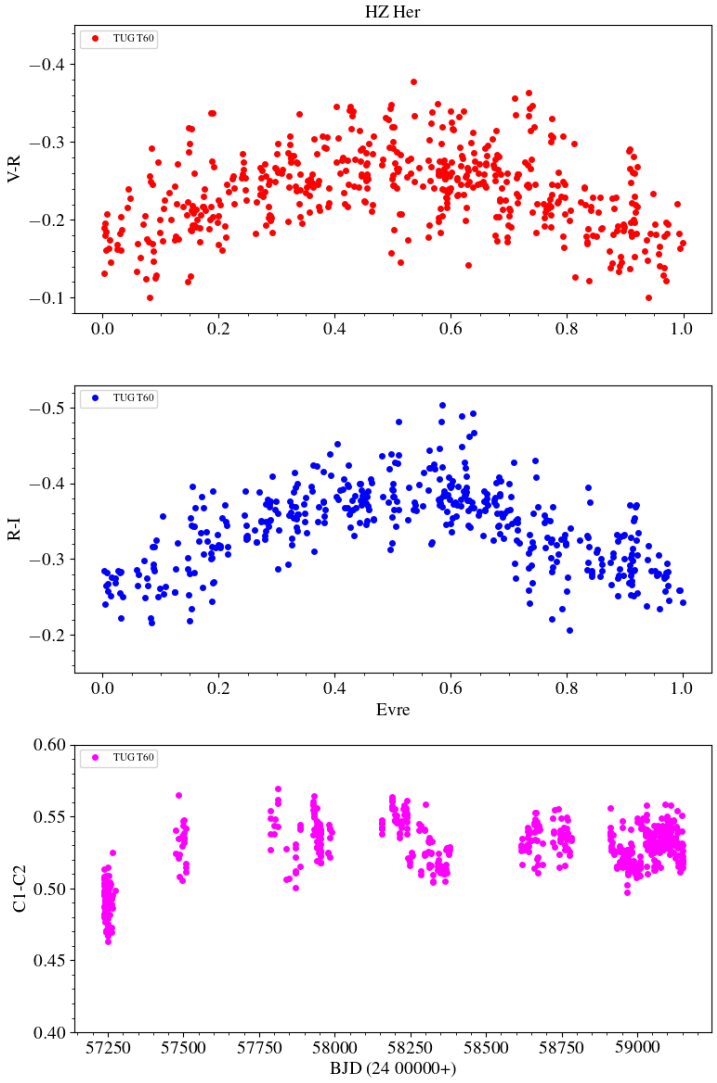
Hedef sistem HZ Her TUG robotik T60 teleskobuyla 2015 ve 2021 yılı gözlem dönemi içerisinde VRI bandlarında, 5, 20 ve 60 sn poz sürelerinde incelenmiştir. Sisteme ilişkin veri analizi işlemi Bölüm 3.1'de detayları ile verilmiştir. Örten sistemin CCD görüntü alanı Şekil 3.2'de (üst panel) gösterilmiştir. Gözlemlerin indirgemesi sırasında kullanılan mukayese yıldızlarına ilişkin bilgi Tablo 3.2'de özetlenmiştir. Örten çift sistemin T60 ile yeni elde edilmiş olan uzun dönemli ışık değişimi (V, R ve I) ve elde ettiğimiz yörünge dönemi kullanılarak hesaplanan evrelere karşı V bandında ki parlaklık değişimi Şekil 3.4'de (alt panel) verilmiştir. Analizlerinden elde edilen ilk sonuçlarımıza göre yeni VRI gözlemleri ile sistemin yörünge dönemi 1.699646(8) olarak güncellenmiştir.

TUG gözlemleri ve Yer ve Uzay konuşlu çeşitli tarama programları ile elde edilen veri setleri kendi içlerinde göreli normalize akıya dönüştürülmüştür. Veri setlerinin bir arada ele alındığı uzun dönemli ışık değişimi ve her bir veri setine ilişkin ışık eğrileri yeni elde edilen dönem kullanılarak Şekil 3.6'da verilmiştir. Sistemin literatür veri setlerinin gözlem zamanı aralığı (BJD-2400000) her biri için şu şekilde verilmiştir: CATALINA (CSS) (53557.82914-56588.60153), AAVSO-V bandı (51369.76312-59099.62632), SuperWASP (53128.48562-53256.45736), ASAS-SN (56016.13056-58656.80990), OMC (53573.65802-59079.97484), ZTF (58198.8958-59107.6198), PTF (54964.69333-56857.86442), NSVS (51273.87936-51629.79576), DASCH-ATLAS2 (12963.778160-47736.606777) (HJD), DASCH-GSC2.3.2 (12963.778160-47736.606777) (HJD), TUG(T60)-bkz. Tablo 3.1.

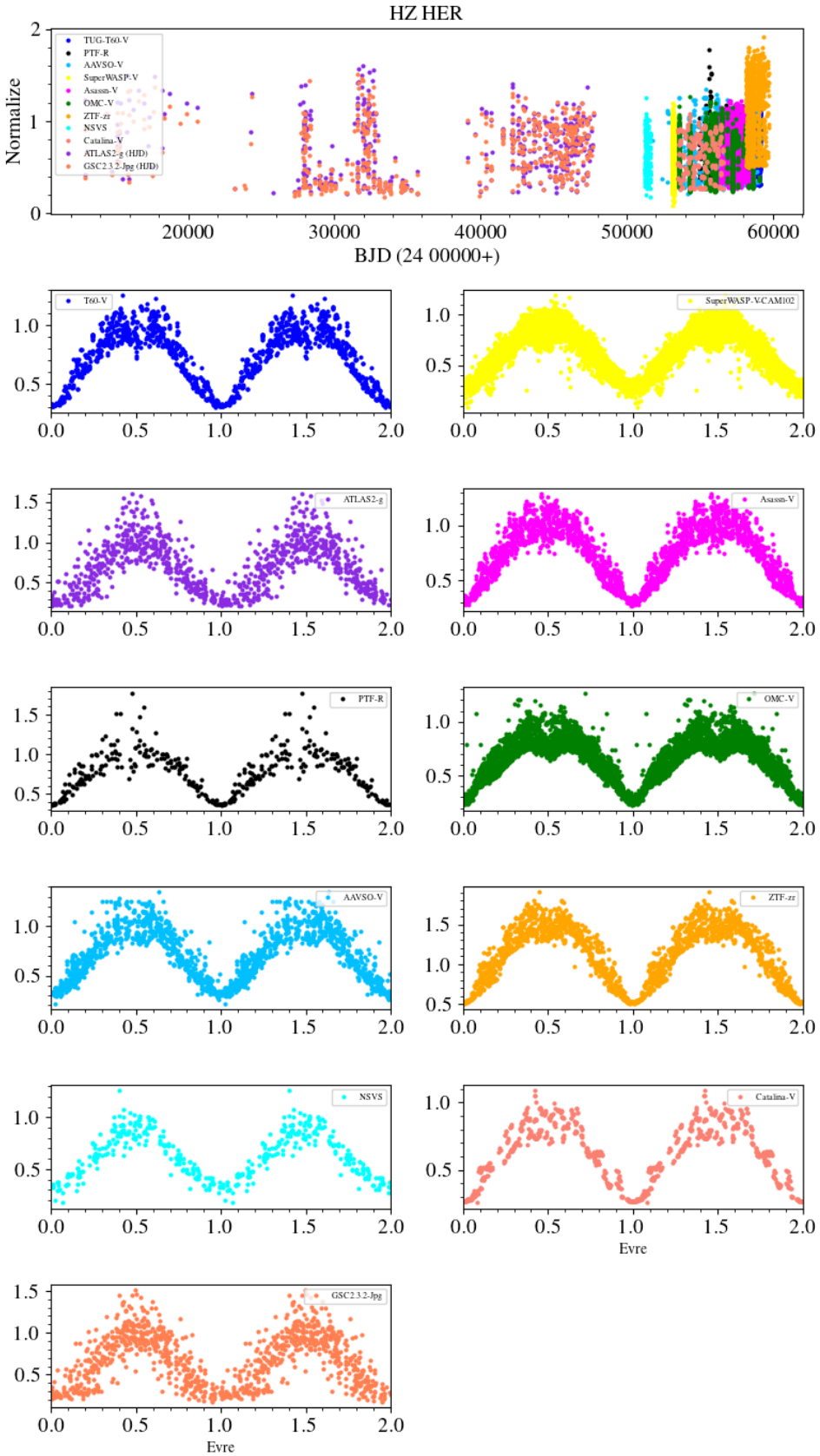


Şekil 3.4: TUG-T60 teleskobu ile HZ Her çift sisteminin yeni uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel).

Sistemin çokrenk gözlemleri ile V-R ve R-I renk ölçekleri hesaplanmış ve analizde kullanılan mukayese yıldızlarının V bandındaki parlaklık farkı (C1-C2) Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekil 3.5'te (V-R) ve (R-I) değişimleri bize 0-0.5 evre arasında parlaklığın arttığını 0.5-1.0 evre arasında ise parlaklığın azaldığını göstermektedir. Burada, Roche-lobunu doldurmuş olan bileşen yıldızın bize görününen yüzey alanının değişim etkisi ve bir evre boyunca disk üzerinde gördüğümüz parlama değişimlerinin etkisi bulunmaktadır.

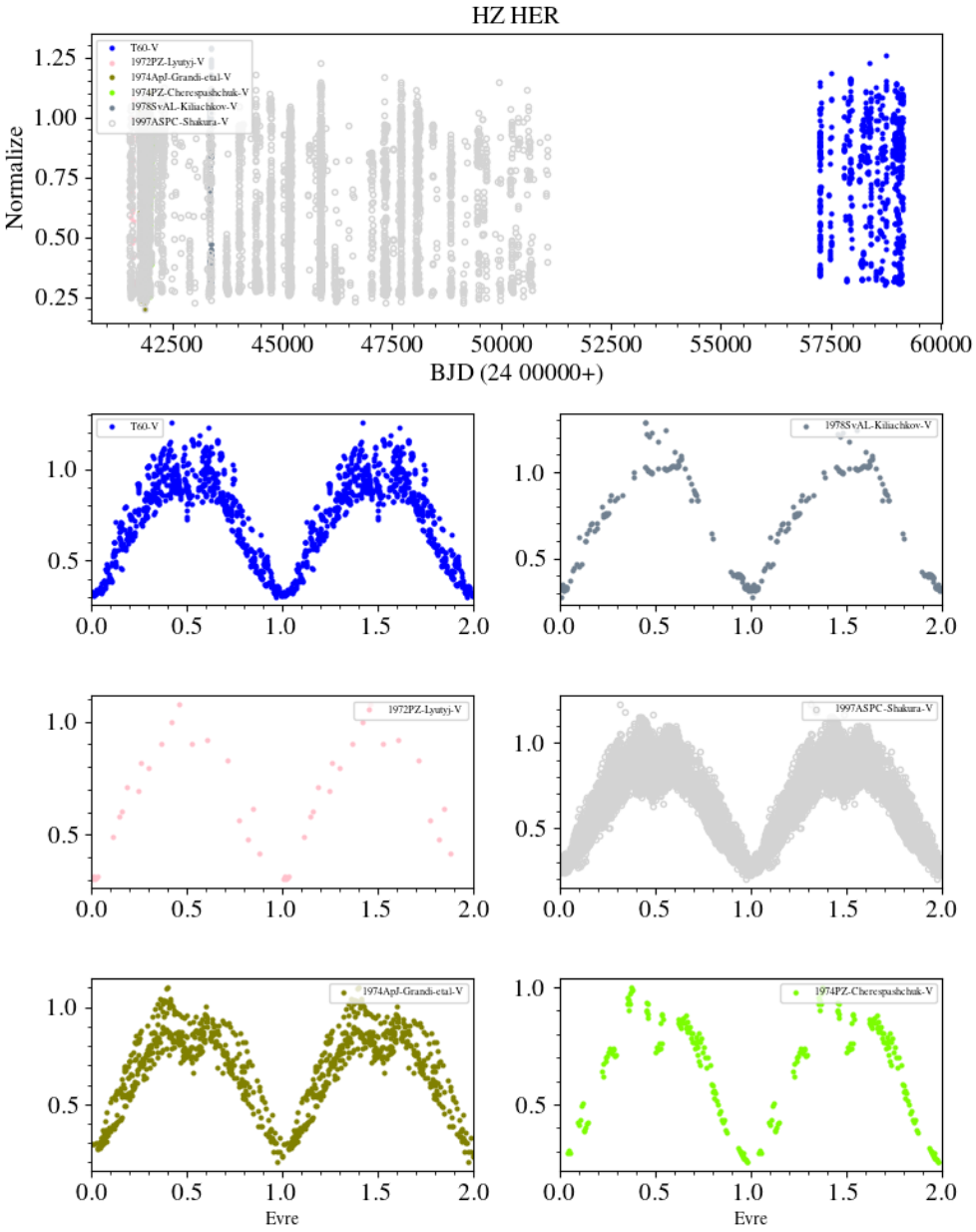


Şekil 3.5: TUG-T60 teleskobu ile HZ Her çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi.



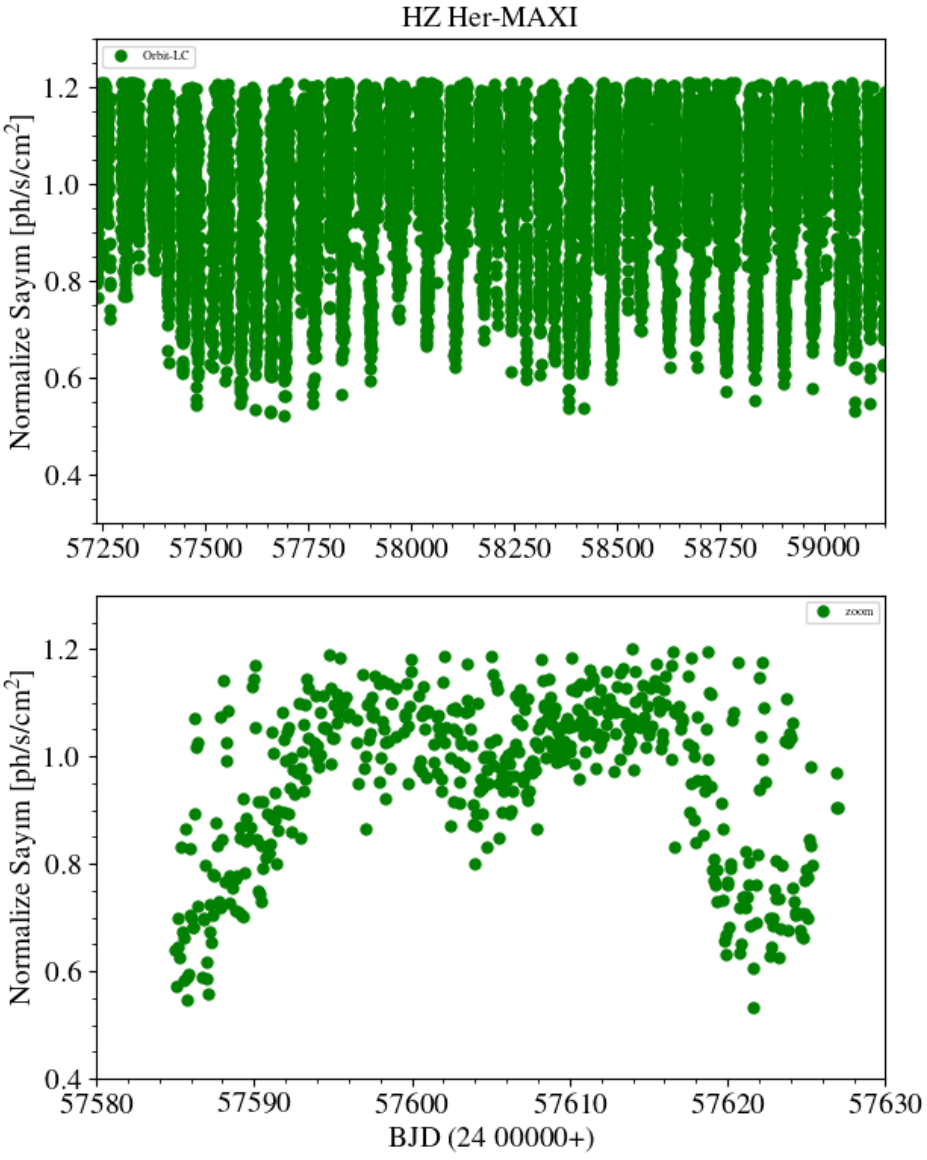
Şekil 3.6: HZ Her sisteminin tüm Yer ve Uzay konuşlu gözlem araçlarıyla elde edilmiş uzun dönemli optik ışık değişimleri ve ışık eğrileri.

Bununla birlikte, örten çift sistem farklı yıllarda farklı yazarlar tarafından da ele alınmıştır. Bu sonuçlara ilişkin fotometrik ışık değişimleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Verilen ışık eğrileri için Kaynaklar; L72:(Lyutyj, 1972); C74:(Cherepashchuk et al., 1974); G74:(Grandi et al., 1974); K78:(Kiliachkov and Shevchenko, 1978); S97:(Shakura et al., 1997).



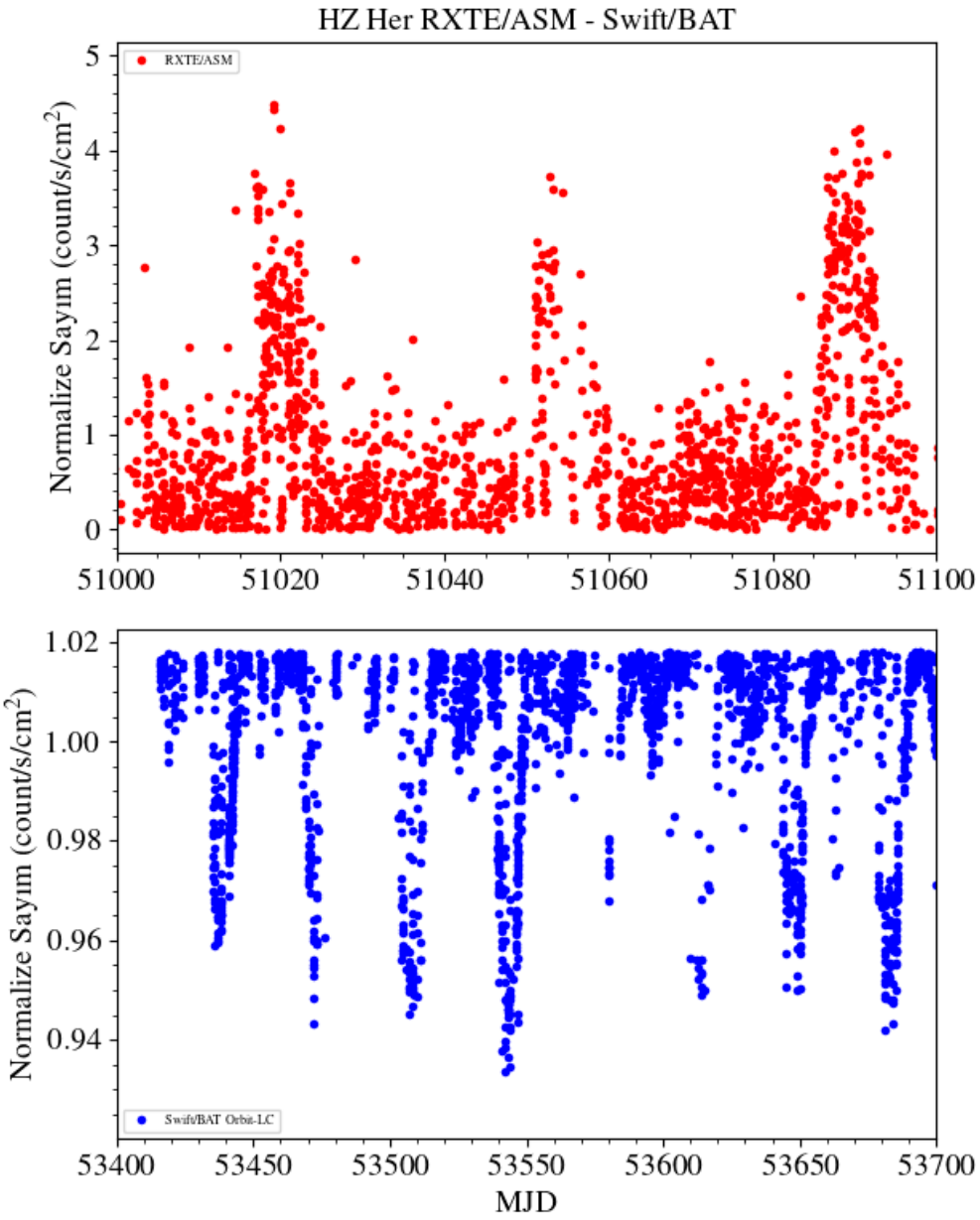
Şekil 3.7: HZ Her sisteminin farklı yazarlar tarafından elde edilmiş V bandıdaki ışık eğrileri ve bu çalışma kapsamında TUG-T60 ile elde edilmiş ışık eğirisi.

Küçük kütleli X-ışın çift sisteminin X-ışın akı değişimleri (MAXI, Swift/BAT, RXTE/ASM ve XMM-Newton) Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Her X-1 sisteminin MAXI X-ışın Uydusu ile 'Gas Slit Camera' (GSC) 2-20 keV [ph/s/cm^2] enerji bandı aralığında ve BJD 2455058.00154-2459660.00209 gözlem zaman aralığında ışık değişimi incelenmiştir. MAXI yörünge-ışık eğrisinin yeni elde edilen TUG gözlemlerinin takip dönemi içerisinde kalan değişimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: HZ Her sisteminin MAXI-yörünge ışık değişimi (üst panel) ve yakınlaştırılmış ışık eğrisi (alt panel).

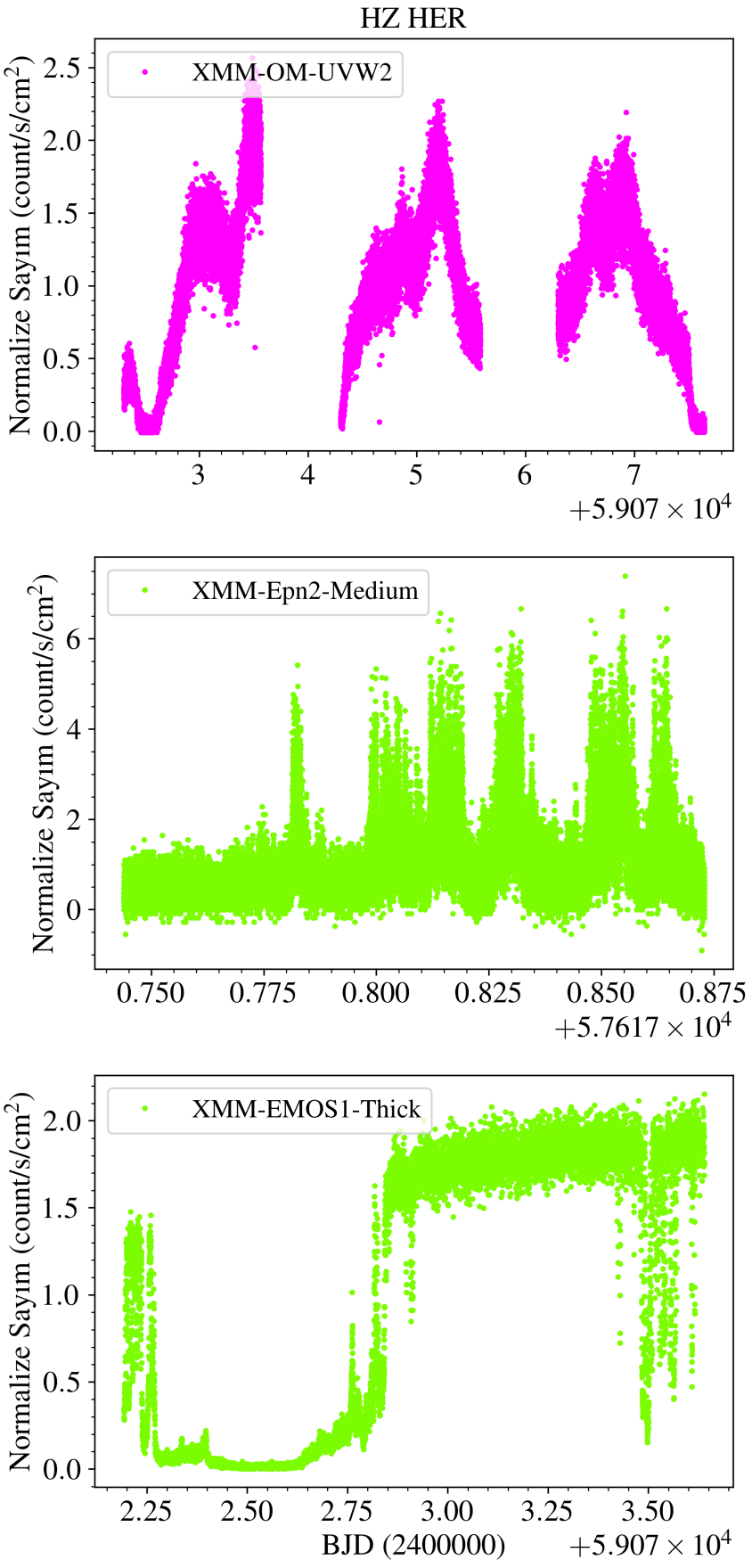
RXTE/ASM ışık değişimi ise 1.5-12 keV enerji bandında ve JD 2450087.83404-2455923.26273 gözlem zaman aralığında incelenmiştir. Sistemin Swift/BAT ışık eğrisi ise 15-50 KeV enerji bandı aralığında ve BJD 2453416.50022-2459660.50211 gözlem dönemi aralığında ele alınmıştır. Sistemin RXTE/ASM ve Swift/BAT-yörünge ışık değişimleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



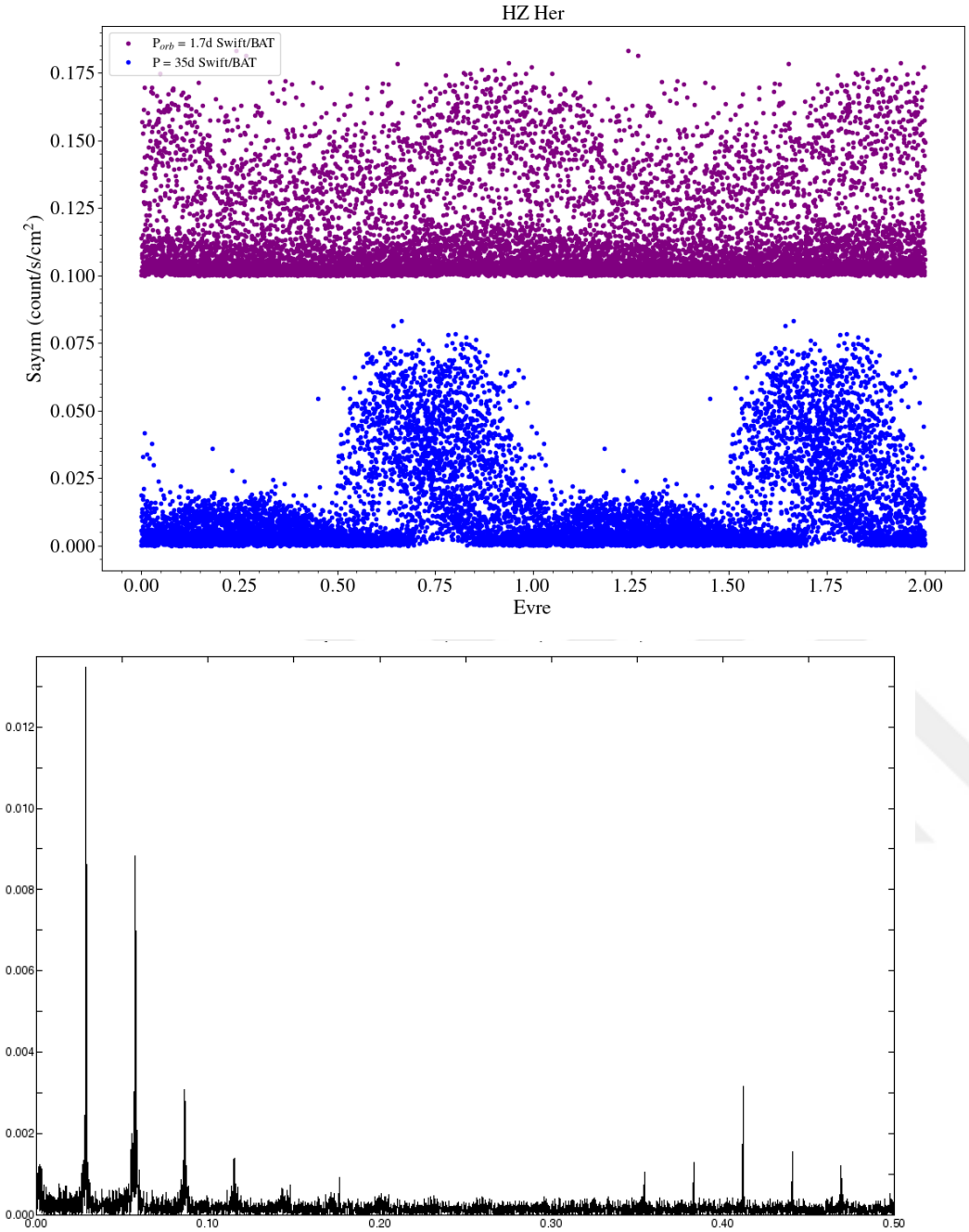
Şekil 3.9: HZ Her sisteminin RXTE/ASM-yörünge ışık değişimi (üst panel) ve Swift/BAT-yörünge ışık değişimi (alt panel).

Sistemin XMM-Newton gözlemleri ise EPIC-CCD kameraların özelliklerine (detaylar için bkz. Bölüm 1.6) göre EMOS ve Epn verisi olarak ele alınmış. Bununla birlikte, XMM-Newton ayrıca, tek bir platformdan X-ışın ile eş zamanlı gözlemler sağlayan, birlikte hizalanmış 30 cm'lik bir optik/UV teleskobuna (OM) sahiptir. V, B, U, UVW1, UVM2, UVW2 bandlarını kapsamaktadır. HZ Her çift sistemi için XMM-Newton gözlem sonuçları Şekil 3.10'da verilmiştir. OM-UVW2, Epn2-Medium grafiklerinde belirgin değişimler görülmektedir.

HZ Her sisteminin Şekil 3.8-Şekil 3.10 'da yer alan X-ışın akı değişimlerinin en uzun süre gözlemleri Swift/BAT ile yapıldığı görülmektedir. Bu zaman serisine Fourier analizi yaptığımızda 34.796 günlük bir dönem elde ettik. Optik veri setinden (T60) elde ettiğimiz ve X-ışın veri setinden elde ettiğimiz yörünge dönemlerini kullandığımızda 0.51-0.99 evre aralığında önemli miktarda bir X-ışın akısı tespit edildiği görülmüştür ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Elde ettiğimiz 34.796 günlük bu dönem Scott et al. (2000) tarafından da 35 gün olarak belirlenen süperyörünge değişimini göstermektedir. Bu dönemin nedenleri arasında nötron yıldızının ve dolayısıyla X-ışın akısı yayan bölgenin Jurua et al. (2011) tarafından da belirtildiği gibi eğrilmiş disk tarafından periyodik olarak örtülmesinin bir sonucu olduğu kanısındayız.



Şekil 3.10: HZ Her sisteminin XMM-Newton'un farklı kameralarına ait X-ışın ışık eğrileri.



Şekil 3.11: HZ Her sisteminin Swift/BAT gözlemleri (üst panel) ve Fourier analizi sonucu elde edilen güç spektrumu (alt panel). Sisteme ait üst panelde mavi renk ile temsil edilen değişim 34.8 günlük, mor renk ile temsil edilen değişim ise yörünge dönemi olan 1.7 günlük değişime karşılık gelmektedir.

3.3 Geçici X-ışın Çift Sistem: Sco X-1

İlk keşfedilen geçici (transient) en parlak extra-solar X-ışın kaynağı olan Sco X-1, X-ışın astrofiziği alanında bir kilometre taşı rolü oynar (Morrison, 1967; Giacconi et al., 1962). Sco X-1 on yıllardır radyodan X-ışına kadar tüm enerji bandlarında, özellikle optik ve X-ışın dalga boylarında kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Optik bandta V $\sim 12^{m}.5$'lik bir parlaklığa sahiptir. Sistemin yörünge dönemi farklı yazarlar tarafından 18.9 saat (Gottlieb et al., 1975) ve 0.787313 ± 0.000015 gün (Hynes and Britt, 2012) olarak önerilmiştir.

Sco X-1, nötron yıldızının, Roche-lobu taşması ile oluşturulan bir toplanma diski yoluyla bileşen yıldızdan madde topladığı küçük kütleli bir X-ışın çifti (LMXB)'dir (Charles and Coe, 2006). Optik B band ışık eğrisinin sergilediği $0^{m}.13$'lik bir genlik değişimi, bileşen yıldızın X-ışınları tarafından ısıtıldığı göstermektedir (Augusteijn et al., 1992). Bileşen yıldızın ve nötron yıldızının dikine hızının sınırlanmasıyla kütle oranının üst sınırı Steeghs and Casares (2002) tarafından $q \leq 0.61$ olarak türetilmiştir. Eğim açısına (i) bağlı (i$\sim$ 38 derece) (Fomalont et al., 2001) olası bir kütle oranının 0.3 olduğu durumda bileşen yıldızın kütlesi 0.42 $M_{\odot}$ olarak önerilmiştir (Steeghs and Casares, 2002). Bileşen yıldızın tayf türü K4 veya daha geri, ışıtma sınıfı ise IV, altdev olarak tanımlanmıştır (Mata Sanchez et al., 2015), bu nedenle etkin sıcaklığının üst sınırı 4800 K olarak önerilmektedir (Pavlovskii and Ivanova, 2016). VLBA radyo gözlemlerini kullanarak Bradshaw et al. (1999) Sco X-1'in trigonometrik paralaksını 2.8 ± 0.3 kpc ve Lindegren et al. (2021) uzaklığını 2.3 ± 0.1 kpc olarak elde etmiştir.

Sistemin X-ışın ışıtması 2-20 keV aralığında 2.3×10^{38} erg/s (Bradshaw et al., 1999) olarak verilirken, 3.9×10^{-7} erg/s cm^{-2}'lik bolometrik akısına göre (Watts et al., 2008), sistemin bolometrik ışıtması $3.6 \pm 0.8\times 10^{38}$erg/s olarak tahmin edilmektedir. Sistem, NS kaynaklı bir jet yapının varlığı için kanıt sergilemektedir (Mirabel and Rodríguez, 1999). Gökyüzündeki en güçlü X-ışın kaynağı olan Sco X-1, yıldızlararası maddeyi (García et al., 2011), manyetik alanları (Titarchuk et al., 2001) ve hatta Mars atmosferini (Rahmati et al., 2020) incelemek için bir "deniz feneri" olarak kullanılmıştır (Killestein et al.,

2023).

Madde toplayan standart bir nötron yıldızı olduğu varsayıldığında (1.4 $M_{\odot}$ ve yarıçapı 10 km), buna karşılık gelen toplanma oranının 3.1 ± 0.7× 10^{-8} $M_{\odot}$/yıl olduğu tahmin ediliyor, bu nedenle, ScoX-1'in süper Eddington toplanması yaşaması beklenmektedir (Chen, 2017). Rappaport et al. (1983) tarafından verilen standart manyetik frenleme ile sistemin 2.6 ile 6.0× 10^{-10} $M_{\odot}$/yıl aralığında bir kütle transfer oranı göstermesi beklenmektedir (Pavlovskii and Ivanova, 2016). Sco X-1'in toplanma oranı ile X-ışın ışıtması arasındaki ilişkinin kabaca zamanla aynı kaldığı sabit bir durumda olduğu ve MT'in korunumsuz modunun geçerli olduğu düşünülmektedir (Pavlovskii and Ivanova, 2016). Gözlenen yörünge dönemine, kütle transfer oranına, kütle oranına ve bileşen yıldızın tayf türüne göre, Sco X-1'in atasının, 1.6-1.8 $M_{\odot}$ Ap/Bp yıldızı içeren 1.3-1.5 gün'lük bir yörünge dönemi ile orta kütleli bir X-ışın çifti olması gerektiği belirtilmiştir (Chen, 2017).

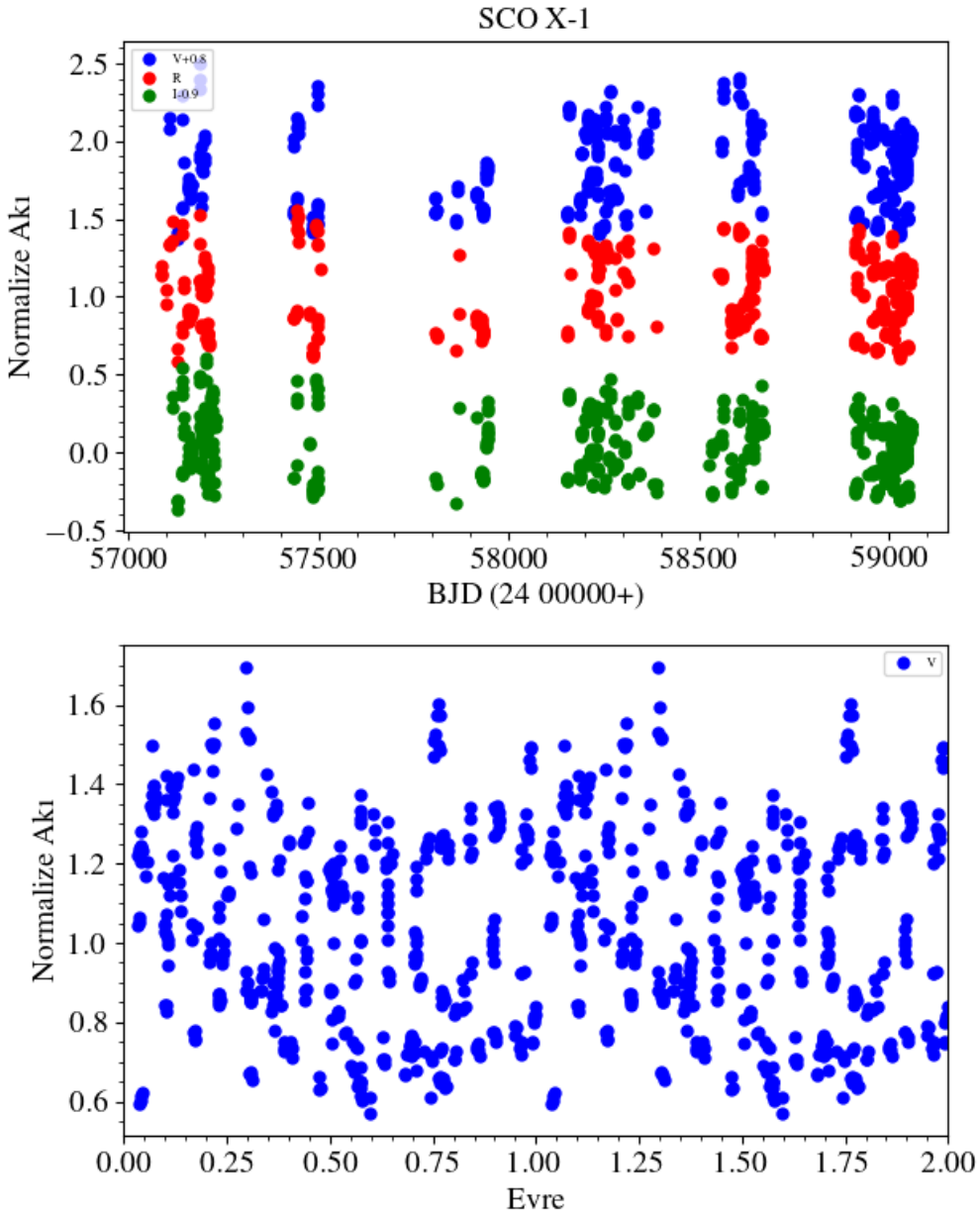
Sco X-1 gibi yüksek toplanma oranına sahip bir sistemde, Balmer çizgileri önemli ölçüde bulanıklaşır, hassasiyeti sınırlar ve hassas dikine hız ölçümleri için uygun değildir. Disk yapısı aynı zamanda dinamik ve kaotiktir, bu da zamanla evreye bağlı değişikliklere neden olur. Dikine hız ölçümleri ile sistemin bazı yörünge parametreleri şu şekilde verilmiştir (Killestein et al., 2023): T_0=2456723.3272 ± 0.0004 (BJD), P=0.7873139 ± 0.0000007 gün, K=76.8 ± 0.2 km/s, γ = -112.8 ± 0.2 km/s ve e $\leq$ 0.0132.

Evrendeki sıkışık çift sistemleri anlamamızda bir köşe taşı olmasına rağmen, Sco X-1 büyük bir karmaşıklık ve değişkenlik göstererek hâlâ esrarengizliğini korumaktadır. Bu karmaşıklıklar, daha düşük sinyal-gürültü oranı (SNR) görünürlüklerinin sınırlandığı daha uzak sistemlerde ortaya çıkmaz (Killestein et al., 2023). Bu özelliği sistemin mevcut Gravitasyonel Dalga (GW) dedektörleri tarafından tespit edilebilen en gürültülü GW kaynakları arasında olması gerektiği anlamına gelir (Watts et al., 2008). Şimdiye kadar herhangi bir GW yayımı tespit edilememiş olsa da yaklaşan LIGO/Virgo/KAGRA O4 gözlem çalışması, cihaz hassasiyetlerini daha da geliştirmeyi vaat ediyor. Ayrıca, artan hassasiyete sahip araştırmalar önceki sonuçlara göre daha

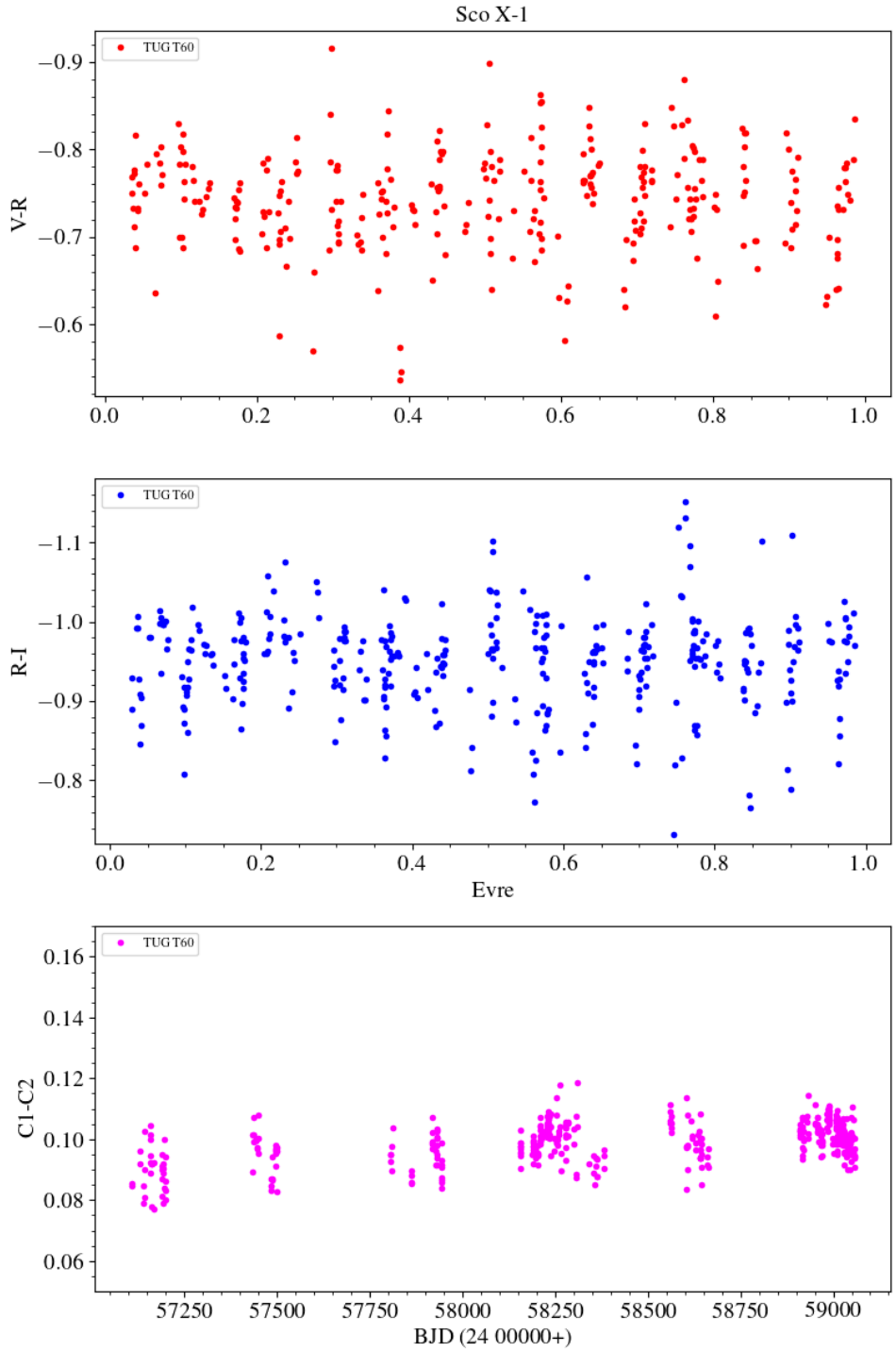
katı kısıtlamalar getirebilir. Einstein Teleskobu ve Cosmic Explorer gibi yaklaşmakta olan üçüncü nesil GW dedektörleri, gerilme hassasiyetinde büyüklük sırası artışı getirecek ve mevcut Yer konuşlu dedektörler için şu anda ulaşılamayan sıkışık objelerin popülasyonlarını ortaya çıkaracak yüksek SNR GW tespitleri sağlayacaktır (Killestein et al., 2023). Sıkışık obje perspektifinden bakıldığında, Sco X-1'in diskin geçici yapısına ve yoldaş yıldızın doğasına odaklanan daha ileri çalışmaları, daha uzak LMXB'lere ilişkin anlayışımızı desteklemek açısından çok önemlidir ve GW araştırmaları için parametre uzayını sinerjik olarak daha da kısıtlayabilecek daha güçlü kısıtlamalar sağlayabilir. Birçok sürecin yeterince anlaşılmadığı açıktır (Killestein et al., 2023).

Bilinen en parlak X-ışın çifti Sco X-1'in uzun dönemli yeni fotometrik akı değişimi TUG T60 teleskobu ile V, R ve I bandlarında 5 ve 20 sn poz sürelerinde incelenerek elde edilmiştir. Sistemin gözlem takibi 2015 ile 2020 yılları arasında 3'er aylık gözlem dönemleri ile gerçekleştirilmiştir ve küçük kütleli X-ışın çiftine ilişkin T60 gözleminde kullanılan CCD görüntü alanı Şekil 3.2'de (alt panel) gösterilmiştir. Her bir gözlem dönemi kendi içerisinde ele alınarak yapılan veri analizinde kullanılan mukayese yıldız bilgileri Tablo 3.2'de paylaşılmıştır. Sistemin yeni uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki ışık eğrisi Şekil 3.12'de verilmiştir. Yaklaşık 0.78 günlük yörünge dönemine sahip çift sistem "düşük" ve "yüksek" durum akı değişimleri sergilemektedir, yeni çokrenk ışık eğrisinde bu iki durum arası geçişi açıkça görülmektedir.

Küçük küteli X-ışın çifti Sco X-1'in T60 çokrenk gözlemleriyle elde edilmiş V-R ve R-I renk değişim ölçekleri ve mukayese yıldızlarının V bandındaki parlaklık farkı değişimi Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: TUG-T60 teleskobu ile Sco X-1 sisteminin yeni elde edilmiş uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel).



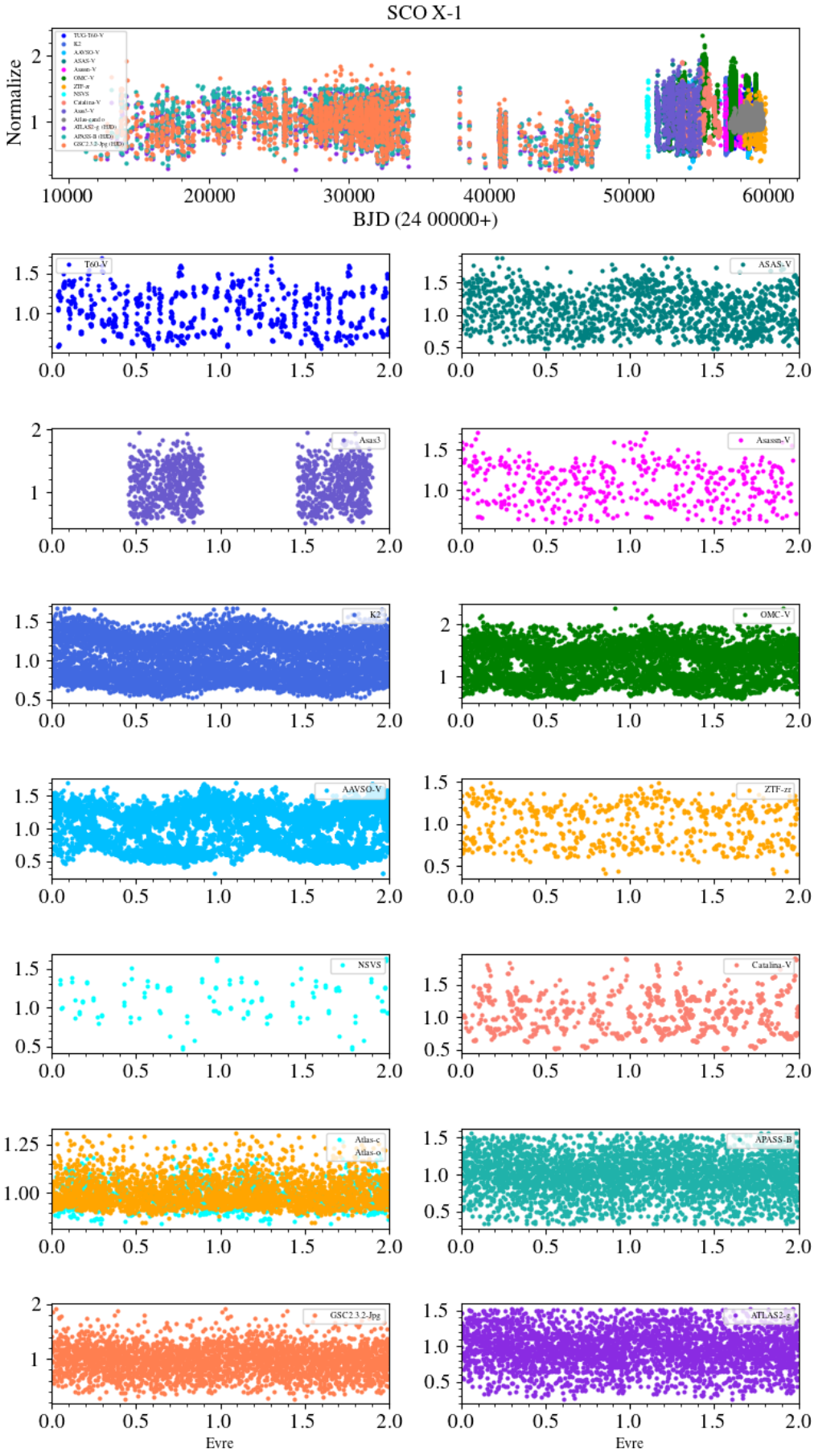
Şekil 3.13: TUG-T60 teleskobu ile V818 Sco çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi.

Yaklaşık 135 yıllık gözlem geçmişi olan sistem farklı enerji bandı aralıklarında takip edilmiştir. Tez çalışması kapsamında, sistemin tüm literatür ve uydu veri setleri toplanmış ve yeni elde edilen gözlemler ile birleştirilmiştir. Bu uzun dönemli ışık değişimlerinde dönemsel ya da çevrimsel değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır.

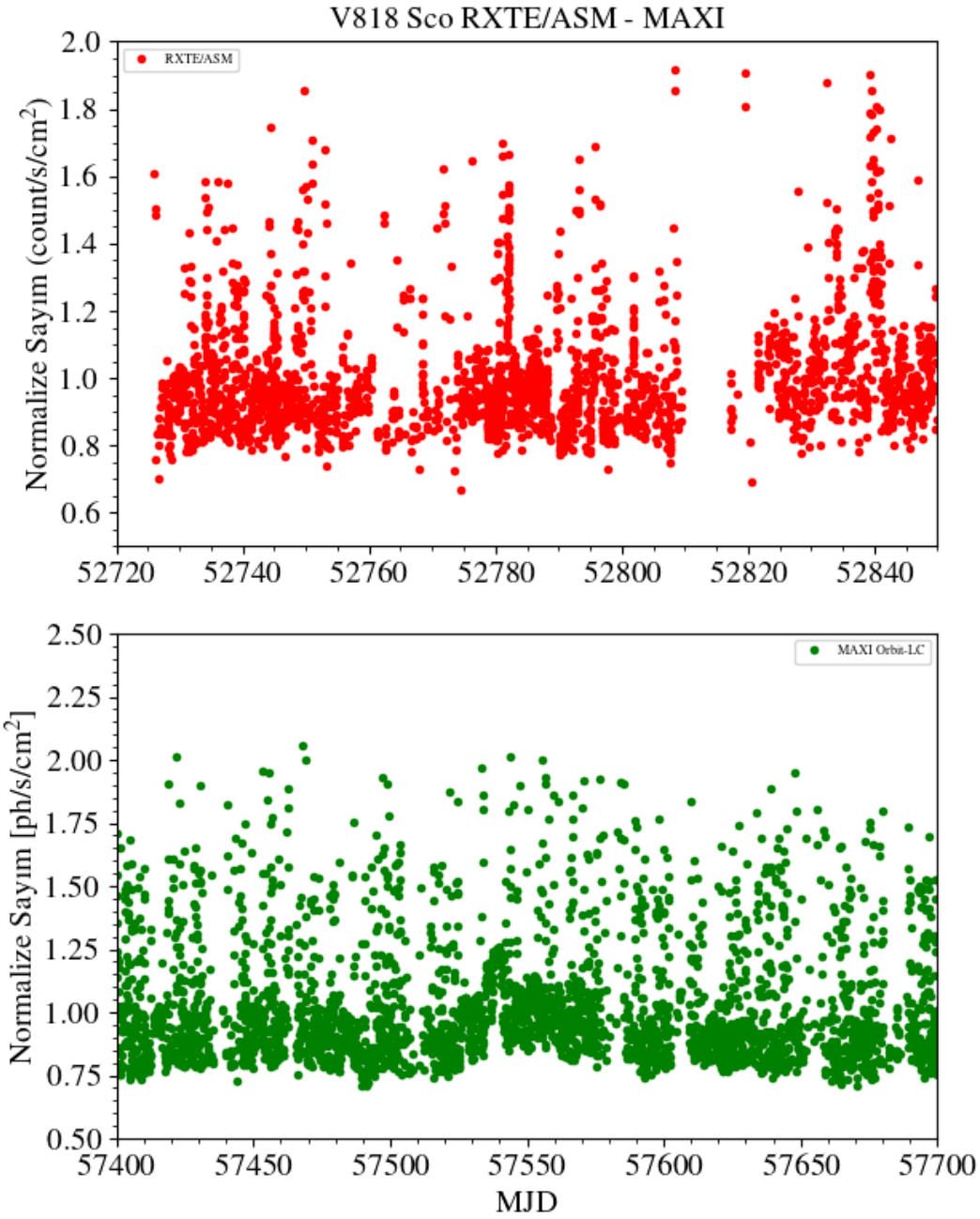
Sco X-1'in tüm veri setlerinin uzun dönemli değişimi ve ışık eğrileri Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Her bir veri setinin gözlem aralığı (BJD-2400000): ASAS-3 (51931.87023-55109.50583), ASAS (52454.59786-55109.50583), ASAS-SN (56349.12379-58385.47676), ATLAS(57243.77530-59466.75801), CATALINA (53480.90834-56423.25047), DASCH-APASS (11189.603622 - 47770.860093) (HJD), DASCH-ATLAS2 (11528.677955-47770.860093 (HJD), DASCH-GSC (HJD) (11528.677955-47770.860093), Kepler/K2 (56896.00147-56972.04847), NSVS (51277.92726-51390.70704), OMC (52851.46865 - 59069.44346), ZTF (58216.9095-59702.9039), TUG (T60)-bkz. Tablo 3.1.

LMXB V818 Sco'nun yeni ve tüm optik veri setlerinin yanı sıra X-ışın akı değişimleri de mevcuttur. V818 Sco'nun RXTE/ASM (1.5-12 keV) ve MAXI (2-20 keV) Yörünge-ışık eğrisi enerji bandındaki akısının zamanla değişimi (MJD) Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Tez kapsamında sistem için ele alınan diğer X-ışın ışık eğrileri Şekil 3.16'te özetlenmiştir.

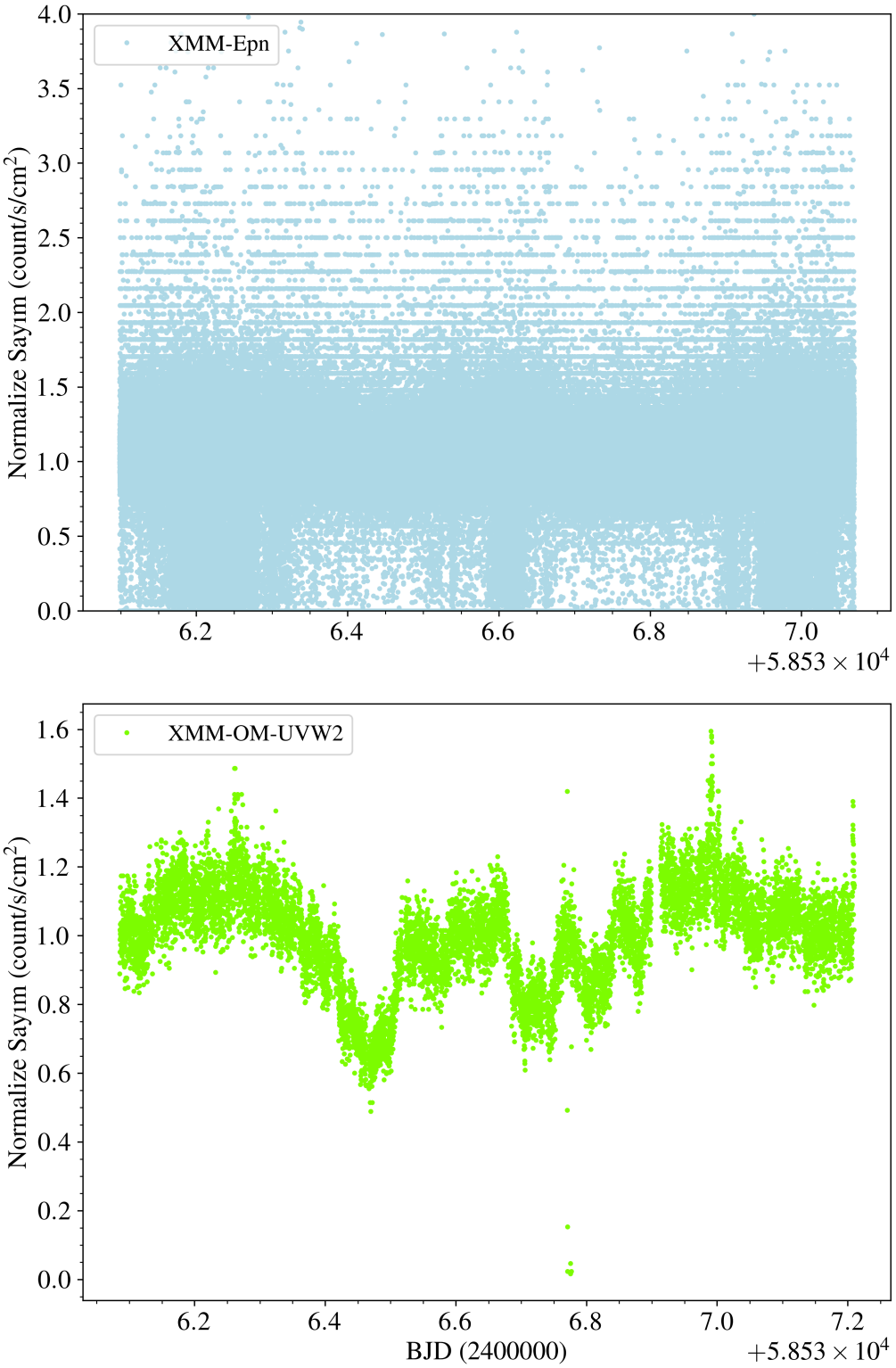
Gözlem zaman aralığı: MAXI (55056.00237-59659.00311)(BJD), RXTE (50088.61534-55922.59310) (JD), Swift/BAT (59301.50378-9660.50325)(BJD), XMM-Newton OM teleskobu ile UVW2 bandı aralığında (58536.085335-58537.209628) (BJD) ve XMM-Epn (58536.098682-58537.069504) (JD)'dır. Şekil 3.16'te verilen XMM-OM UVW2 de belirgin değişimler sergilenmektedir.



Şekil 3.14: Sco X-1'in Yer ve Uzay konuşlu gözlem araçlarıyla elde edilmiş uzun dönemli optik ışık değişimleri ve ışık eğrileri.



Şekil 3.15: Sco X-1 sisteminin RXTE/ASM (üst panel) ve MAXI X-ışın ışık değişimi (alt panel).



Şekil 3.16: Sco X-1 sisteminin XMM-Newton Epn ve OM kamerası ile elde edilmiş X-ışın ışık eğrileri.

3.4 'Geçişli' Çift Sistem PSR J1023+0038

Radyo kaynağı FIRST J102347.67+003841.2, 0.198 günlük yörünge değişimi ve orta-G (güneş türü) tayflı optikçe V$\sim 17^{m}.5$'lik parlaklığa sahip bir yıldızla görünmektedir (Thorstensen and Armstrong, 2005). Geçişli durum sergileyen sistem ilk olarak bir nokta kaynak olarak Ağustos 1998 de FIRST VLA 1.4 GHz Radyo Sky Survey ile saptanmıştır (Becker et al., 1995). Galaktik kaynağın radyo bandında keşfi öncelikli olarak onun manyetik kataklismik değişen olarak sınıflandırılmasına sebep olmuştur (Shahbaz et al., 2015).

PSRJ1023 çift sistemi bir nötron yıldızı (milisaniye pulsar) ve küçük kütleli anakol benzeri bir yıldızı içermektedir. Sistem küçük kütleli bir X-ışın çifti ve örten bir radyo milisaniye pulsar durumları arasında yıl zaman ölçeklerinde değişim sergilemektedir (Bogdanov et al., 2015). 'Pulsar zamanla' ve optik dikine hız ölçümlerinin birleşimi ile sistemin kütle oranı 7.1, 1.69 ms'lik atmaya sahip pulsarın kütlesi $\sim$ 1.4 $M_{\odot}$ ve optik bileşenin kütlesi $\sim$ 0.2$M_{\odot}$ olarak tahmin edilmiştir ve eğim açısının (i) $\sim$ 46 derece olduğu göz önünde tutularak, Roche lobu boyutuna ve optik görünür parlaklığına bağlı, $\sim$ 1.3 kpc'lik bir uzaklık öngörülmüştür (Archibald et al., 2009).

Sisteme ilişkin optik gözlemler son on yıl içerisinde bu sistemde bir toplanma diskinin varlığını öngörmektedir. Mayıs 2000'den Aralık 2001'e olan gözlemlerde, PSR J1023'ın öne çıkan salma çizgileri ile mavi bir tayfa sahip olması (Szkody et al., 2003; Bond et al., 2002) ve optik fotometrinin 10 sn den 1 güne $\sim 1^{m}$ ile değişen zaman ölçeklerinde hızlı titreme (flickering) sergilemesi (Bond et al., 2002) tipik bir toplanma davranışı belirtisi olarak yorumlanmıştır. Bu nedenle, sistemin bir toplanma diskine sahip olduğu anlaşılmış ve LMXB olarak sınıflandırılmıştır. 2002'den bu yana sistem optik/X-ışın'da toplanmaya dair bir işaret göstermemiştir (Bogdanov et al., 2011; Archibald et al., 2010, 2009). Dikine hız ölçümleri 268 $\pm$ 4 km/s'lik hızda tepe yapan ve 0.198 günlük bir dönemle doppler kayması göstermektedir (Thorstensen and Armstrong, 2005). 2007-2013 yıllarında ise bu kaynak tutulan/örten bir radyo MSP olarak ("redback" olarak adlandırılan sistem) gözlenmiştir (Patruno et al., 2014). Burada izlenen radyo tutulmaları bileşenin manyetosferinde iyonize

olmuş maddeye atfedilmiştir (Archibald et al., 2013). Radyo dalga boylarında sistem değişkenlik göstermektedir, sisteme ilişkin düzensiz kısa tutulmalar tüm evrelerde gözlenmiştir (Archibald et al., 2009). LMXB evresine geçişte toplanma evresi süresince X-ışın ışık eğrisi düşük değerler sergiler (Tendulkar et al., 2014) ki bunlar diğer 'redback' çift pulsarlarda gözlenmiş 'aktif' ve 'pasif' ışıtma durumundaki disk davranışının aktif olması durumu ile benzer olarak yorumlanmaktadır (Linares et al., 2014).

Sistemin 2014 Ocak ve Nisan arasında alınan ışık eğrileri bir toplanma diski ve parlayan optik yıldız sebebiyle temel bir sinüzodial değişim göstermektedir (Shahbaz et al., 2015). Geçişli doğası sebebiyle PSR J1023'ün yeniden bir LMXB evreye geri döndüğü doğrulanmıştır, radyo atmalarının kayboluşu ve bir toplanma diski belirten X-ışın titreşimleri ve optik ve çift-tepe noktası sergileyen salma çizgileri bu geçişi desteklemektedir (Deller et al., 2015).

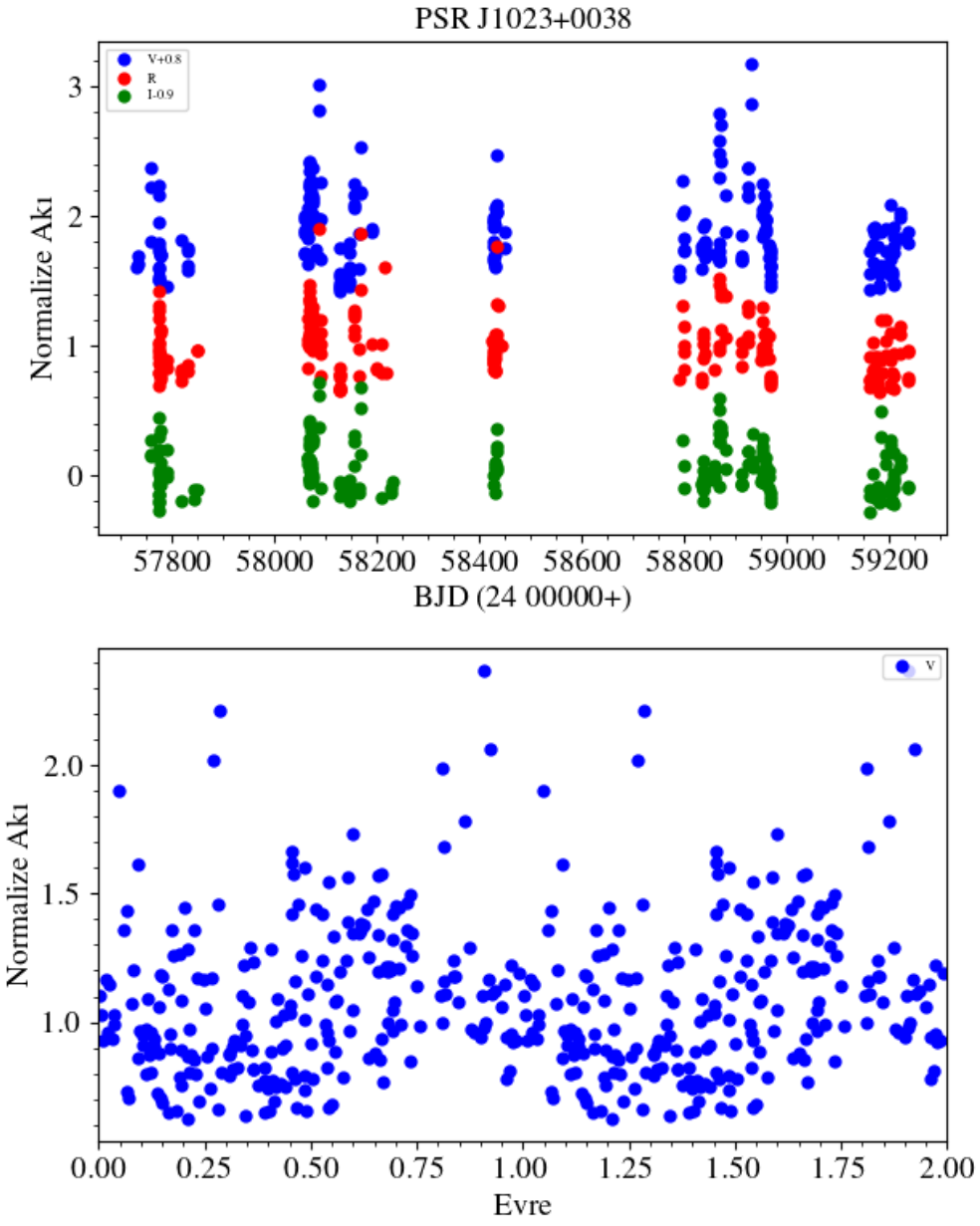
$\approx 3 \times 10^{33}$ erg/s X-ışın ışıtma modunda iki uzun XMM-Newton gözlemi Halpern et al. (2013) tarafından belirtildiği gibi PSR J1023'ün optik olarak LMXB durumu boyunca radyo pulsar durumunda olduğundan yaklaşık 1^{m} daha parlak olduğunu göstermektedir. XMM-Newton OM ve MDM fotometrik ışık eğrileri radyo pulsar durumu süresince gözlenmiş 'heating' ışık eğrisine benzer yörünge değişimi göstermektedir (Woudt et al., 2004). Bununla birlikte, değişimler tepe noktası ile birlikte (üzerinde) daha simetrik ve sinüzodial görülmektedir. Optik parlaklık değişimi B $\approx 17^{\mathrm{m}}.5$ ve B $\approx 16^{\mathrm{m}}.7$ arasındadır (Homer et al., 2006; Thorstensen and Armstrong, 2005) ve flare davranış değişimi toplanma diski ile ilişkilendirilmiştir. Bu flare'lerin bazıları çok hızlıdır, 1 dakikadan daha kısa sürer. Diğeri ise çiftin yörüngesinin son 3.6 saatlik kısmında 28 Aralık'ta görülmektedir. Beklenildiği gibi, X-ışın ve optik veri setleri arasındaki ters ilişki flarelerin baskın olduğu güçlü bir ilişki ortaya çıkarır (Bogdanov et al., 2015).

Tez çalışması kapsamında PSR J1023 çift sisteminin TUG T60 ve T100 teleskoplarıyla 2015 ve 2020 yılları arasında hem uzun dönemli hem de kısa dönemli çokrenk (Bessell V, R, I bandlarında) gözlem takibi yapılmıştır. T60 teleskobuyla 2016 ve 2020 yılı arasında incelenen sistem 60 ve 120 sn poz

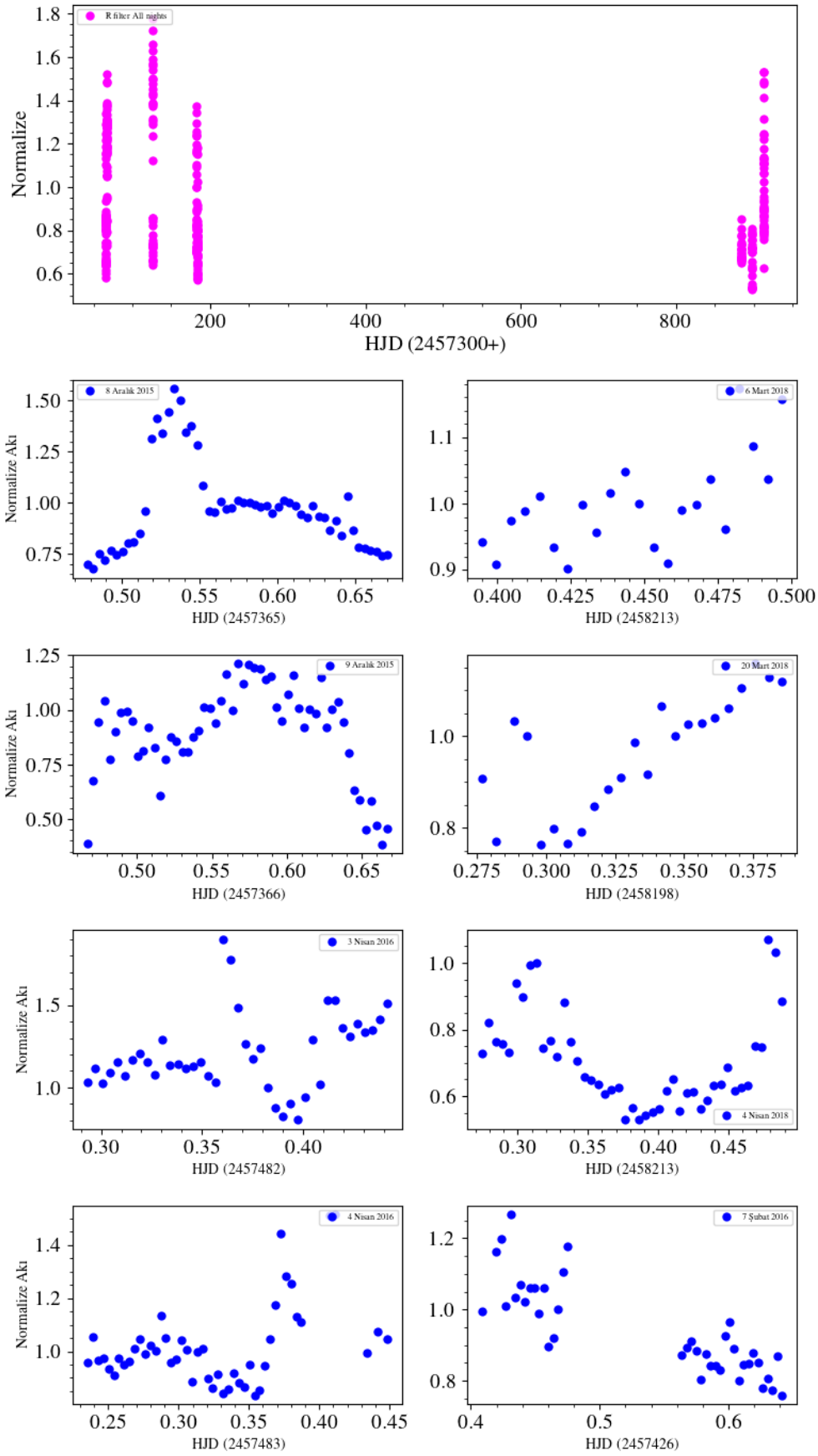
süresinde ele alınmıştır. Sisteme ilişkin gözlemsel bilgiler ve gözlem nokta sayısı Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Hedef sistemin gözlem takibinde kullanılan CCD alan görüntüsü Şekil 3.3'te (üst panel) ve seçilmiş olan mukayese yıldızların bilgisi Tablo 3.2'de verilmiştir.

'Redback' çift sistemin kısa dönemli yeni fotometrik takibi T100 teleskobuyla (4'er aylık gözlem dönemleriyle) 2015 ve 2018 yıllarında 8 gözlem gecesi (8 ve 9 Aralık 2015; 3 ve 4 Nisan 2016; 7 Şubat 2016; 6 ve 20 Mart 2018; 4 Nisan 2018) bazında yapılmıştır. Bessel R bandında 300 sn poz süresi ile yeni elde edilen tüm gözlemler standart fark fotometrisi yöntemiyle her bir gözlem dönemi kendi içerisinde olacak şekilde indirgenmiştir.

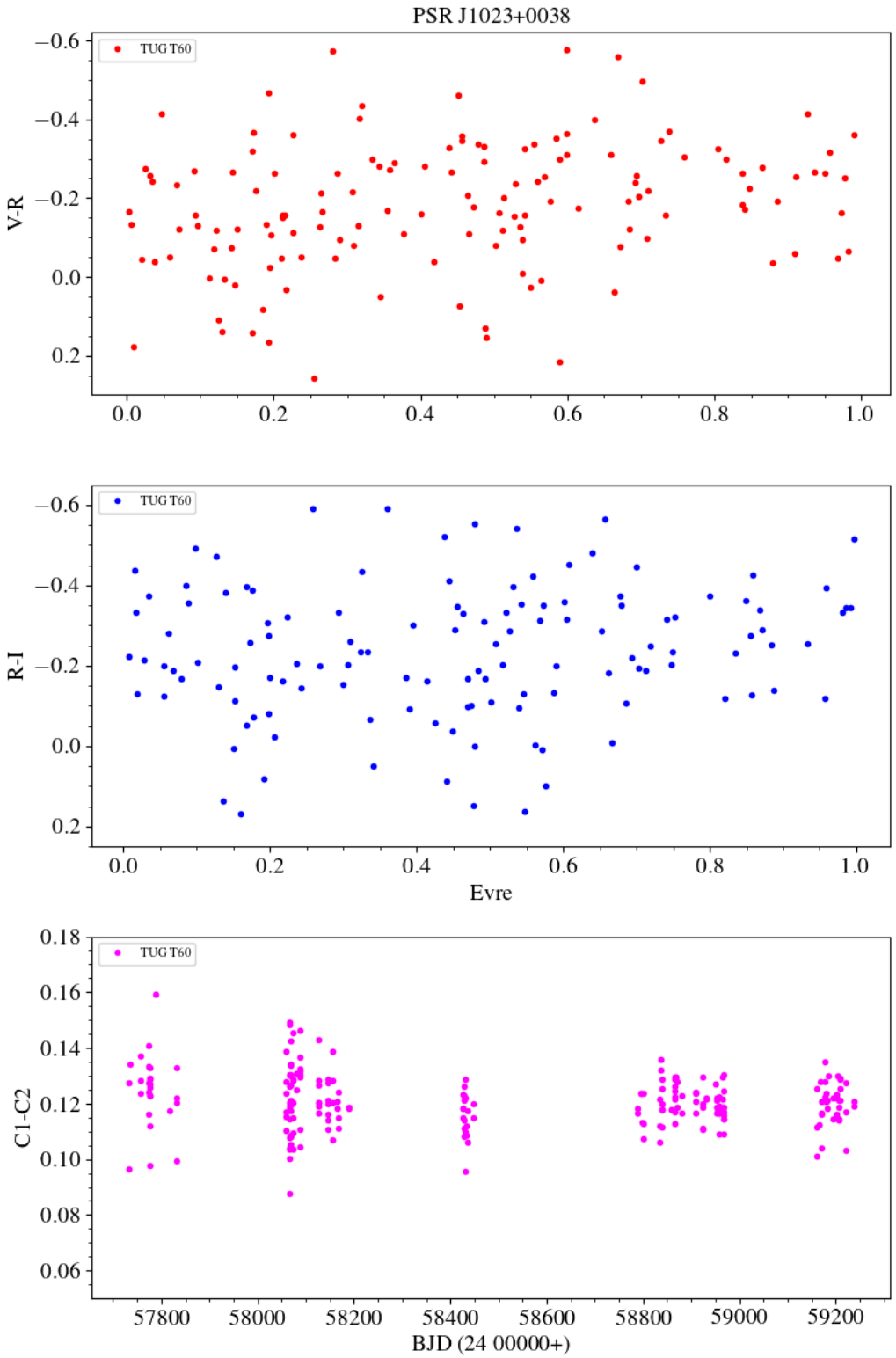
Yaklaşık 0.2 günlük yörünge dönemiyle sistemin uzun dönemli ışık değişimi (VRI) ve kısa dönemli ışık değişimleri (R) sırasıyla Şekil 3.17'de ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir. T60 teleskobuyla elde edilen yeni gözlemlerden kaynağın renk ölçeği değişimi V-R ve R-I olmak üzere ele alınmış ve Şekil 3.19'da üst ve orta panelde gösterilmiştir, mukayese yıldızlarının V bandındaki zamanla değişimi ise alt panelde çizilmiştir.



Şekil 3.17: TUG-T60 teleskobu ile PSR J1023 sisteminin uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel).



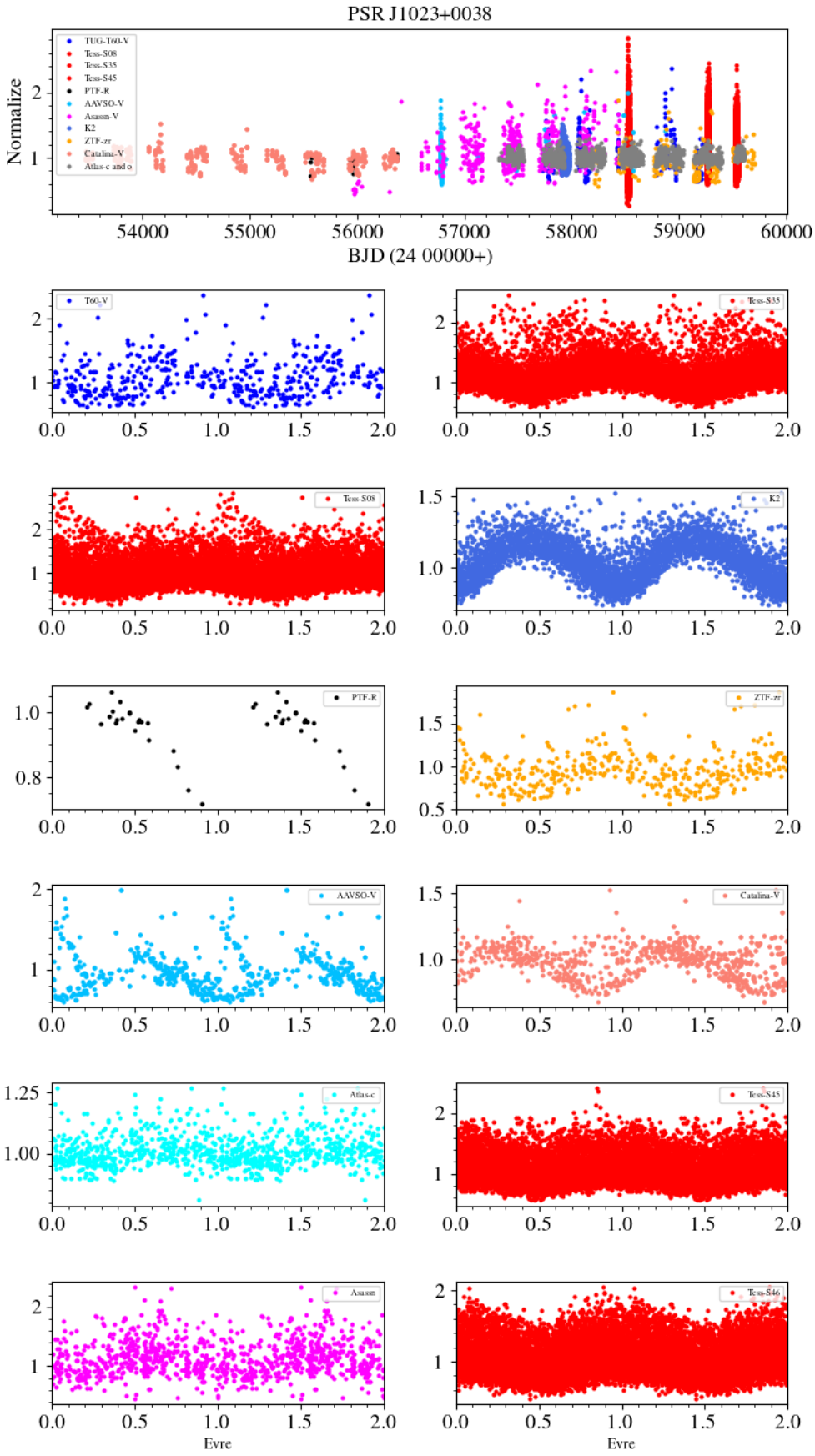
Şekil 3.18: TUG-T100 teleskobu ile J1023 sisteminin kısa dönemli (8 gece) ışık değişimi (üst panel) ve R bandındaki gecelik ışık eğrileri.



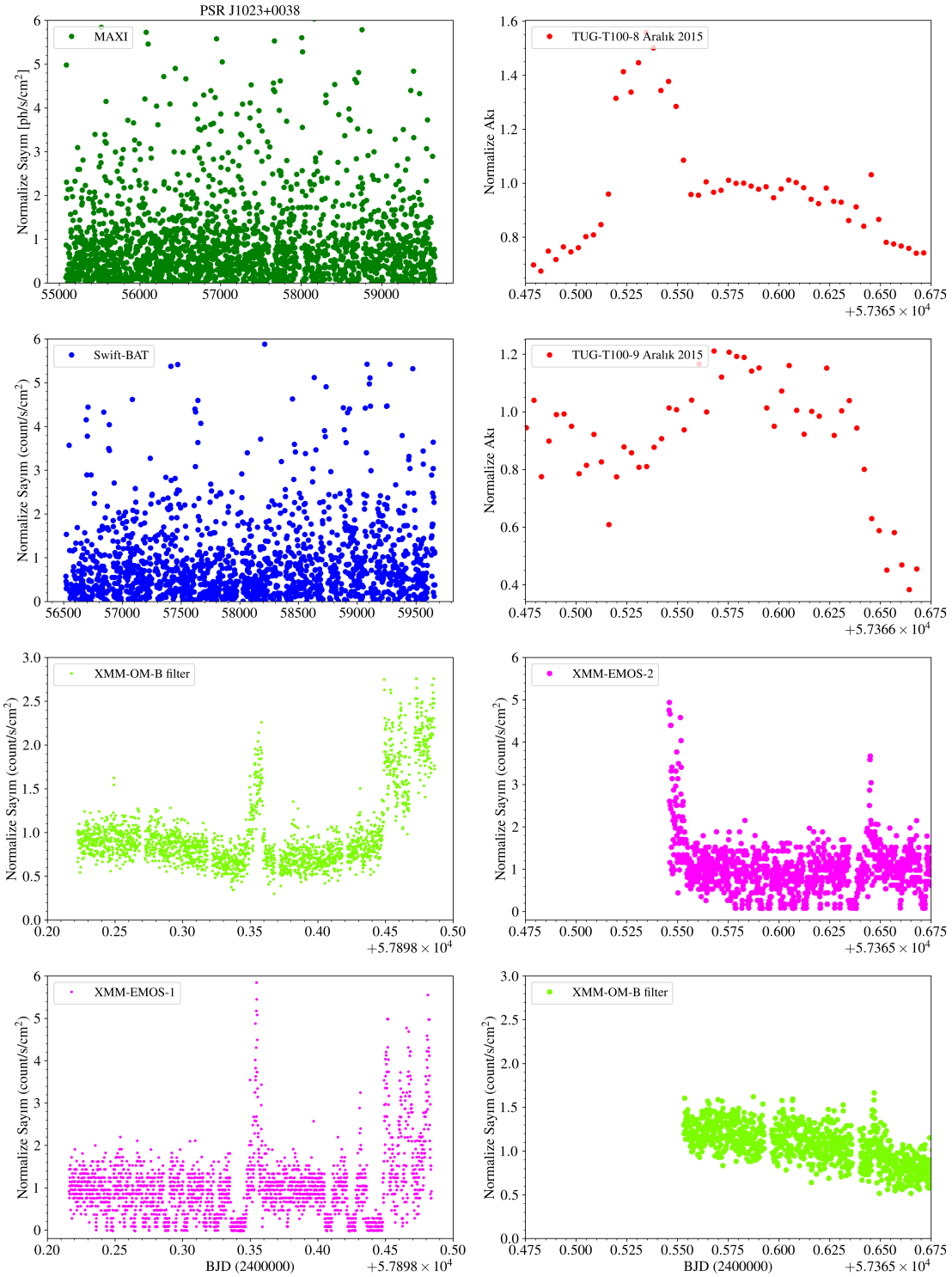
Şekil 3.19: TUG-T60 teleskobu ile PSR J1023+0038 çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi.

Sistemin kısa dönemli gecelik sonuçlarında belirgin akı değişimleri (parlamalar) görülürken, uzun dönemli ışık eğrisi "düşük" ve "yüksek" durum evresini belrigin bir şekilde göstermektedir. Bununla birlikte, diğer hedef sistemlerde olduğu gibi keşfi son 25 yıl içinde gerçekleşmiş olan LMXB ve MSP evresi arasında geçişli durum sergileyen sistemin yaklaşık 15 yıllık fotometrik literatür gözlemleri mevcuttur. Tez kapsamında ele alınan ve HZ Her ve V818 Sco için de uygulanan amaçlar doğrultusunda sistemin tüm optik veri setleri birleştirilmiştir ve normalize edilmiş akı değişimleri Şekil 3.20'da gösterilmiştir. Farklı dönemlerde farklı uydu (TESS Kepler/K2 gibi hassas verilerle) ve gözlem araçları tarafından ele alınan çiftin veri setlerinin gözlem aralığı (BJD)-2400000): AAVSO (56773.55805-58871.57542), ASAS-SN (55959.11405-58448.04892), ATLAS (57343.13617-59591.16737), CATALINA (53464.73646-55956.92734), Kepler/K2 (57905.74877-57977.73024), ZTF (58199.7638-59703.7819), TESS (S8, S35, S45, S46)(58517.363318-59578.70367), TUG (T60)-bkz. Tablo 3.1.

Bununla birlikte, üç LMXB hedef sistemimizden biri olan PSR J1023, X-ışın alanında da aktif olarak çok çalışılmış bir sistemdir. X-ışın doğasını anlamak ve optik gözlem aralığı ile karşılaştırmak için MAXI, Swift/BAT ve XMM-Newton'un EMOS ve OM-B bandı gözlemleri incelenmiştir. Sistemin X-ışın akı değişimleri Şekil 3.21'de çizilmiştir. Sistemin T100 8 Aralık gözlemindeki değişim neredeyse 3-4 katlık bir parlaklık artışı sergilemektedir. Bu değişim aynı tarihli XMM-Newton EMOS-2 kamerası ile de yakalanmıştır. Daha önce de söylediğimiz gibi, bu ani akı değişimleri disk, patlama ve yıldız aktivitesinden kaynaklanıyor olabilir. Bununla birlikte, Şekil 3.21'deki sonuçlarda XMM-Newton'un OM-B bandında ve EMOS-1 de aynı akı değişimini net bir şekilde görmekteyiz.



Şekil 3.20: PSR J1023+0038'a ait tüm optik ışık eğirileri.



Şekil 3.21: PSR J1023 sisteminin MAXI, Swift/BAT, XMM-Newton X-ışın ışık eğrileri.

3.5 Büyük kütleli X-ışın Çift Sistemi SAX J2103.5+4545

Mikrokuasar olarak tanımlanan X-ışın çift sistemi SAX J2103.5+4545 (GSC 03588-00834), yörüngesi yaklaşık 12.7 gün olan (Baykal et al., 2000) bir Be yıldız yoldaşı (Reig et al., 2005) ile yörüngede bulunan bir pulsar'dır (Hulleman et al., 1998). SAX21 Yer'e bilinen en yakın nötron yıldızı-Be yıldızı sistemidir (Blay et al., 2006). 1997 Şubat ve Eylül arasında sergilediği patlamaları boyunca BeppoSAX uydusu tarafından P_{spin}= 358.61 s'lik atmasıyla birlikte keşfedilmiştir ve B0 Ve tayf türüne sahip (V=$14^m.2$) 20 $M_\odot$'lik bir optik bileşenden oluşmaktadır (Reig, 2011)

Olağan dışı bir HMXB olan SAX J2103, Kasım 1999 da başlayan patlaması ile RXTE/All-Sky Monitor (ASM) uydusu tarafından dikkat çekmiştir. 2002 Temmuzda gösterdiği patlama boyunca görüntülen kaynağın yörünge parametreleri güncellenerek P_{orb} = (12.66536 ± 0.00088) gün ve basıklığı e = 0.4055 ± 0.0032 olarak elde edilmiştir (Baykal et al., 2007). Çiftin uzaklığı 6.5 kpc olarak tahmin edilirken zamanlama analizleri, sistemin ∼ 150 günlük hızlı dönme durumu olduğunu göstermiştir (Reig, 2011).

Sistem, Şubat 1997'deki keşfinden sonra çeşitli X-ışın bandlarında gözlenmiş ve disk kaybından sonra dahi X-ışın yaydığı bulunmuştur (Reig, 2011). Sistemin optik dalga boyundaki az verisine göre sergilediği "aktif" durum süresince H_α çizgisinin varlığı Be yıldızı bileşenin çevresinde bir disk'e karşılık gelmektedir (Reig, 2011). SAX J2103'in RXTE/PCA ve XMM-Newton 2003 eş zamanlı gözleminden, çiftin dönme hızı oranı 7.4± 0.9 $\times 10^{-13}$Hz/s ve dönme dönemi 354.7940 ± 0.0008 s olarak güncellenmiştir ve 22.7 s'lik yarı-dönemsel salınımlar keşfedilmiştir (İnam et al., 2004). Keşfinden bu yana iyi belgelenmiş patlamalarla iyi çalışılmış bir sistem olan SAX J2103 en sonuncusu 2019'da (Ducci et al., 2019) olmak üzere Swift/BAT gibi uydularla takibi yapılmıştır. Bununla birlikte, kaynak için çok sayıda geniş enrji bandı aralığında veri mevcuttur (Harvey et al., 2022).

Tez çalışmasında NSXRB ilişkin gözlemsel çalışmanın büyük kütleli X-ışın çifti SAX J2103'ün yeni uzun dönemli çokrenk gözlemlerinin takibi T60 teleskobu kullanılarak yapılmıştır. 2015-2021 yılları arasında V, R ve I

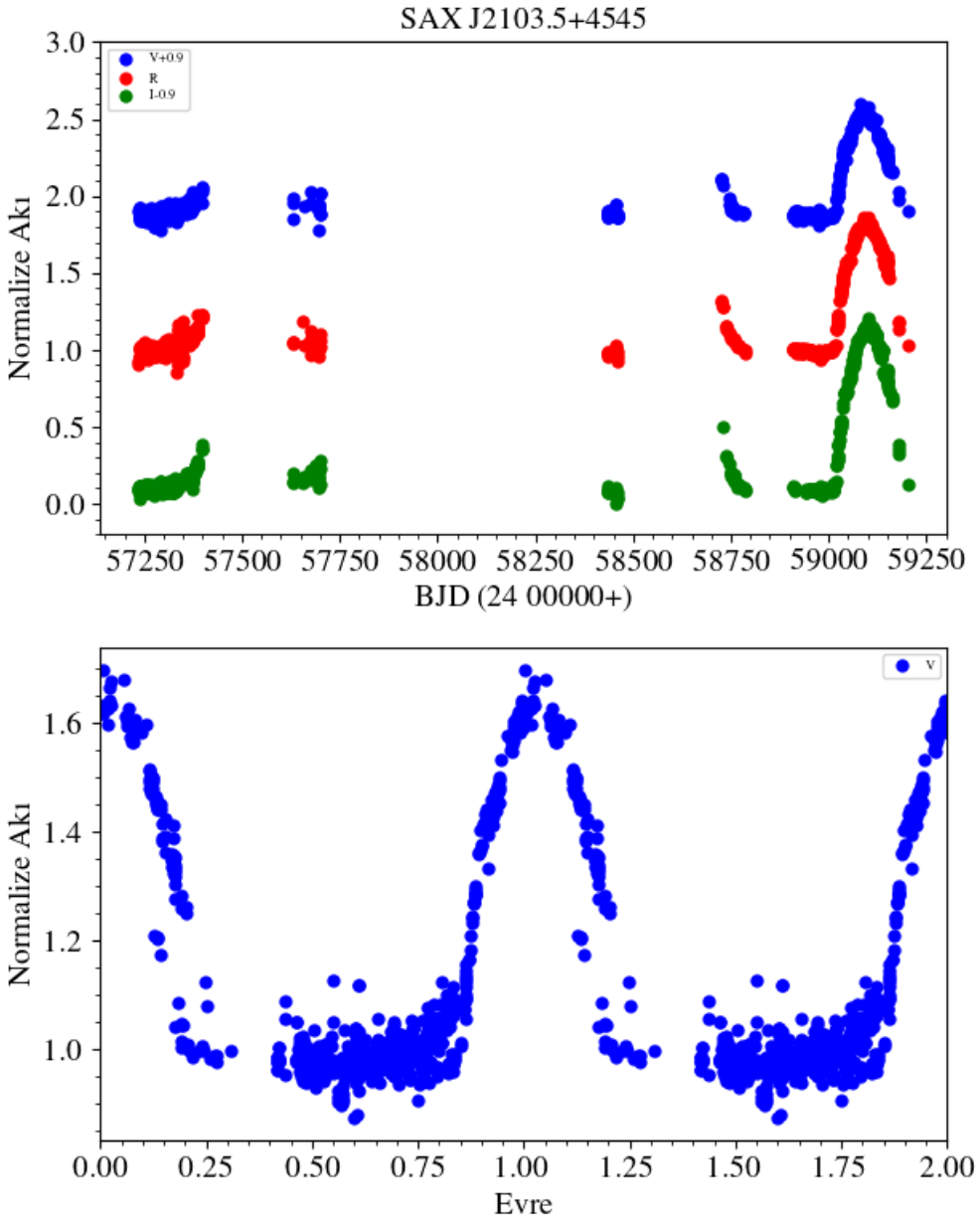
bandlarında 20 ve 60 sn poz sürelerinde incelenen sistem Şekil 3.3'te (alt panel) verilen CCD alan görüntüsü ve şeçilmiş mukayese yıldızları (bkz. Tablo 3.1, Tablo 3.2) ile çalışılmıştır. Diğer hedef sistemler gibi J2103 çift sisteminin de yaklaşık 20 yıllık fotometrik literatür verisi mevcuttur. Bu veri setleri içerisinde özellikle TESS uydusunun sonuçları dikkat çekmektedir. Hedef çiftin uzun dönemli gözlemlerindeki dönemlilikler Fourier analizi yöntemiyle aranmıştır. T60, ASAS-SN ve ZTF veri setinin ortak analizi sonucu sistem için yaklaşık 818 günlük periyodik bir değişim saptanmıştır ve bu değişim Şekil 3.26'da gösterilmiştir.

Sistemin 406 günlük (ASAS-SN) yörünge döneminde elde edilen uzun dönemli ışık değişimleri ve ışık eğrileri yeni elde edilen T60 sonuçları Şekil 3.22'de ve bu çalışma kapsamında verilen ışık eğrileri Şekil 3.24'te gösterilmiştir. X-ışın çifinin TESS verisi sektör 15, 16, 55 ve 56'de alınmıştır. TESS S16 ve S56 sonuçlarında belirgin bir tutulma ve akı değişimi görülmektedir.

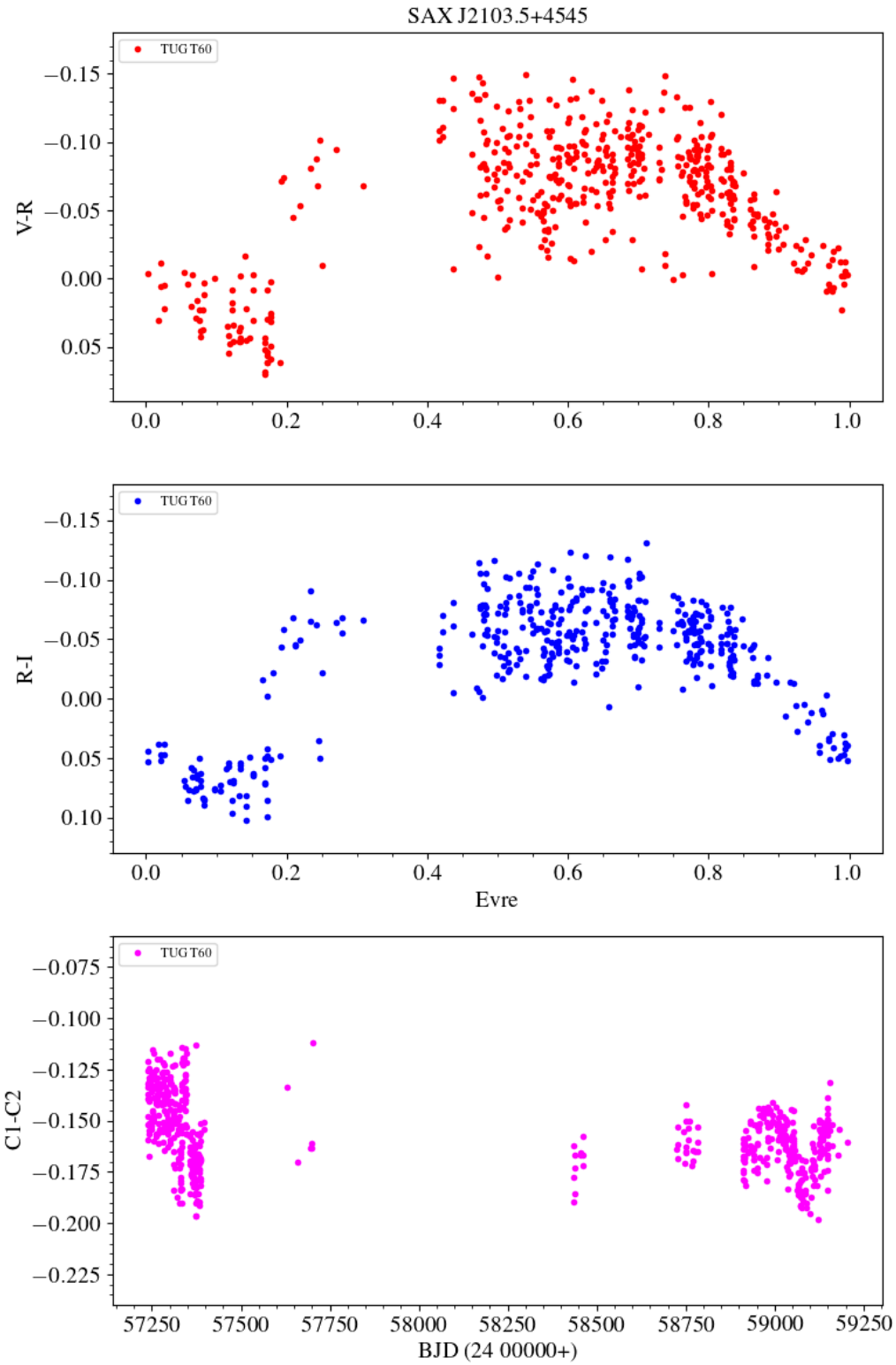
Sistemin T60 çokrenk gözlemleri ile V-R ve R-I renk ölçekleri hesaplanmıştır ve mukayese yıldızlarının V bandındaki parlaklık farkı ile Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Şekil 3.23'de (V-R) ve (R-I) değişimlerine baktığımızda 0.0-0.5 evre aralığında belirgin bir parkalık artışı görülürken, 0.5-1.0 evre aralığında ise parlaklık düşüşü gerçekleşmektedir. Burada, renk değişimleri bu tür sistemlerin sahip olduğu toplanma alanı, çarpma bölgesi ve yıldız yüzeyindeki homojen olmayan yapılar ve aktivite gibi etkileri üzerine yorumlanabilir. Sıkışık objeyi çevreleyen diskin eğriliği, diskte madde çarpan noktanın bize zamanla farklı görülmesi buna neden olabilir. Ama, buradaki gibi uzun dönemli renk değşimleri baskın olarak aktvite etkisine atfedilebilir.

Çift sistemin çalışmada incelenen optik veri setlerinin gözlem aralığı (BJD-2400000): ASAS-SN (57102.14686-58448.70685), ATLAS (57305.77831-59524.81721), NSVS
(51421.75338-51566.59693), OMC (53130.19481-59430.79998), SuperWASP
(54368.35972-54368.55355), ZTF (58271.92480-58819.62478), TESS (S15, S16, S55, S56) (58711.384119-59853.140844), TUG (T60)-bkz. Tablo 3.1. HMXB J2103'ün X-ışın uydu gözlemleri ve ışık eğrileri; MAXI X-ışın uydusu ile

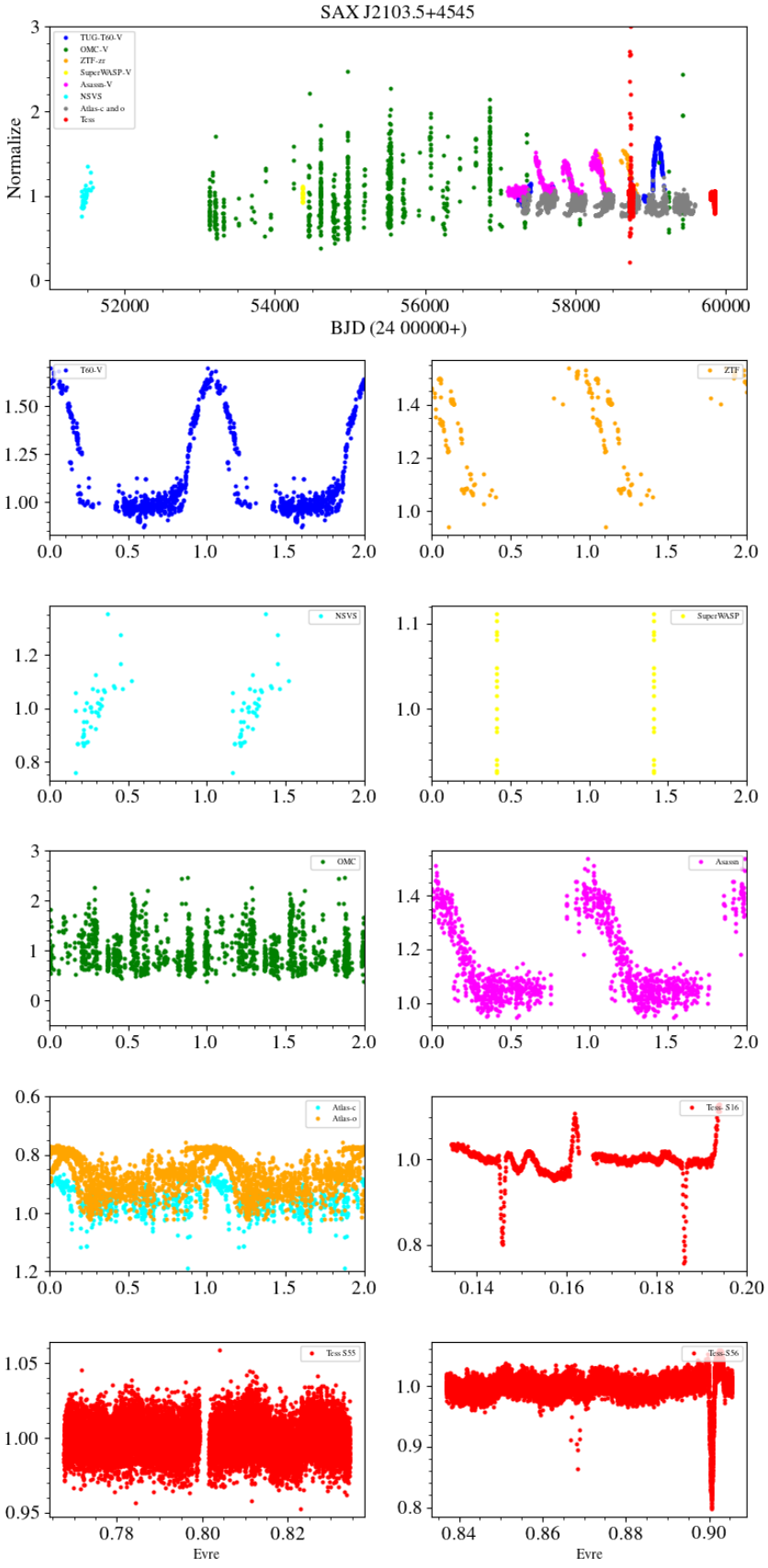
gözlemi 2-10 keV [ph/s/cm^2], RXTE/ASM ile 1.5-12 keV ve Swift/BAT ile 15-50 keV enerji bandı aralığında incelenmiştir. TUG-T60 gözlem dönemi ve sistemin diğer optik veri setleri aralığı içerisinde kalan X-ışın ışık değişimleri ise Şekil 3.25'te ve sistemin Fourier analizi sonucu elde edilmiş güç spektrumu Şekil 3.27'de verilmiştir.



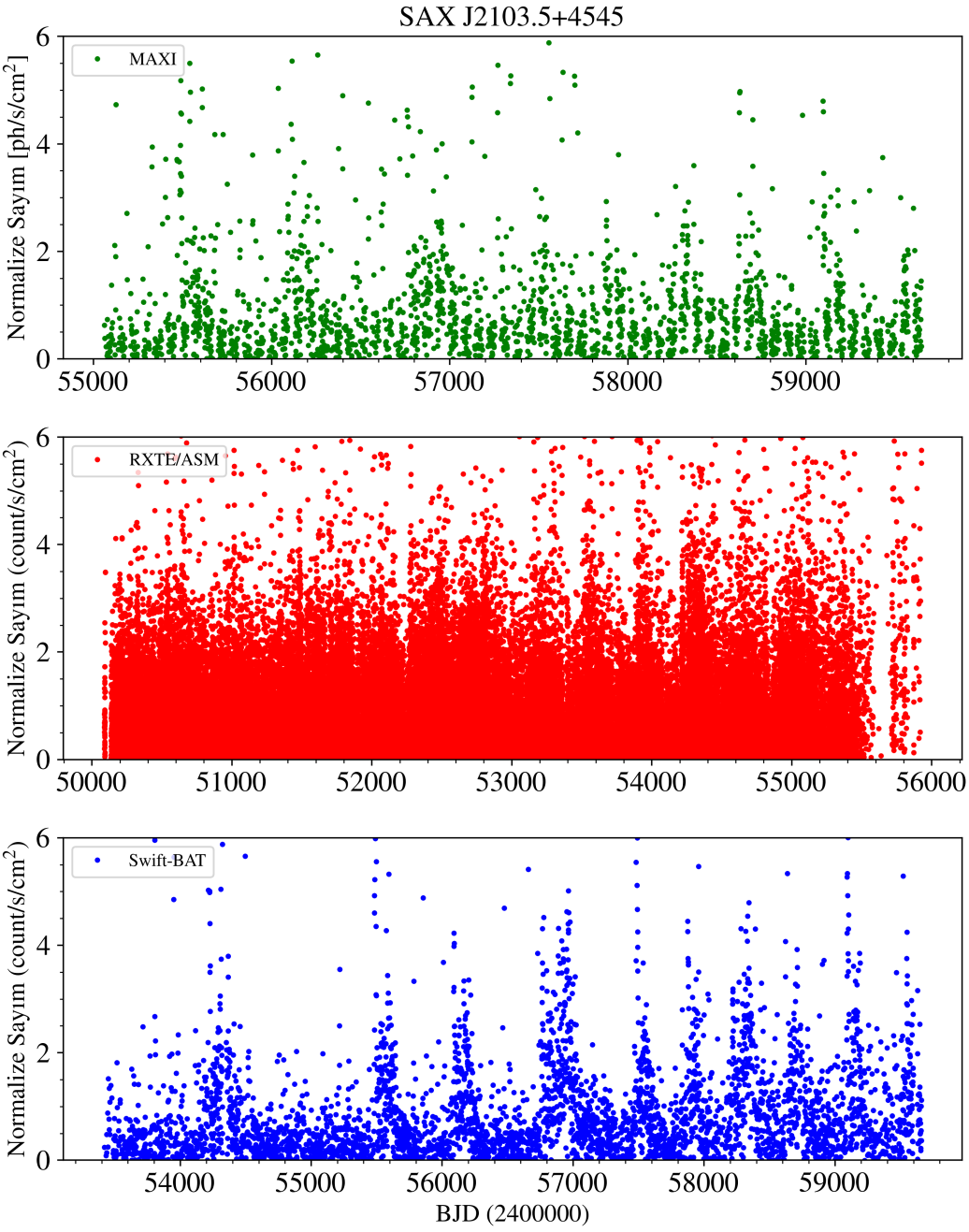
Şekil 3.22: TUG-T60 teleskobu ile SAX J2103 sisteminin uzun dönemli ışık değişimi (üst panel) ve V bandındaki katlanmış ışık eğrisi (alt panel).



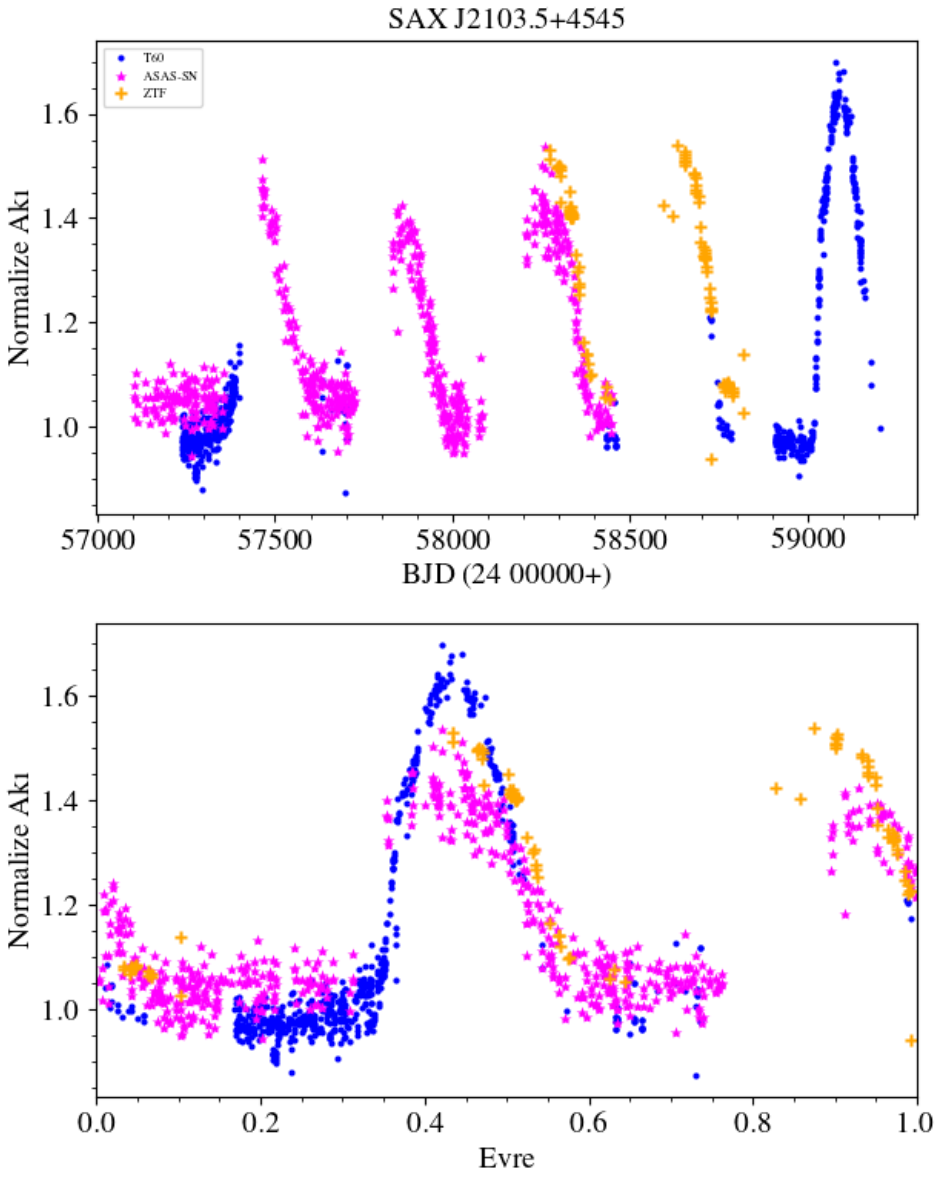
Şekil 3.23: TUG-T60 teleskobu ile SAX J2103.5+4545 çift sisteminin V-R ve R-I renk değişimi ve V bandındaki C1-C2 değişimi.



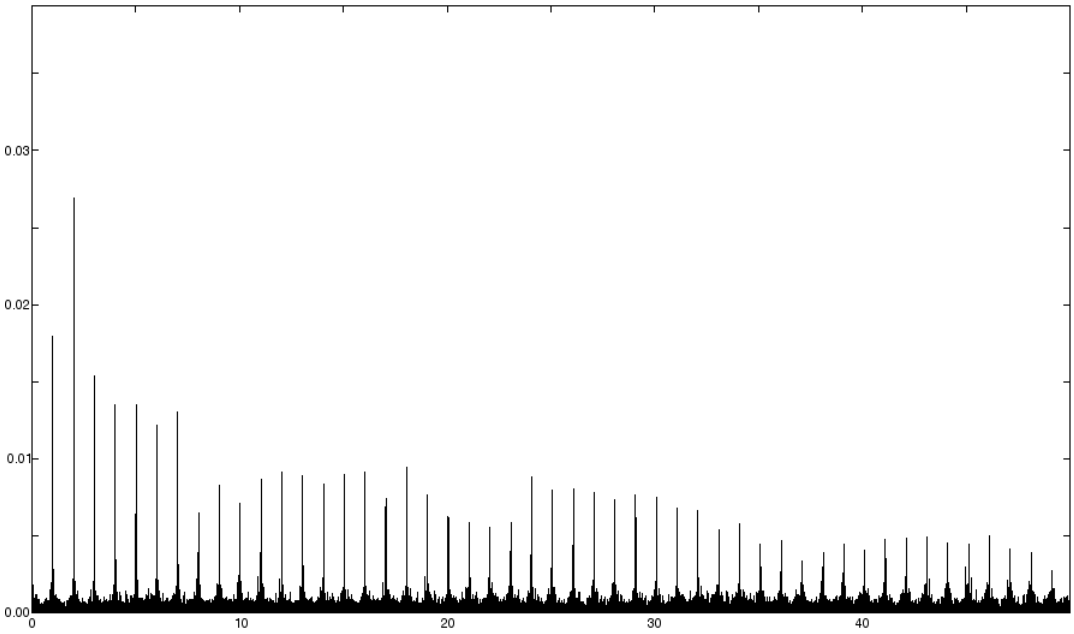
Şekil 3.24: SAX J2103.5+4545 sisteminin tüm optik veri setlerinin uzun dönemli değişimleri ışık eğrileri.



Şekil 3.25: SAX J2103 sisteminin MAXI, Swift/BAT, RXTE/ASM X-ışın ışık eğrileri.



Şekil 3.26: SAX J2103 sisteminin TUG-T60, ASAS-SN ve ZTF gözlemlerinin ortak analizi sonucu elde edilen 818 günlük değişim.



Şekil 3.27: SAX J2103 sisteminin T60, ASAS-SN ve ZTF gözlemlerinin Fourier analizi sonucu elde edilen güç spektrumu.

4 HEDEF SİSTEMLERİN EVRİM MODELLERİ

Tez çalışması kapsamında farklı kütle aralıklarındaki çift sistemlerin korunumsuz evrimi araştırılmıştır. Bunun için literatürde sıklıkla kullanılan kabul görmüş evrim kodları incelenmiş ve aralarındaki farklar ve detaylar tartışılmıştır. Her bir kod ailesi için başta Güneş olmak üzere farklı kütleli tek yıldızlar için test modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra ki aşamada aktif RS CVn türü çift sistemler için dinamo bağlamında evrim modelleri oluşturulmuş ve bunların hangi zaman ölçeklerinde nasıl evrimleştiği gözlemsel bulgular ile birlikte irdelenmiştir. Benzer durum küçük ve büyük kütleli yakın X-ışın çift sistemleri için de test edilmiş ve olası çift nötron yıldızı sistemlerin oluşumuna ilişkin yaklaşımlar aranmıştır. Bu kapsamda küçük ve büyük kütleli nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerin korunumsuz evrim süreçleri ve evrim yolları incelenmiştir, elde edilen tüm sonuçlar Bölüm 5'de tartışılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan evrim modellerinde MESA evrim kodu üzerine çalışmalar yapılmış çok sayıda test modelleri oluşturulmuştur. Bu evrim modellerinde daha önce Bölüm 1.5'te değinilen farklı MESA dağıtım versiyonları kullanılmıştır. Tek yıldız evrimi için 'Star' çift yıldız evrimi için 'Binary' modülünün farklı paketleri kullanılmıştır. Bu kapsamda öncelikle, değişen kütle aralıklarındaki tek yıldızların evrimini test etmek hem de RT And çift sistemini oluşturan bileşen yıldızların evrim durumlarını ele alarak tek yıldız olma durumunda nasıl evrimleştiklerini karşılaştırmak için 1 $M_{\odot}$, 1.13 $M_{\odot}$ (baş bileşen), 0.83 $M_{\odot}$ (yoldaş bileşen) ile üç farklı kütlede tek yıldız evrimi ele alınmış ve evrim modelleri oluşturulmuştur. Buna benzer evrim yaklaşım sonuçları MESA-MIST modelleri ile daha önceki bölümde sunulmuştur (bkz. Bölüm 1.5).

MESA kodu üzerinde çift olma durumu ise farklı model yaklaşımları dikkate alınarak ele alınmış ve çok sayıda model elde edilmiştir. Başlangıçta basıklığın olmadığı (daha sonra ki modellerde basıklığın değiştiği), Güneş metal bolluğunda (X=0.70; Y=0.28; Z=0.02) ele alınan yaklaşımlarda korunumlu ve korunumsuz evrim koşulu altında varsayımlar yapılmıştır.

Evrim modelleri geri tür aktif çiftler ve nötron yıldızı bileşenli çift sistemler başlığı altında detayları ile incelenmiştir. Her iki çift korunumsuz evrim modellemelerinde çalışmada kullanılan ortak kabuller doğrultusunda ilerlenmiştir. Çift yıldız evriminde başlangıç girdi parametreleri M_1, M_2, P_{orb}, e (basıklık) ve t (yaş) olarak belirlenmiştir. Kütle kaybı, açısal momentum kaybı mekanizmaları ve farklı değerlerde kütle transfer etkinlik parametreleri (α, β, δ, γ) değerlendirilmiştir. Modellerde farklı testler dışında yörüngenin dairesel ve senkronize olduğu varsayılmıştır. Özellikle nötron bileşenli çift evriminde, manyetik frenleme mekanizmasının etkin olduğu (sadece LMXB evresi boyunca), gravitasyonel dalga (GW) ışınımı ve kütle kaybı nedeniyle standart yörünge açısal momentumu kaybı varsayımı dikkate alınmıştır. Gravitasyonel yıldız rüzgarıyla kütle kaybı için Tout and Eggleton (1988) mekanizması çalıştırılmıştır. Evrim sürecinde kütle transfer aşamaları ise yıldız rüzgarı (Bondi-Hoyle-Lyttleton), "Kolb", "Ritter" ve "Roche lobe" şablonları (bkz. Bölüm 1.5) ile değerlendirilmiştir. AML, spesifik olarak NSXRB kapsamında detaylandırılmıştır, bu sistemlerde gravitasyonel ışımayla ML'un gerçekleştiği yaklaşımlar uygulanmıştır. Nötron yıldızı bilşenli çift sistemlerin korunumsuz evrim modellerinde baskın MT mekanizması olarak RLOF yolu seçilmiştir. Bu MT mekanizmasının testinde ise kütle transfer etkinlik parametresi β korunumlu ve korunumsuz bir kesirde 0.3 ve 0.7 aralığında kullanılmıştır. Evrim modellerinde konveksiyonu ele alırken karışım uzunluğu parametresi RT And ve LMXB türü sistemler için kütle aralıklarına bağlı olarak α_{MLT} 1.8 ile 2 arasında değişen değerler olarak alınmıştır. Bazı evrim modelleri yaklaşımında yarı-konveksiyon ve overshooting dikkate alınmamıştır.

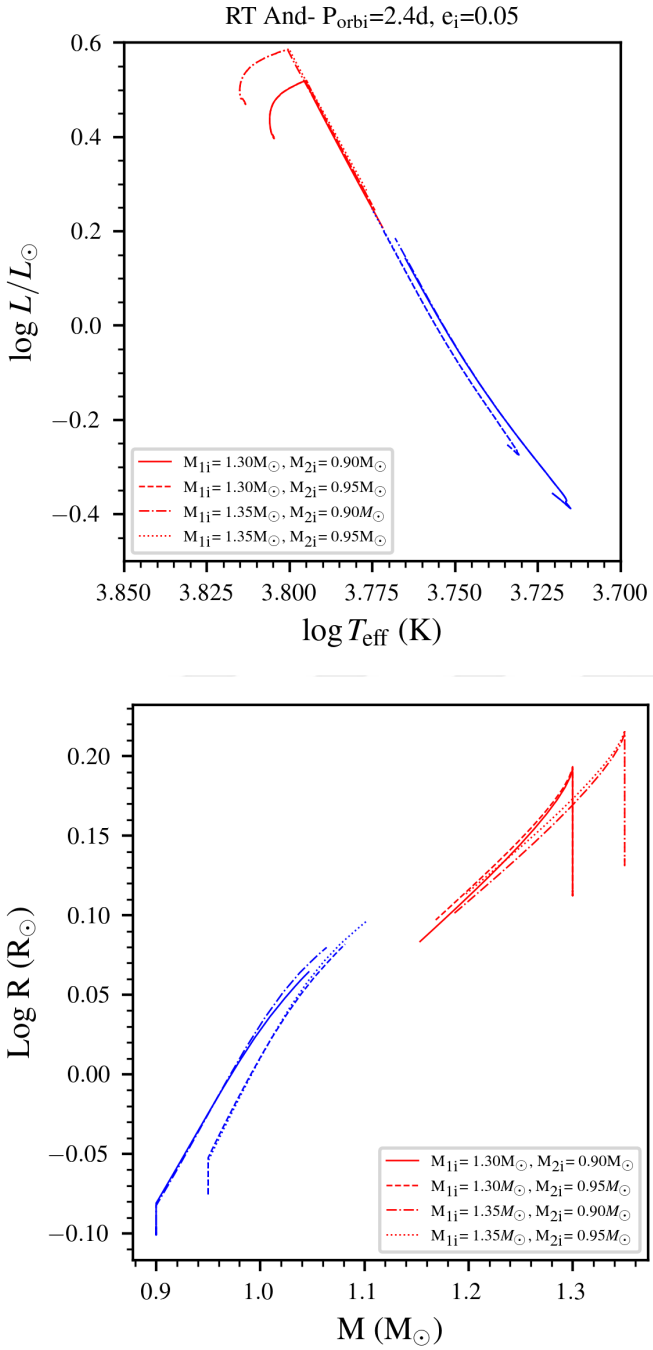
4.1 Geri Tür Çift Sistemler

4.1.1 RT And

Geri tür yakın aktif sistemlerin evrim modellerinin oluşturulması kapsamında RT And çift sistemi için MESA evrim kodu üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İki anakol bileşenden oluşan sistemin Güneş metal bolluğunda korunumlu ve korunumsuz test evrim modelleri oluşturulmuştur. MESA kodunun "Binary" modülü ve 'Evolved both star' paketi kullanılarak yapılan modellerde, çift sistemin her iki bileşeni de aynı anda evrimleşmektedir. Bu modellerde önce basıklığın değiştiği, Güneş metal bolluğunda ele alınan yaklaşımlarda korunumlu ve korunumsuz evrim koşulu altında farklı varsayımlar yapılmıştır. Daha sonra bu kapsamda korunumsuz evrim koşulu altında RT And sistemi için uygun olabilecek farklı girdi parametrelerine sahip evrim modelleri oluşturulmuştur. Sonraki aşamada kütle ve yörünge döneminin sınırlandırıldığı korunumsuz yaklaşımlar test edilmiştir. Bunlardan ilk test modelde baş ve yoldaş bileşenlerin kütleleri sırası ile 1.30-1.35 $M_{\odot}$ ve 0.90-0.95 $M_{\odot}$ arasında değişmektedir. Yörünge döneminin 2.4 gün olarak sabit alındığı ve Güneş metal bolluğu varsayımıyla basıklığın 0.05 olduğu ilk yaklaşımın sonucu Şekil 4.1'de H-R ve M-R (Kütle-Yarıçap) diyagramında verilmiştir.

Korunumsuz model setlerinin diğer bir versiyonunda baş ve yoldaş bileşen için; dönme, opasite, konveksiyon ve karışım uzunluğu gibi iç yapı evriminde etkili süreçler ile farklı varsayımlar ele alınmış ve önceki modeller ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, MESA evrim kodunun bize sağladığı kütle kaybı (ML) ve açısal momentum kaybı (AML) mekanizmaları üzerine odaklanılmıştır. Bunun için, korunumsuz test evrim modellerinde ilk olarak çekimsel rüzgar ile kütle kaybı dikkate alınmış ve Tout and Eggleton (1988) mekanizması kullanılmıştır. Diğer bir mekanizma olarak, yıldız rüzgarı yoluyla kütle transferine odaklanılmıştır. Tüm evrim modelleri sistem için kütle transferi etkinlik parametrelerinin farklı değerlerdeki varsayımları ile yapılmıştır. Kütle transferi hesabı için "Ritter" (Ritter, 1988) ve "Roche lobe" gibi farklı şablonlar (bkz. Bölüm 1.5) kullanılmıştır. Yörünge açısal momentum

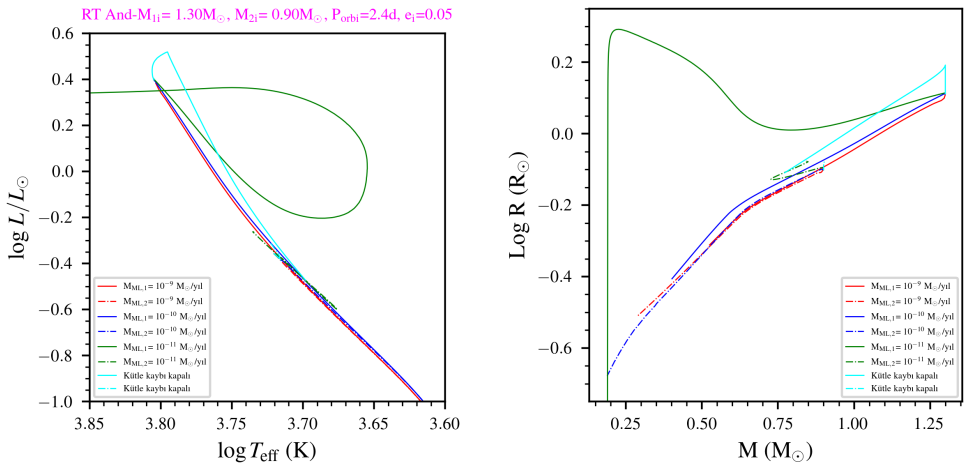
kaybı ise öncelikli olarak standart manyetik frenleme daha sonra R83 olarak ifade edilecektir Rappaport et al. (1983) (bkz. Bölüm 1.2 ve Bölüm 1.3) yaklaşımı, gravitasyonel ışıma ve kütle kaybı mekanizmaları ile ele alınmıştır.



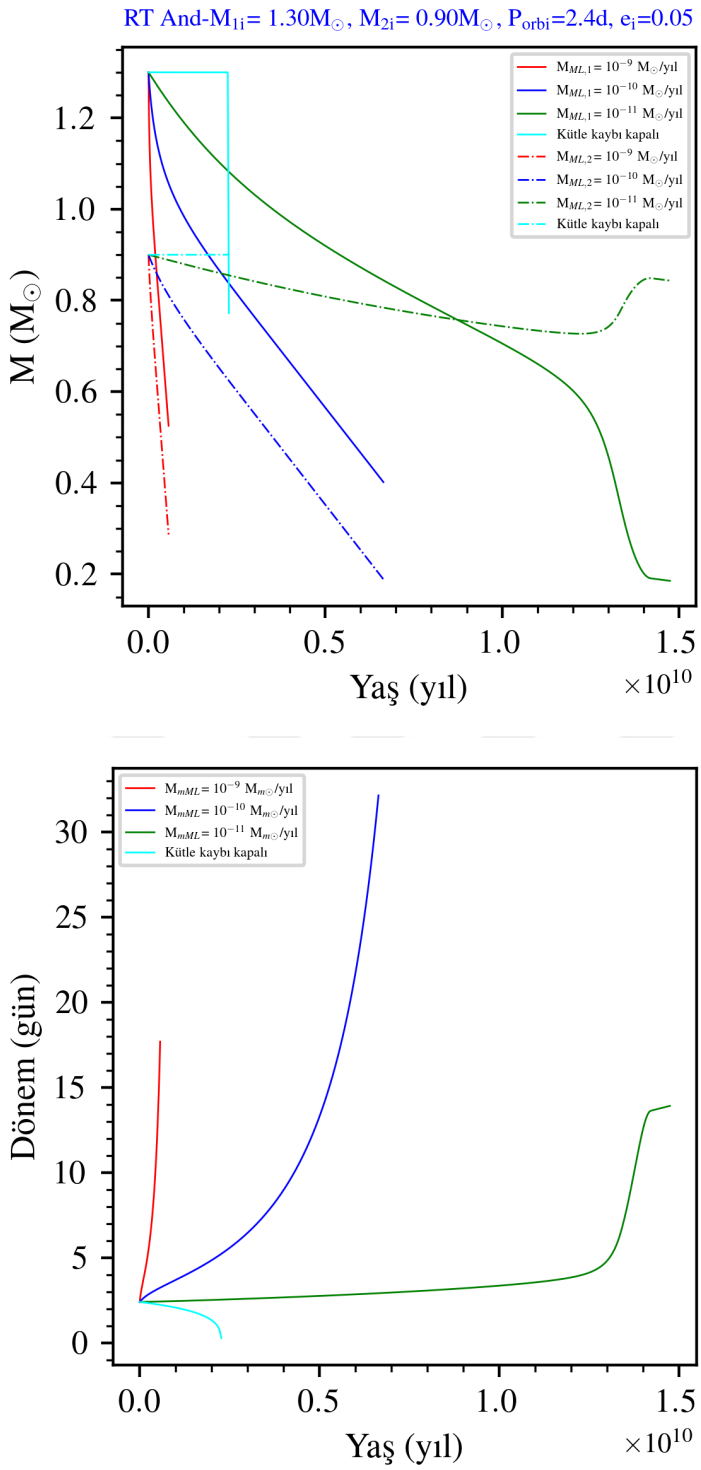
Şekil 4.1: RT And çift sisteminin MESA ile uygulanmış test evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramları. Baş yıldız kırmızı ile yoldaş yıldız mavi ile temsil edilmiştir.

RT And çift sisteminin bugünki gözlemsel koşulları yeni elde edilen gözlemler ve tüm literatür ışık eğrileri ve dikine hız eğrileri dikkate alınarak tez çalışması kapsamında elde edilmiştir (bkz. Bölüm 2.2.4). Bugünki fiziksel ve yörünge parametrelerini sağlayan yaklaşımları sınırlandırmak için baş bileşenin kütlesinin 1.30 $M_{\odot}$ ve yoldaş bileşenin kütlesinin 0.90 $M_{\odot}$ olduğu koşul dikkate alınmıştır. Kütle kaybı parametresinin 10^{-9} ile 10^{-11} $M_{\odot}$/yıl değerleri aralığında değiştiği ve parametrenin dikkate alındığı ve alınmadığı yaklaşımlar karşılaştırılmış ve ilk sonuçlar Şekil 4.2'de H-R, M-R ve Şekil 4.3 t-M (yaş-kütle) ve t-P_{orb} (yaş-dönem) diyagramlarında sunulmuştur.

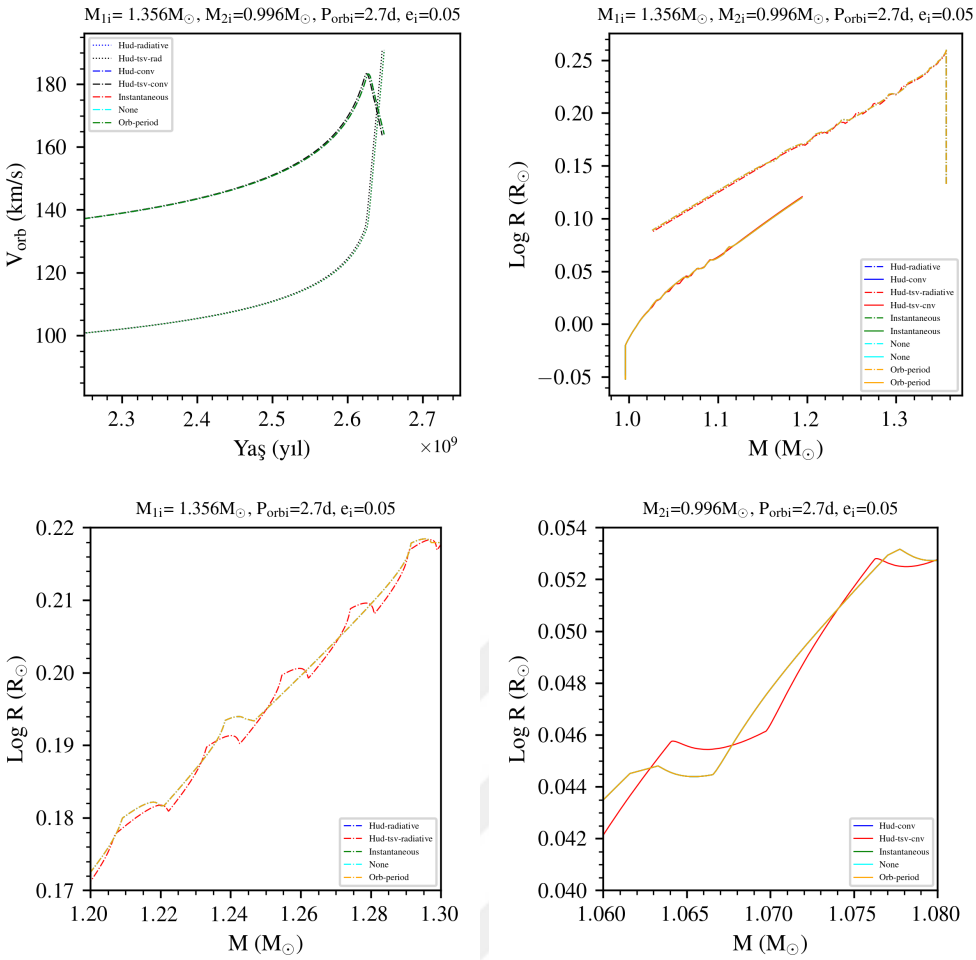
Tez çalışmasında evrim modellerinin geliştirilmesinde kütle ve açısal momentum kayıp mekanizmaları ve transfer mekanizmalarında uygulanan yaklaşımların etkisinin araştırılmasından sonraki aşamada ve çift sistemin korunumsuz yörünge evrimine odaklanılmıştır. Dönme, senkronizasyon ve basıklık parametrelerinin farklı değerlerdeki yaklaşımları ile öncelikli olarak sistem için test evrim modelleri oluşturulmuştur. Evrim yaklaşımlarında, çift evrimde yörünge senkronizasyonu için "None", "Instantaneous", "Orb-period", "Hut-conv" ve "Hut-rad" (Hurley et al., 2002) şablonları (bkz. Bölüm 1.5) kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna ilşkin sonuç evrim yaklaşımları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2: RT And çift sisteminin MESA ile uygulanmış evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramlarındaki gösterimi.



Şekil 4.3: RT And çift sisteminin çalışmada ele alınan evrim yaklaşımlarının t-M ve t-P_{orb} diyagramlarındaki gösterimi.

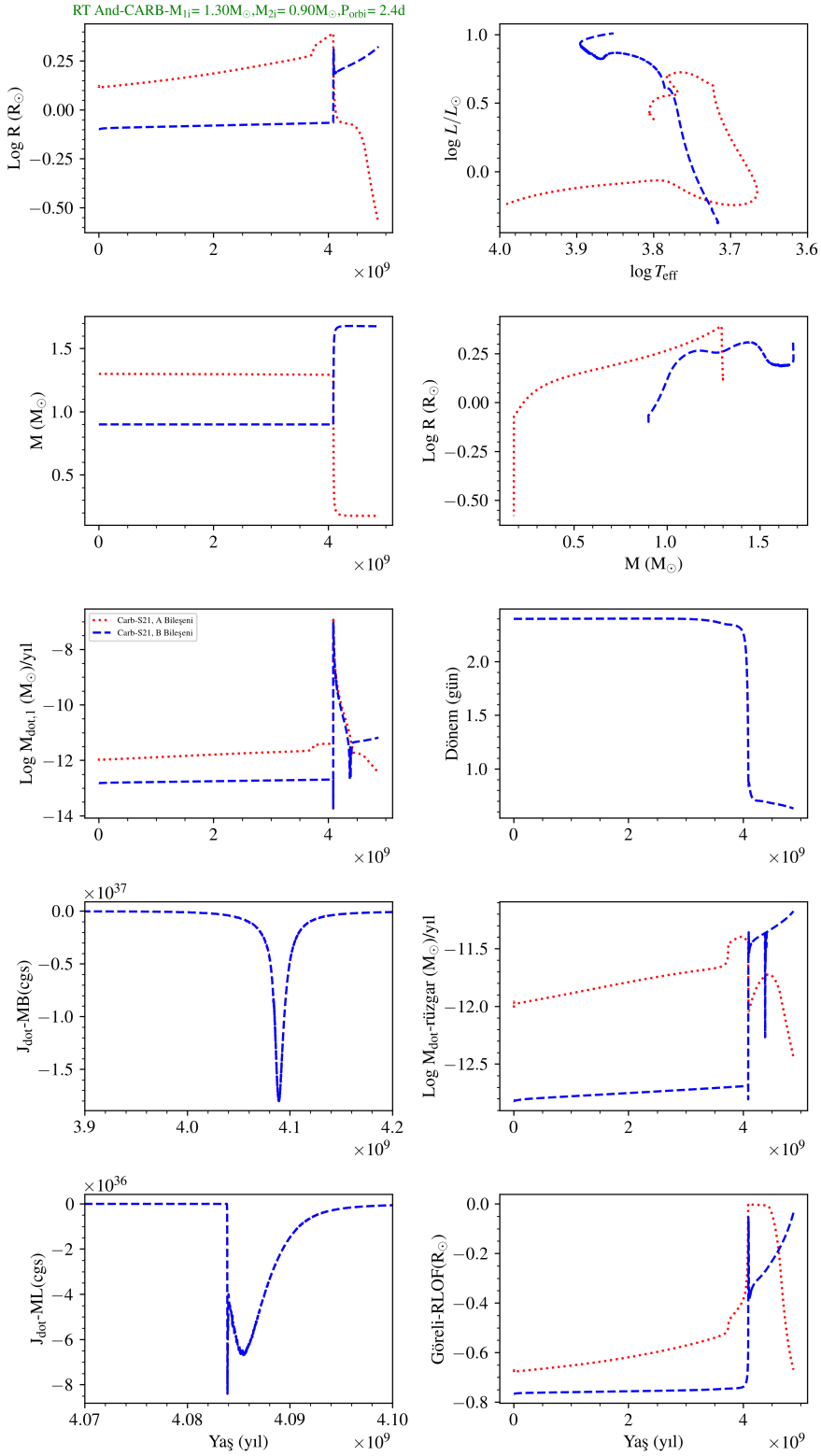


Şekil 4.4: RT And yörüngesinin dönme hızının zaman ile değişimi (sol üst) ve farklı yörünge evrimi yaklaşımlarının M-R diyagramında (sağ üst) gösterimi. Baş ve yoldaş yıldız için dönme senkronizasyon evrimi.

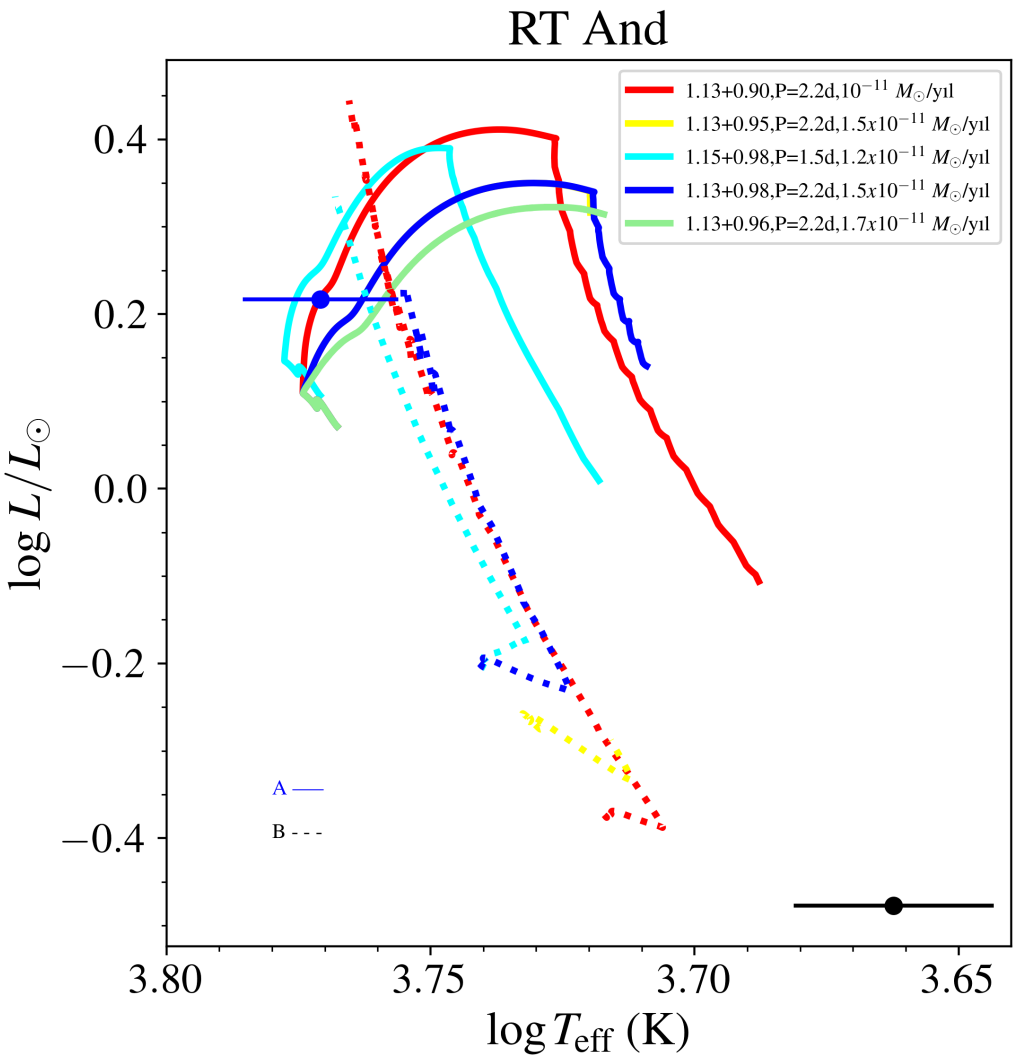
Geri tür aktif çift RT And'ın evrimine yönelik korunumsuz modellerde diğer bir araştırma konusu aktif çiftlerde baskın olan dinamo mekanizması ve bu mekanizmanın çalışmasında etkili olabilecek süreçler olmuştur. Dönme, yıldız aktivitesi ve manyetik frenlemenin (MB) etkileri her bir bileşen yıldız için ele alınmıştır. Tez çalışmasında bu kapsamda ilk olarak, MESA evrim kodunun varsayılan MB mekanizması olarak kullandığı R83 test edilmiştir.

Yakın aktif çiftlerde, dinamo mekanizmasının evrime etkisi bağlamında, literatürde sıkça çalışma alanlarına göre geliştirilmiş ve işleyen birçok MB mekanizması mevcuttur (bkz. Bölüm 1.3). Bunun için ilk olarak, dönmesi arttırılmış manyetik frenleme mekanizması (CARB) yaklaşımı (detayları için bkz. Bölüm 1.2 ve Bölüm 1.3) (Soethe and Kepler, 2021; Van and Ivanova, 2019; Rappaport et al., 1983) manyetik frenleme yaklaşımı RT And çift sistemi üzerinde karşılaştırılmıştır. Buna bağlı olarak, sistemin evriminde gerçekleşen kütle kaybı oranı incelenmiştir. İlgili yaklaşımlarda sistemin başlangıç koşulları Güneş metal bolluğunda M_{1i} =1.3 $M_{\odot}$, M_{2i} =0.9 $M_{\odot}$, P_{orbi} =2.4 gün olarak alınmıştır. CARB yaklaşımı için elde edilen ilk sonuçlar Şekil 4.5'te sunulmuştur.

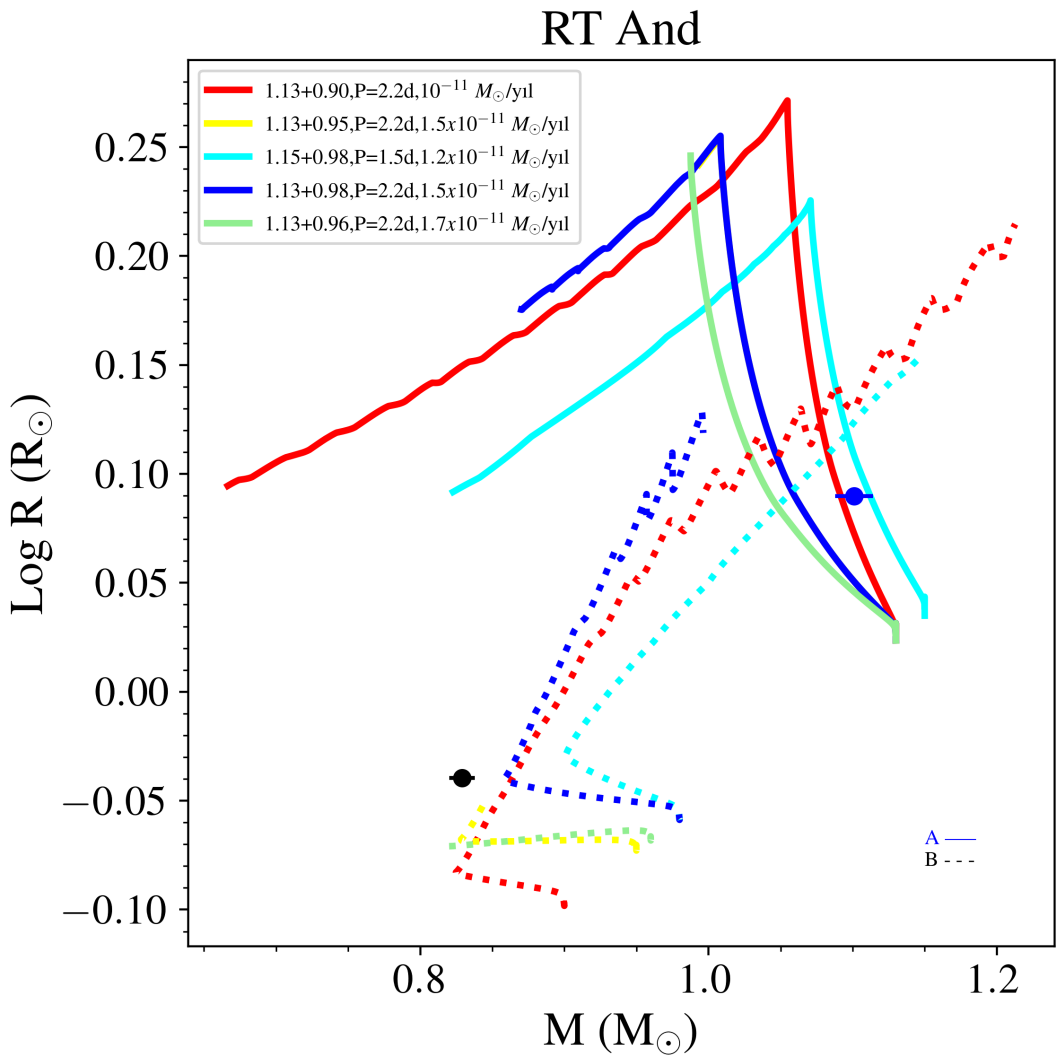
Korunumsuz evrim modelleri daha sonra farklı başlangıç yörünge dönemleri ile ele alınmış, bazı sonuçlar elde edilmiştir. RT And çift sisteminin bu tez çalışması kapsamında yeni elde edilen fiziksel parametreleri dikkate alınarak uygulanan evrim yaklaşımlarında başlangıç kütle ve dönem bilgileri sınırlandırılmıştır. Önceki modellerde testini yaptığımız ve sonrasında kabul ettiğimiz evrim yaklaşımları üzerinde son olarak kütle kayıp oranlarının değişimini etkileyen kütle kaybı parameteresinin değer aralığına odaklanılmıştır. Bunun için, 10^{-10} $M_{\odot}$/yıl ve 10^{-12} $M_{\odot}$/yıl aralığında değişen kayıp oranları yirmiden fazla evrim modeli yaklaşımı ile sistem üzerinde incelenmiştir. RT And çift sistemine ilişkin en uygun model sonuçları Şekil 4.6'da, Şekil 4.7'de ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



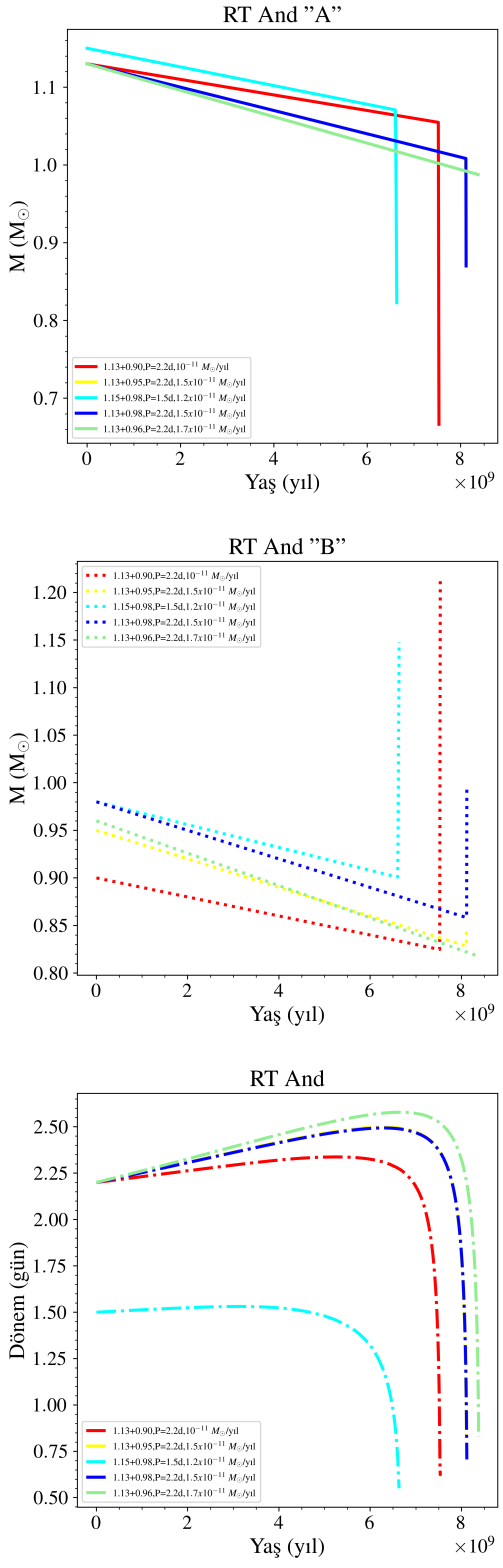
Şekil 4.5: RT And çift sisteminin baş (A) ve yoldaş (B) bileşenleri için evrim yaklaşımlarının ele alındığı MB-CARB modeline ait evrim diyagramları.



Şekil 4.6: RT And çift sisteminin çalışma kapsamında elde edilmiş evrim yollarının HRD'daki gösterimi.



Şekil 4.7: RT And'ın farklı başlangıç koşullarıyla elde edilmiş evrim yollarının baş ve yoldaş bileşen için M-R diyagramındaki gösterimi.



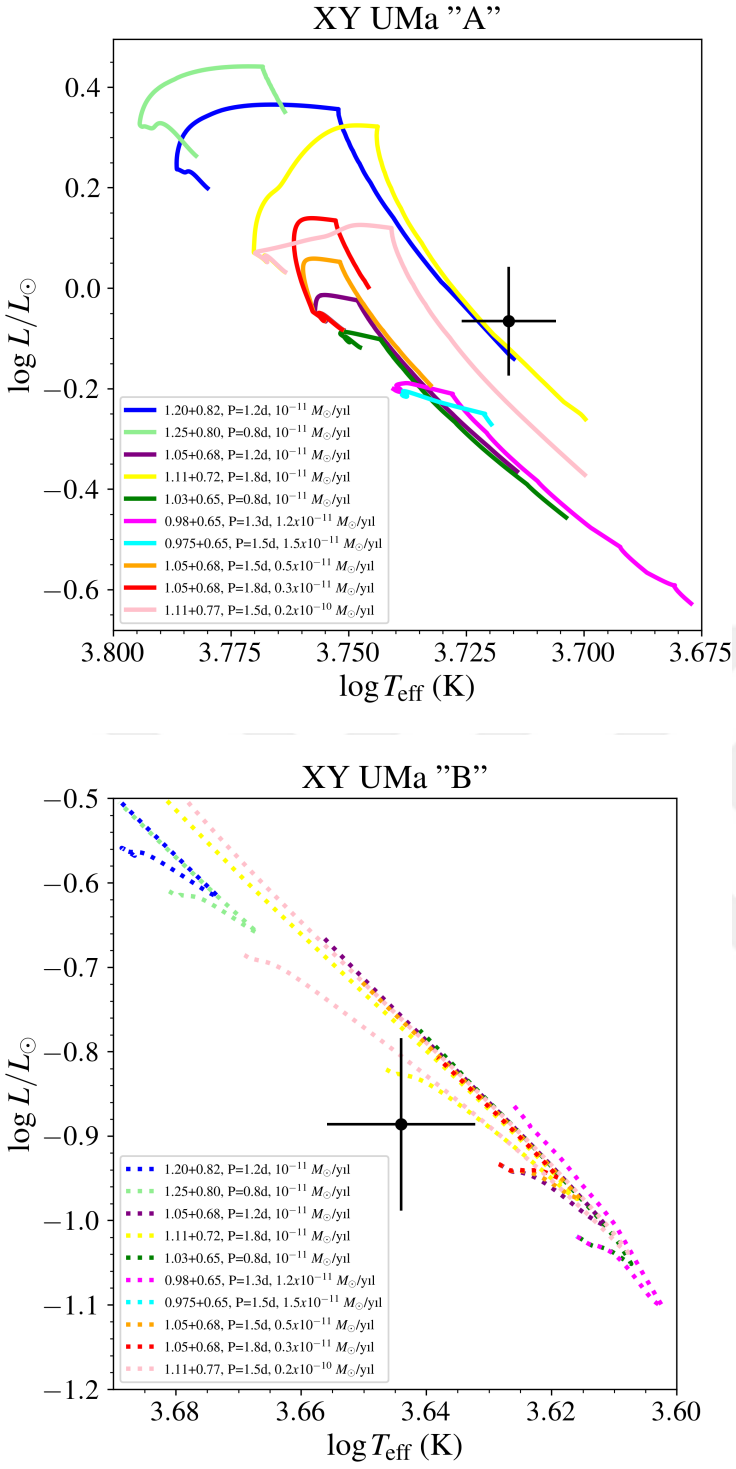
Şekil 4.8: RT And çift sistemine ilişkin MESA modellerinin baş ve yoldaş bileşenleri için t-M, t-Porb sonuç evrim yolları.

4.1.2 XY UMa

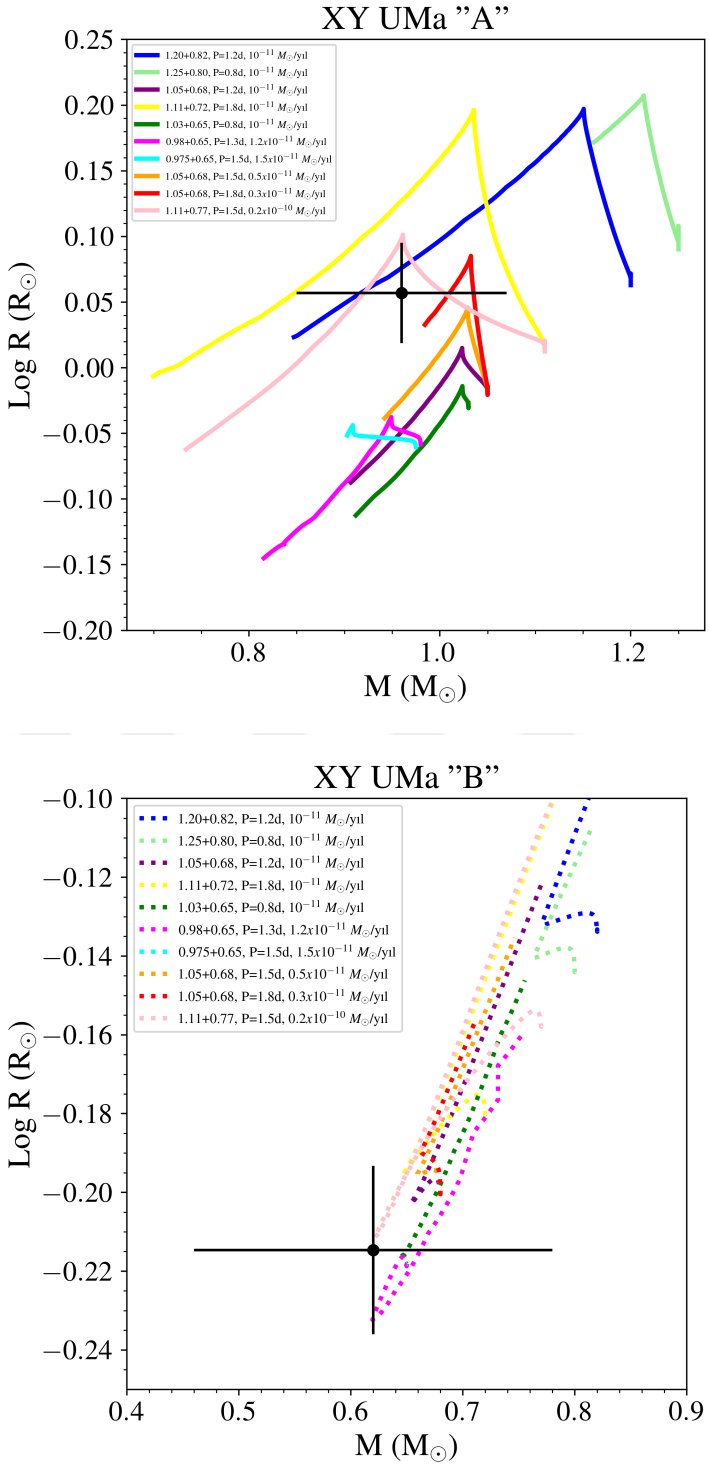
Tez çalışması kapsamında kısa dönemli aktif çiftlerin korunumsuz evriminin oluşturulması için ele aldığımız hedef sistemlerimizden bir diğeri ise XY UMa çift sistemidir. RT And çift sistemi üzerinde uygulanan ve kabul ettiiğimiz korunumsuz evrim yaklaşımları (bkz. Bölüm 4.1.1) XY UMa ayrık sistemi üzerinde test edilmiş ve çiftin bugünki gözlemsel koşulları ile uyumu aranmıştır. XY UMa için korunumsuz yaklaşımlar, MESA-r11701 verisyonu kullanılarak elde edilmiştir.

Kütle kaybının baskın mekanizmasının manyetik frenleme olduğu evrim yaklaşımlarında kütle kaybı parametresi yılda 10^{-11} $M_{\odot}$'lik bir değerle sabitlenmiştir. Model başlangıç girdi parametrelerinde baş yıldızın kütlesi 1.05, 1.11, 1.16, 1.20 ve 1.25 $M_{\odot}$, yoldaş yıldızın kütlesi 0.68, 0.72, 0.80 ve 0.82 $M_{\odot}$ değer aralığı olarak belirlenmiştir. Başlangıç yörünge dönemi yaklaşımları ise 0.8, 1.2 ve 1.4 gün değerleri ile ele alınmıştır.

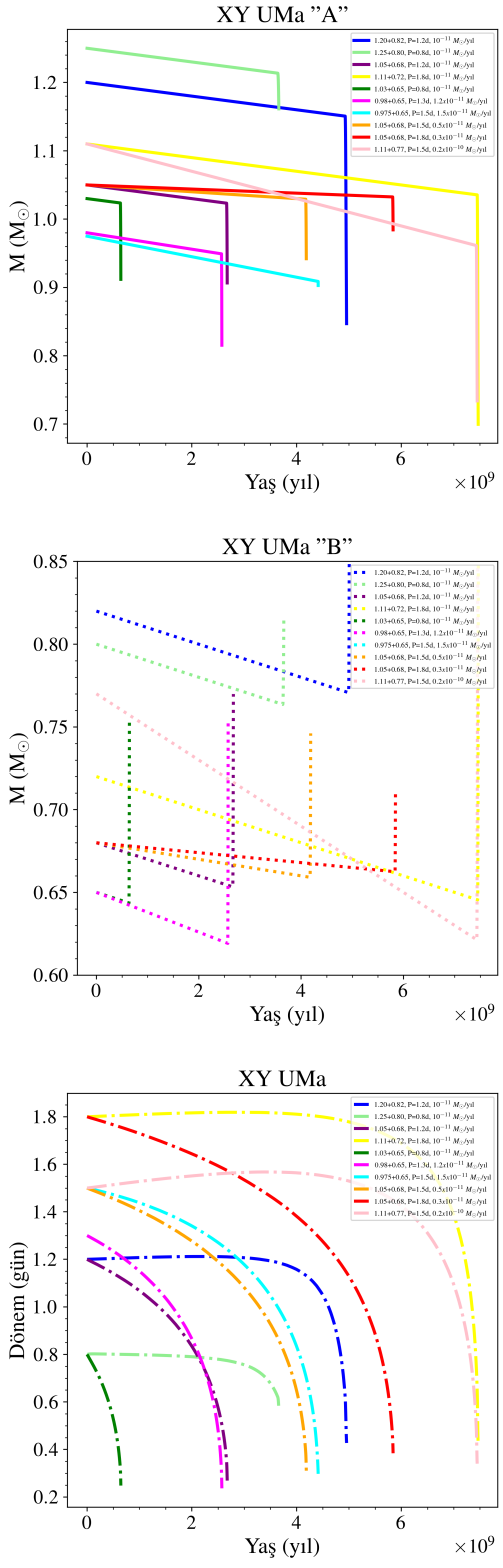
Bu başlangıç model değerleri ile sistemin tez çalışması kapsamında hesaplanan parametreleri (bkz. Tablo 2.10) karşılaştırılmıştır. Elde edilen korunumsuz evrim yolları baş (A) ve yoldaş (B) bileşen için H-R ve M-R diyagramlarında sırasıyla Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'de gösterilmiştir. Çift sistemin bileşenlerinin kütlelerinin zaman ile evrimi ve yörünge evrimi Şekil 4.11'da sunulmuştur.



Şekil 4.9: XY UMa çift sistemine ilişkin çalışma kapsamında ele alınan MESA evrim yaklaşımlarının H-R diyagramında gösterimi.



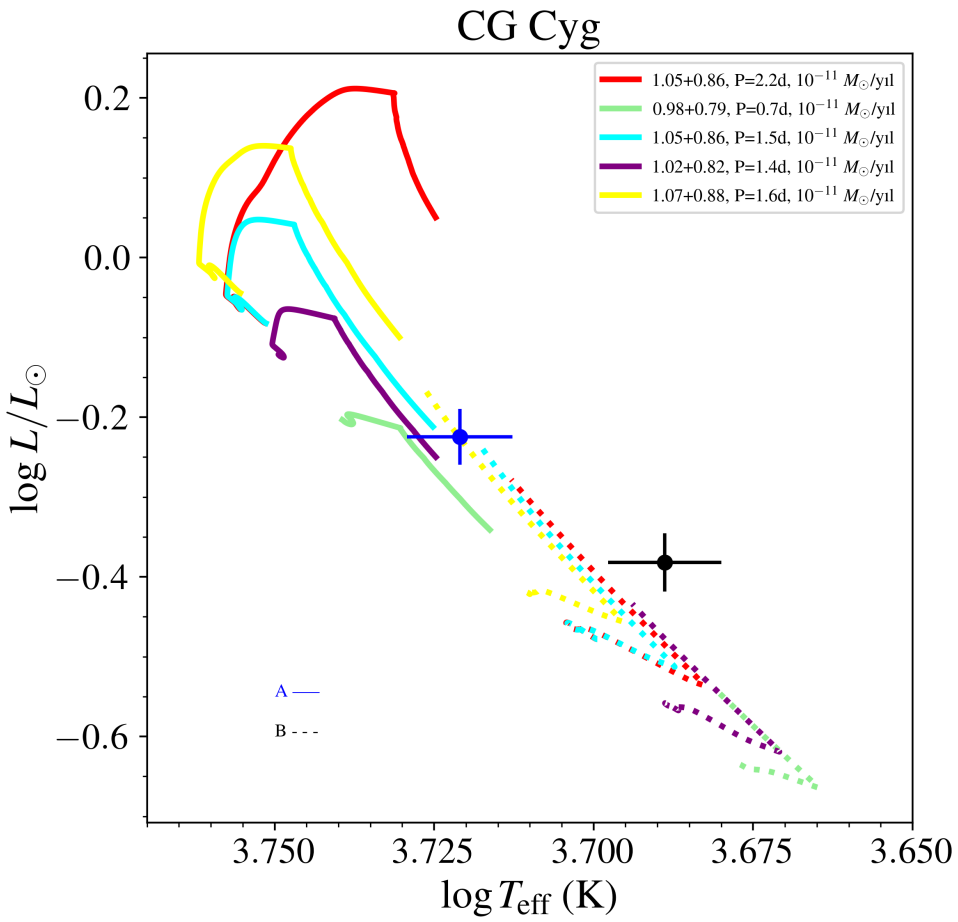
Şekil 4.10: XY UMa çift sistemine ilişkin evrim modellerinin M-R diyagramındaki gösterimi.



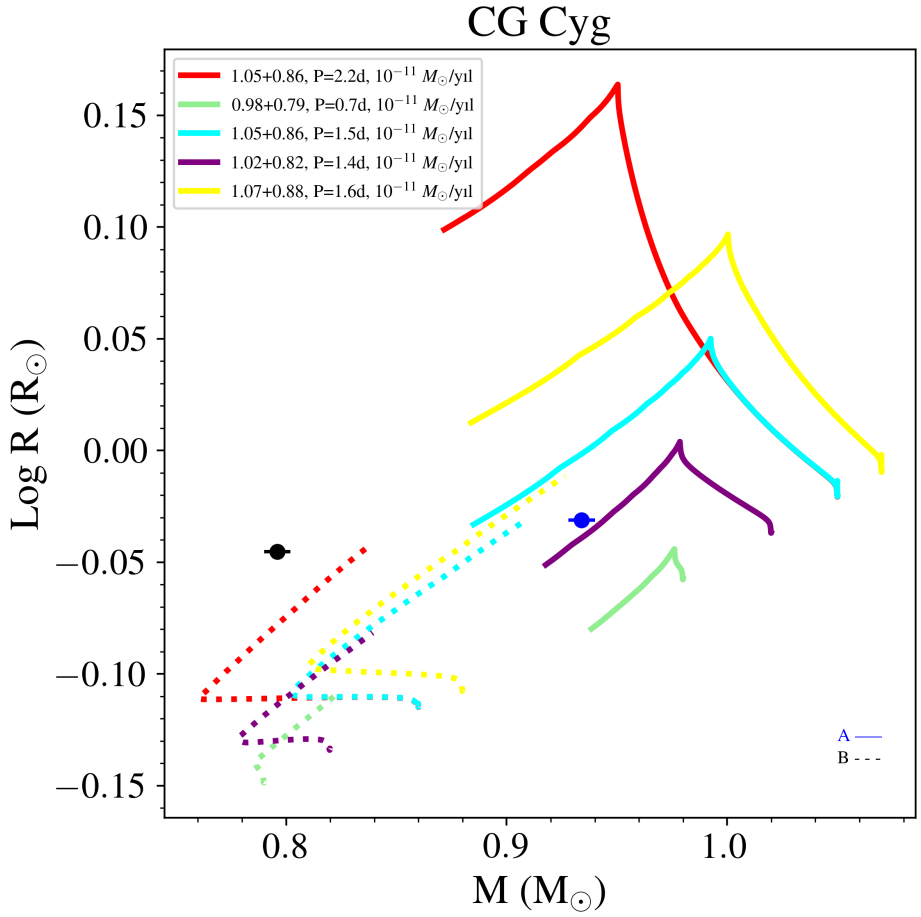
Şekil 4.11: XY UMa çift sisteminin çalışma kapsamındaki evrim modellerinin bileşen yıldızların t-M ve t-P grafiği.

4.1.3 CG Cyg

Güçlü yıldız aktivitesi sergileyen diğer ayrık örten bir sistem olan CG Cyg'nin korunumsuz evrim yaklaşımları RT And (bkz. Bölüm 4.1.1) ve XY UMa Bölüm 4.1.2) çifti için kabul ettiğimiz sonuç modellerle ele alınmıştır.



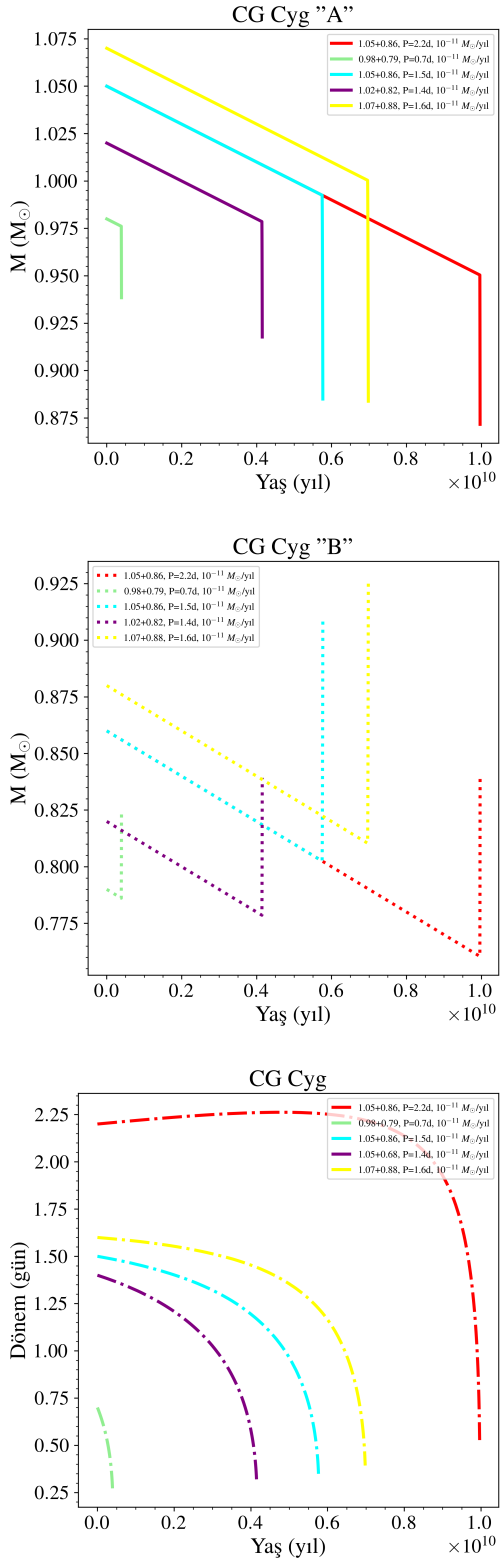
Şekil 4.12: CG Cyg çift sisteminin evrim modellerinin baş (A) ve yoldaş (B) bileşenleri için HRD'daki gösterimi.



Şekil 4.13: CG Cyg çift sistemine ilişkin evrim yaklaşımlarının bileşen yıldızlar için M-R grafiğinde gösterimi.

İlişkili yaklaşımlarda sistemin başlangıç koşulları Güneş metal bolluğunda M_{1i} =1.07, 1.05, 1.02 ve 0.98 $M_\odot$, M_{2i} =0.79, 0.82, 0.86 ve 0.88 $M_\odot$, P_{orbi} =0.7, 1.4, 1.5, 1.6 ve 2.2 gün olarak alınmıştır. Sistemin tez çalışmasında elde edilen yeni parametreleri (bkz. Tablo 2.14) ve evrim yaklaşımları karşılaştırılarak en uyumlu sonuçlar aranmıştır.

Farklı başlangıç koşullarında yapılan evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramları Şekil 4.12'te ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Bileşenlerin zamanla değişen kütleleri ve yörünge evrimi Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



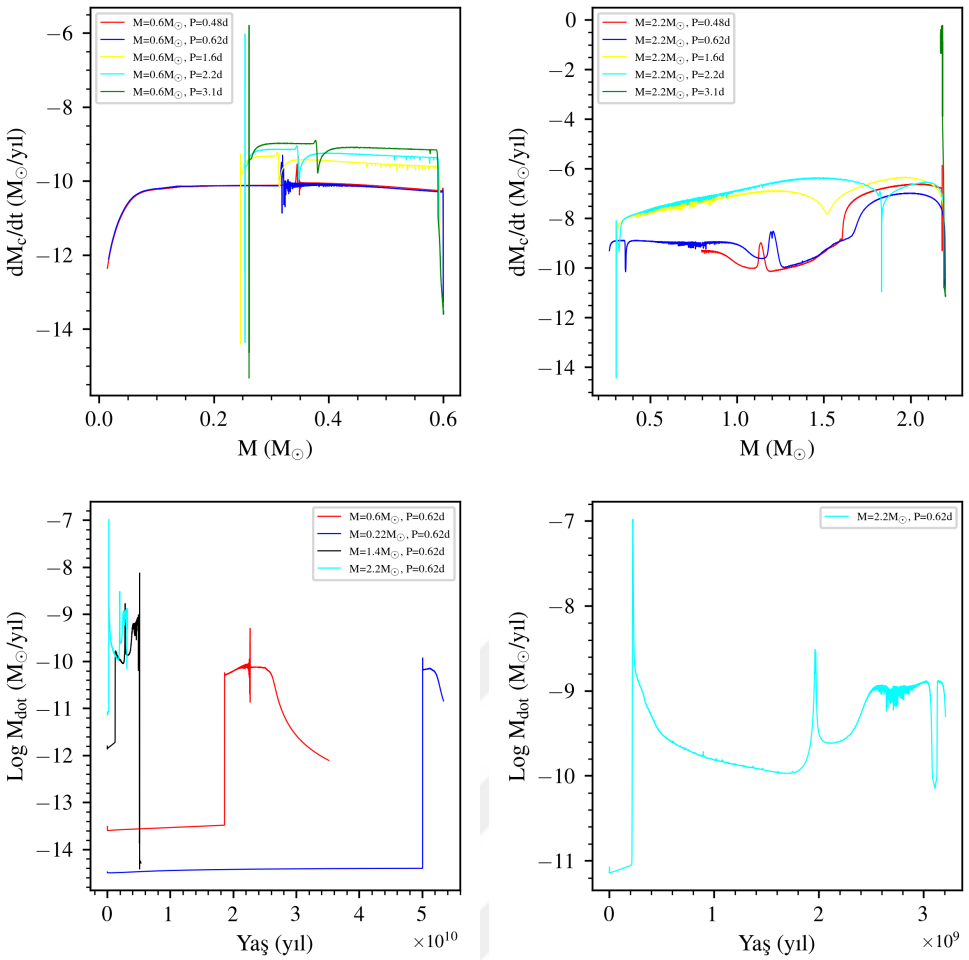
Şekil 4.14: CG Cyg çift sistemine ilişkin evrim modellerinde bileşenlerin kütlelerinin yaş ile değişimi ve yörünge döneminin evrimi.

4.2 Nötron Yıldızı Bileşenli X-ışın Çiftleri-NSXRBs

4.2.1 Küçük Kütleli X-ışın Çiftleri (LMXBs)

Nötron yıldızı çiftlerinin korunumsuz evrim modelleri kapsamında tez çalışmasında ele alınan nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin evrim modelleri MESA koduyla "Binary" modülünde bulunan "Yıldız + Nokta kaynak" paketiyle yapılmıştır. Tez çalışmasında bir bileşen yıldız ve bir nokta kaynak evrimini ele alırken öncelikli olarak özellikle bir geri tür bileşene sahip olan küçük kütleli X-ışın çiftlerine odaklanılmıştır. RT And ve diğer aktif yakın çiftlerin evriminde gerçekleştirilen Bölüm 4.1.1'deki korunumsuz evrim yaklaşımları NS-LMXB'lerin optik bileşeni üzerinde uygulanmıştır ve elde edilen ilk sonuçlar bu bölümde sunulmuştur. Tezin daha sonraki aşamasında MESA evrim kodu ile NS-HMXB'lerin korunumsuz evrim yaklaşımları ele alınmıştır, bu kısmın detayları Bölüm 4.2.2'de verilmiştir.

Bir nötron yıldızı bileşene sahip X-ışın çiftlerinin nasıl oluştuğu ve hangi aşamalardan geçerek mevcut gözlenen duruma geldiklerinin irdelenmesi kapsamında, daha önce Bölüm 3'te gözlemsel olarak çalışılan ve hedef olarak belirlenen nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftleri öncülüğünde ilerlenilmiştir. Evrim modelleri üzerinde seçilen hedef sistemler arasında küçük kütleli bileşene sahip sistemler Her X-1, Sco X-1, PSR J1023 ve büyük kütleli sistem SAX J2103.5+4545 çalışılmıştır. Tez çalışmasında, LMXB sistemleri için test evrim modelleri Güneş metal bolluğuna sahip küçük kütleli bir optik bileşen ve $1.4 M_{\odot}$ kanonik kütleye sahip bir nötron yıldızı (nokta kütle) ile oluşturuldu. Bileşen yıldız farklı başlangıç kütlelerinde; 0.6 $M_{\odot}$, 1.4 $M_{\odot}$ ve 2.2 $M_{\odot}$ ele alındı. Başlangıç yörünge dönemleri ise 0.48, 0.62, 1.60, 2.22 ve 3.10 gün olarak belirlendi. Geri tür bileşene sahip bu tür sistemlerde konveksiyon ve dönme'nin arttırıldığı bir manyetik frenleme mekanizması olan CARB-MB (bkz. Eşitlik 1.13(Van and Ivanova, 2019)) varsayımı ile açısal momentum ve kütle kaybının gerçekleştiği korunumsuz evrim modelleri oluşturuldu. Oluşturulan evrim modellerinde kütlenin zamanla değişimi Şekil 4.15'de sunulmuştur.

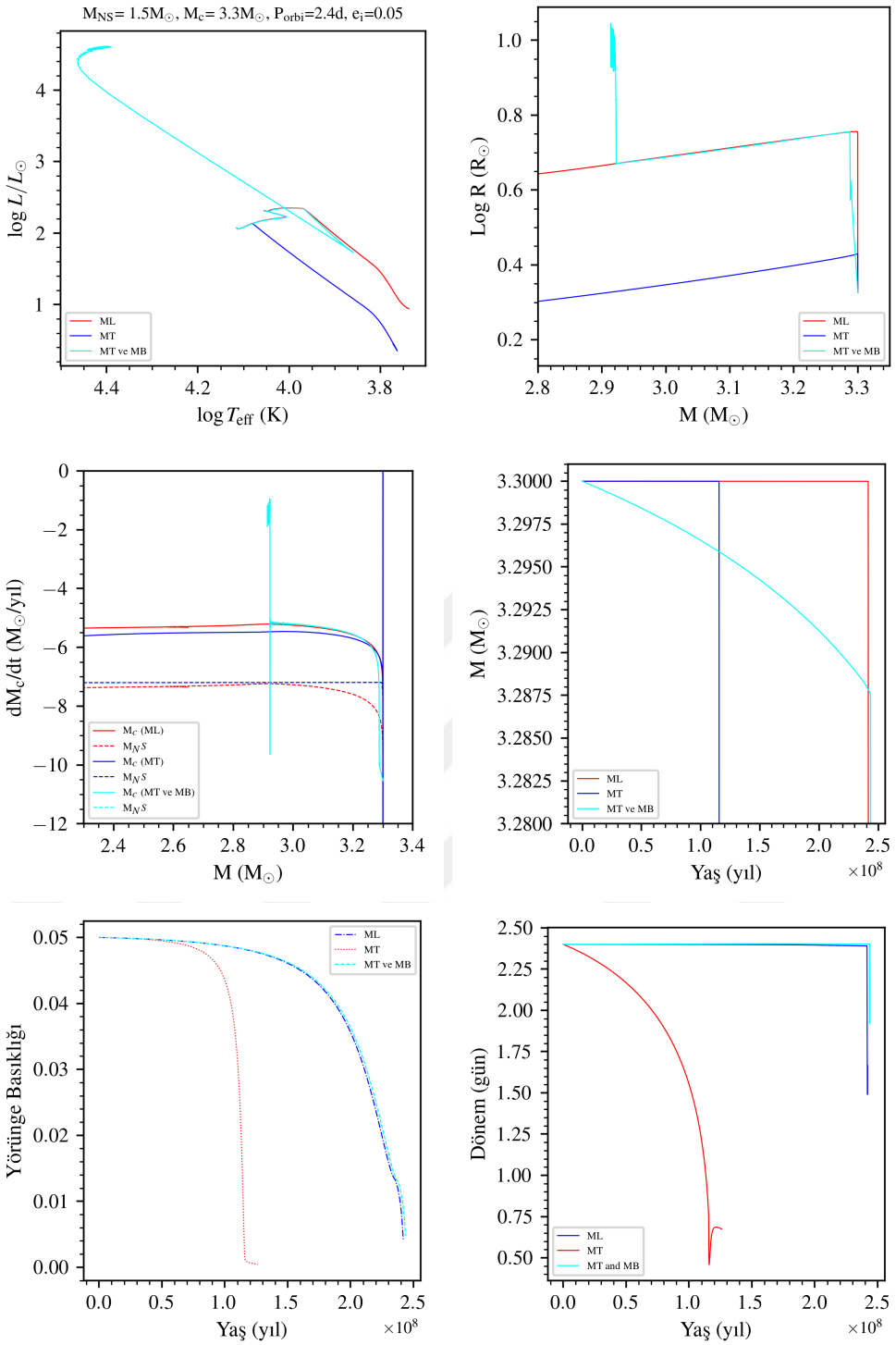


Şekil 4.15: NSXB çift sistemlerinin MESA ile korunumsuz evrimi için başlangıç kütlelerinin 0.6 $M_\odot$ ve 2.2 $M_\odot$ olduğu durumda farklı başlangıç yörünge dönemlerine göre evrim yolları üst sol ve sağ panelde sırasıyla verilmiştir. Alt sol ve sağ panelde ise 0.62 gün başlangıç yörünge dönemiyle kütlenin evrimi gösterilmiştir.

Her X-1 gibi sistemlerin evrimi daha önce ele alınmış ve oldukça karmaşık olarak yorumlanmıştır (bkz. örneğin (Bhattacharya and van den Heuvel, 1991; Konenkov and Urpin, 1998)). Sistemin evrimi için öngörülen modelde ata çift evrimine büyük kütleli ≥ 8 $M_\odot$ baş bileşen ve ~ 2 $M_\odot$ kütleli yoldaş bileşen ile başlamaktadır. Baş bileşenin evrimi ile He yıldızı olan yoldaş bileşen 0.5 $M_\odot$'lik toplanma oranı ile yaklaşık 1 gün yörünge dönemine sahip bir aşamadadır. Baş bileşenin yaklaşık 2.4 $M_\odot$'lik kütle atımı yaşaması yörüngenin genişlemesine neden olur.

Yörünge çemberleşmesinden sonra (ki bu anakol evrimi), mevcut yörüngeye ulaşılır. Yoldaş bileşen evriminden 6×10^8 yıl sonra anakoldan ayrılır ve parlak bir X-ışın kaynağı haline gelen nötron yıldızına gelişmiş bir kütle transferi başlar. Bu model öngörüsü sonucunda, Her X-1 sistemi için çok düşük kütle kaybı oranı öngörülmekte ve rüzgar ile toplanma 10^{-15} $M_\odot$/yıl oranı kullanılmaktadır. RLOF nedeniyle toplanma oranı 10^{-9} $M_\odot$/yıl ve başlangıç dönme (spin) dönemi için 0.01 s değeri varsayılmaktadır (Konenkov and Urpin, 1998).

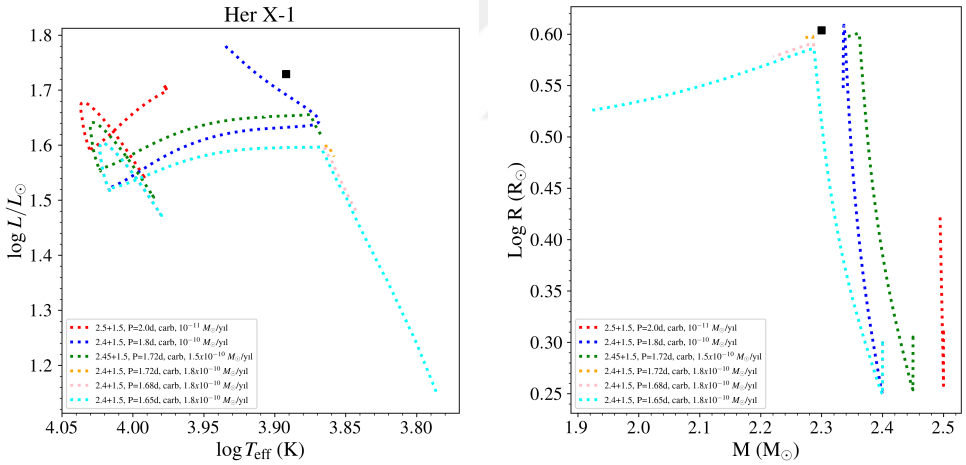
Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan bu evrim modelleri ışığında hedef sistemler içerisinde bulunan küçük kütleli X-ışın çifti (LMXB) HZ Her için kütle kaybının, kütle transferinin ve manyetik frenleme mekanizmalarının etkisi bunların baskın olduğu üç farklı yaklaşımla ele alındı. HZ Her sistemi için uygulanan örnek evrim yaklaşımlarına ait H-R, M-R, M-Mdot diyagramları ve kütle, basıklık ve dönemin yaş ile değişimi Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



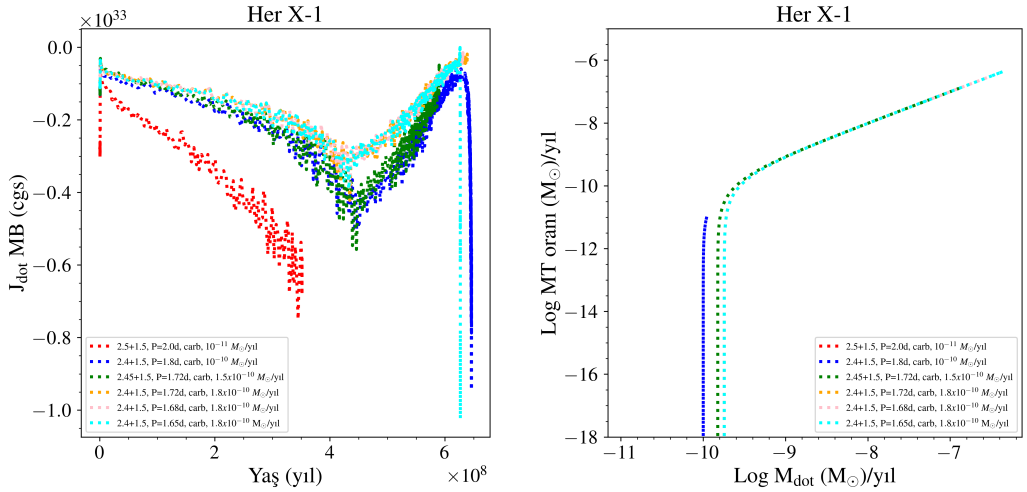
Şekil 4.16: HZ Her çift sistemi üzerinde uygulanmış ML, MT ve MB mekanizmasının karşılaştırmalı evrim yaklaşımlarının farklı diyagramlarda gösterimi.

Korunumsuz evrim yaklaşımları, diğer LMXB sistemleri için Güneş metal bolluğunda ve optik bileşenin başlangıç kütlelerinin 3.3$M_{\odot}$ (HZ Her), 0.52-0.7 $M_{\odot}$ (Sco X-1), 0.34-0.45 $M_{\odot}$ (PSR J1023) aralığında olduğu ve 1.4$M_{\odot}$ kanonik kütleye sahip bir nötron yıldızı bileşen (yıldız + nokta kütle modülü) ile oluşturulmuştur. Basıklığın değiştiği (0.004-0.08) evrim modellerinde hedef sistemlerin başlangıç yörünge dönemleri ele alınan kütle kaybı, transferi ve manyetik frenleme (Van and Ivanova, 2019) mekanizmaları için farklı aralıklarda (0.2-2.5 gün) hesaba katılmıştır.

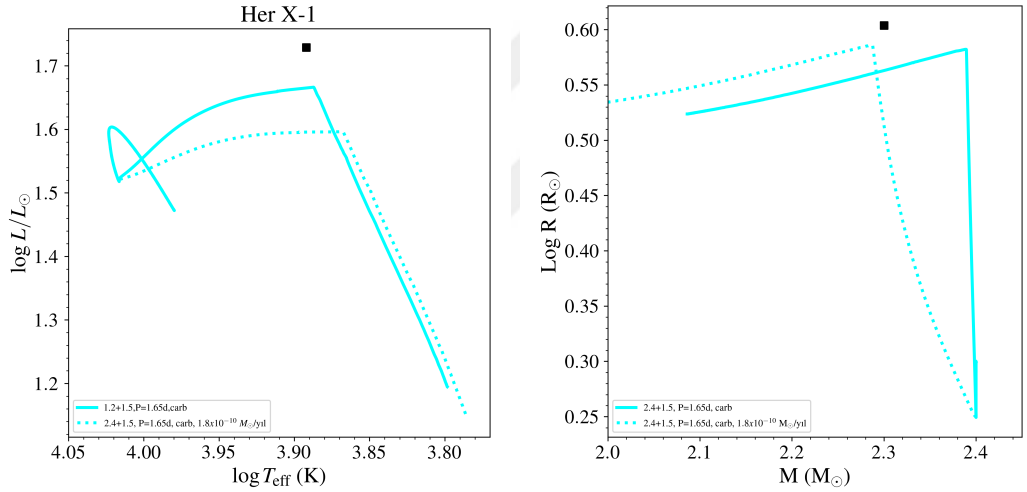
Sonuç olarak, tüm ML mekanizmalarının dikkate alındığı, CARB-MB yaklaşımının uygulandığı ve kütle kaybı parametresinin $1.8\times\ 10^{-10}$ ile 10^{-11} $M_{\odot}$/yıl aralığında değiştiği, başlangıç yörünge döneminin HZ her için 1.65 ile 2 gün arasında olan farklı evrim model sonuçları Şekil 4.17'de ve Şekil 4.18'de sunulmuştur. Grafiklerdeki siyah nokta HZ her çiftinin bugünki gözlemsel koşullarını temsil etmektedir. Bu bağlamda, LMXB evrimine en yakın model Şekil 4.19 ile temsil edilen evrim yoludur.



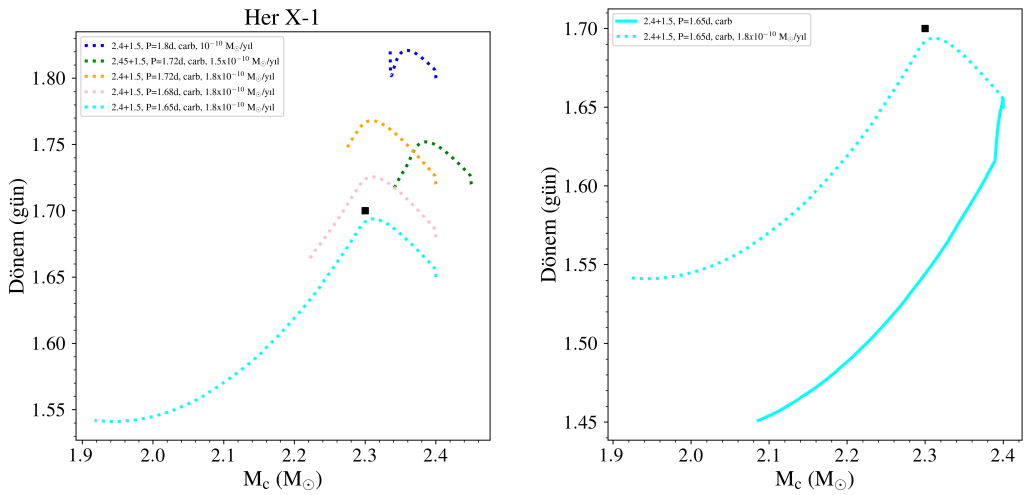
Şekil 4.17: Her X-1'in CARB-MB mekanizmasının MESA ile uygulanmış farklı başlangıç koşularına sahip sonuçlarının H-R ve M-R diyagramlarında gösterimi.



Şekil 4.18: Her X-1'in farklı model yaklaşımları ile manyetik frenlemenin evrimi ve kütle transfer oranının kütle ile değişimi.

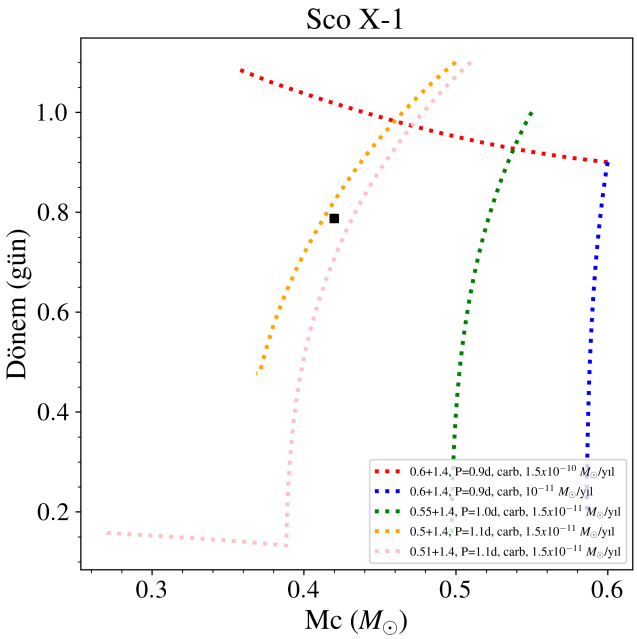


Şekil 4.19: Her X-1'in gözlemsel koşulları dikkate alınarak elde edilmiş model yaklaşımının H-R ve M-R diyagramındaki gösterimi.



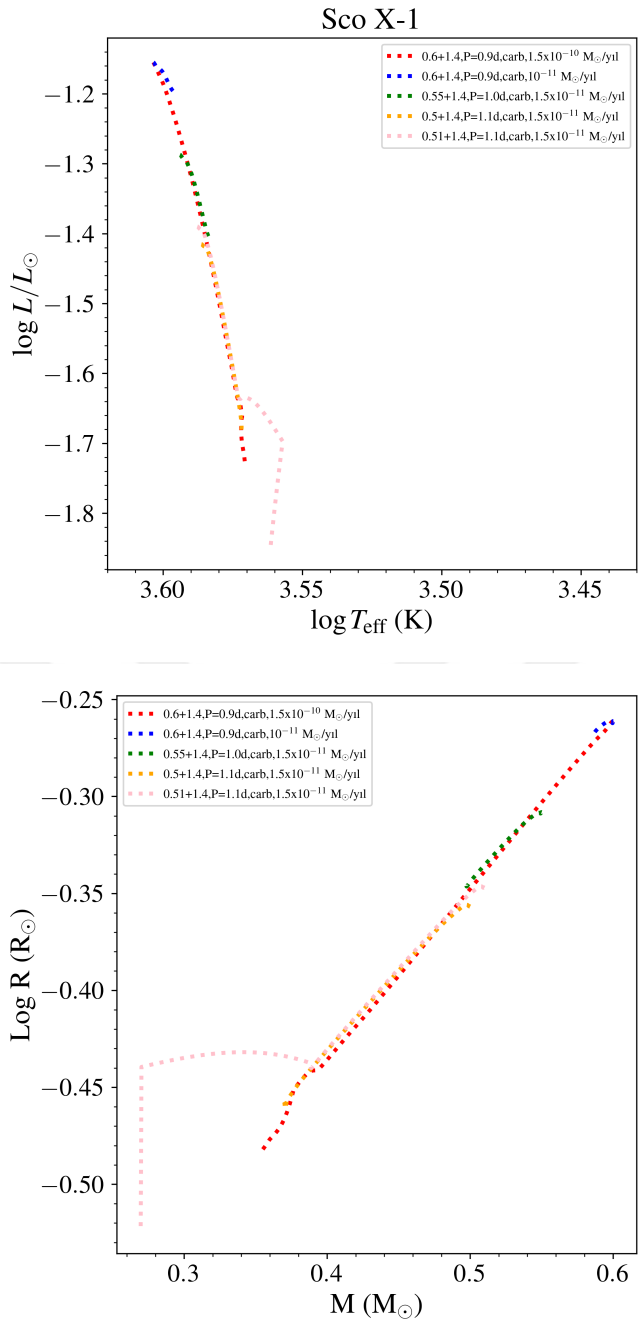
Şekil 4.20: Her X-1'in MESA ile uygulanmış farklı başlangıç yörünge dönemi ve kütle kaybı parametreleri ile elde edilmiş sonuçlar ve bu sonuçlardan HZ Her sistemi için en uygun olan M-P diyagramı.

Sco X-1, kütle toplama oranı, bileşenin kütle oranı ve yörünge dönemi gibi en kesin olarak belirlenmiş çift parametrelerinden birine sahip olan LMXB'dir. Hem bu sistem için, hem de iyi çalışılmış diğer LMXB sistemlerinin büyük bir kısmı için gözlemsel olarak çıkarım yapılmış kütle toplama oranlarının teorik olarak beklenen kütle transfer oranını (MT) aştığı bilinmektedir. Bununla birlikte, rüzgar destekli MB yaklaşımlarının Sco X-1 gibi sistemler üzerinde etkili olduğu ata çiftin gözlenen toplanma oranlarını sağlayabildiği daha önce Pavlovskii and Ivanova (2016) tarafından tartışılmıştır. Sco X-1 sisteminin atasının 2.82 gün dönem ve 1.1 $M_\odot$ bileşen ile evrimleştiği ve bu ata sistemin gözlenmiş olan kütle oranı ve yörünge dönemine evrildiğinde, çiftin MT oranını ve etkin sıcaklığını sırasıyla $2.3\times\ 10^8$ $M_\odot$/yıl ve 4685 K değerlerle sağladığı görülmüştür (Van and Ivanova, 2019).



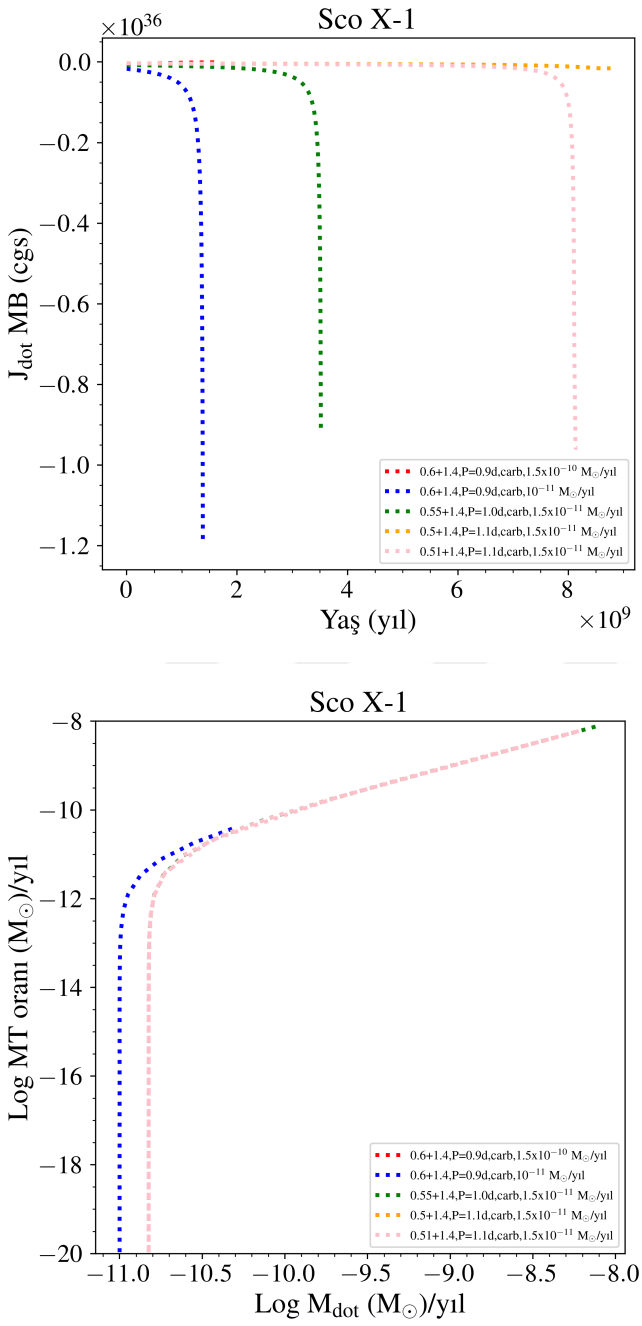
Şekil 4.21: V818 Sco çift sistemine ait evrim yaklaşımlarının Mc-P_{orb} diyagramındaki gösterimi.

Bu çalışma kapsamında, Sco X-1 çift sistemi için elde edilen sonuç korunumsuz evrim yaklaşımları Şekil 4.22'de ve Şekil 4.21'de verilmiştir. Başlangıç kütle koşulları, nötron yıldızı için 1.4 $M_\odot$, optik bileşen için 0.51-0.6 $M_\odot$ aralığında belirlenmiştir. Model yaklaşımlarında başlangıç yörünge dönemi 0.9 ile 1.0 gün değerleri arasında değişmektedir. Güneş metal bolluğunda ele alınan evrim yaklaşımlarında kütle kaybı parametresi 1.5 $\times 10^{-11}$ ile 10^{-11} $M_\odot$/yıl aralığındaki değerler ile sınırlandırılmıştır. Sistemin bugünki gözlemsel koşulları sağlaması için şu an sadece belli bir evrim yolu aralığı verilmektedir.



Şekil 4.22: V818 Sco çift sistemine ait evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramında gösterimi.

Çalışma kapsamında V818 Sco için ele alınan model yaklaşımları, 1.4 $M_\odot$'lik sabit bir nötron yıldızı kütlesi varsayımıyla uygulanmıştır. Sistemin manyetik frenlemesinin zaman ile evrimi ve kütle transfer oranının kütle değişimiyle evrimi Şekil 4.23'de verilmiştir.



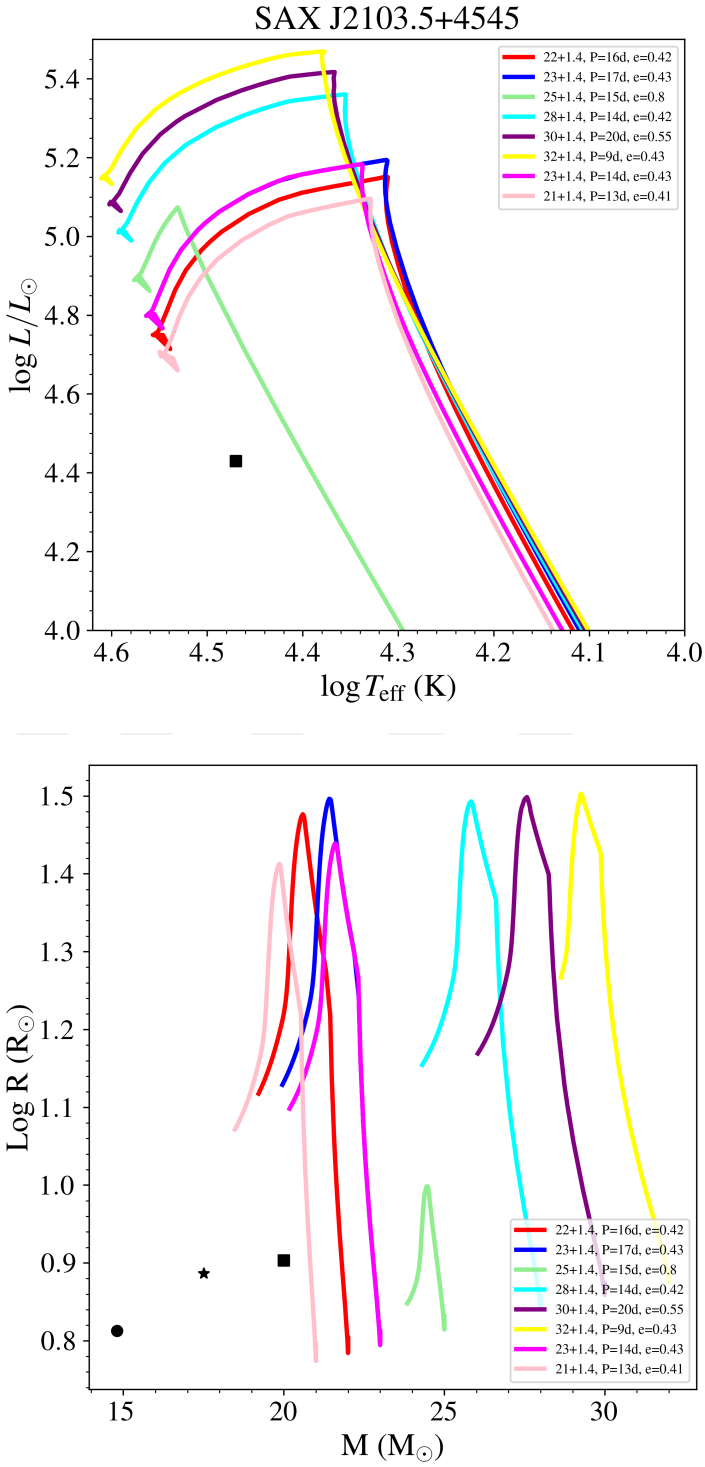
Şekil 4.23: Evrim modelleri kapsamında V818 Sco çift sisteminin manyetik frenleme değişimi ve kütle transfer oranının kütle ile değişimi.

4.2.2 Büyük Kütleli X-ışın Çiftleri (HMXBs)

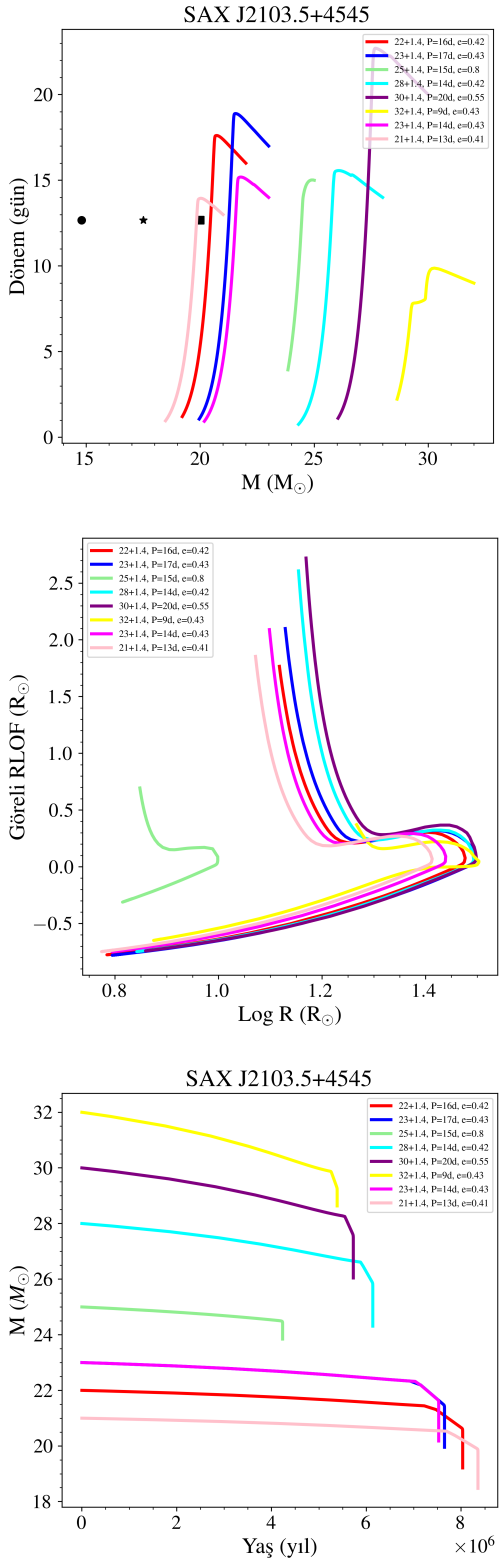
Tez çalışmasında büyük kütleli X-ışın çiftlerinin korunumsuz evrim modellerinin oluşturulması kapsamında SAX J2103.5+4545 sistemi ele alınmıştır. Evrim yaklaşımları MESA r11701 ile Yıldız+nokta kaynak paketi kullanılarak yapılmıştır. Hızlı yıldız rüzgarlarıyla ve kütle transferi kütle kaybının baskın olduğu birçok evrim yaklaşımı Güneş metal bolluğunda uygulanmıştır.

X-ışın çift sisteminin model yaklaşımlarında uygulanan başlangıç koşulları optik bileşen için 21 ve 32 $M_{\odot}$'lik kütle aralığında ve 1.4 $M_{\odot}$ kanonik kütleye sahip nötron yıldızı bileşenden oluşmuştur. Başlangıç yörünge basıklığı (e) değeri 0.41 ile 0.8 arasında değişirken, yörünge dönemi 9 ile 20 gün arasında olan farklı değerler seçilmiştir. Tez çalışmasında yapılan bu korunumsuz model yaklaşımları bize sistemin bugünki bilinen gözlemsel koşullarına kabaca 4 ile 6 Milyonyıl sürede gelebildiğini göstermiştir.

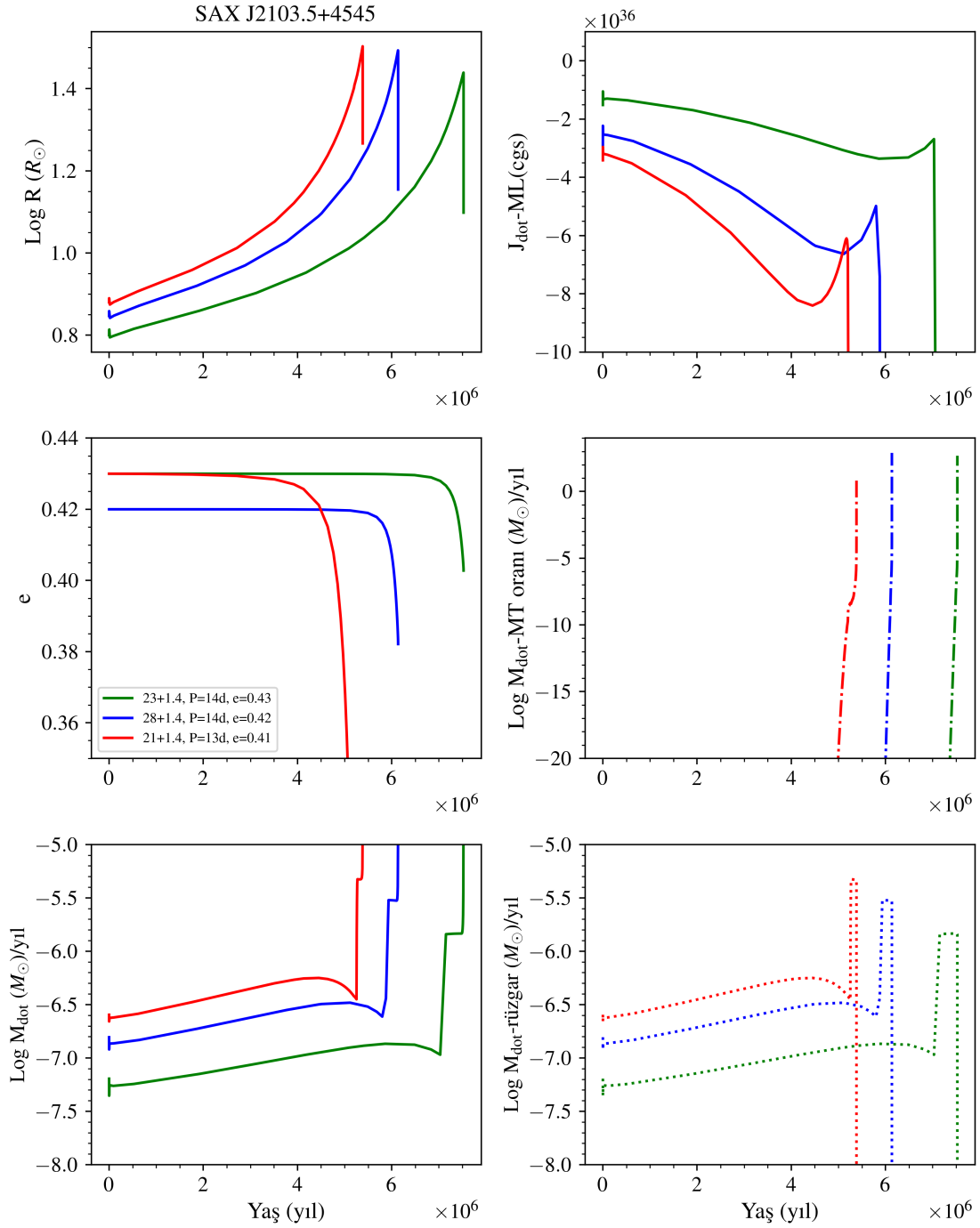
Çalışma kapsamında elde edilen farklı başlangıç koşullarındaki evrim yolları Şekil 4.24'da ve Şekil 4.25'de H-R, M-R, M-P_{orb} ve R-RLOF grafikleri ile verilmiştir. X-ışın çiftinin evrim yaklaşımlarında kütle kaybının; yörünge açısal momentumu, yıldız rüzgarı ve kütle transferi ile gerçekleşme oranları ise Şekil 4.26'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24: HMXB SAX J2103'ün oluşturulmuş evrim yaklaşımlarının H-R ve M-R diyagramlarında gösterimi. Siyah noktalar (kare; 20 $M_{\odot}$ + 8 $R_{\odot}$ (Reig et al., 2010) daire; 14.8 $M_{\odot}$ + 6.5 $R_{\odot}$, yıldız; 17.5 $M_{\odot}$ + 7.7 $R_{\odot}$ (Baykal et al., 2007)) yıldızın bugünkü gözlemsel yaklaşımlarını göstermektedir.



Şekil 4.25: HMXB SAX J2103'ün evrim yaklaşımlarının t-M, M-P_{orb} ve RLOF'un yarıçap ile değişim grafiklerinde gösterimi. Siyah noktalar Siyah noktalar (kare; 20 $M_\odot$ + 8 $R_\odot$ (Reig et al., 2010) daire; 14.8 $M_\odot$ + 6.5 $R_\odot$, yıldız; 17.5 $M_\odot$ + 7.7 $R_\odot$ (Baykal et al., 2007)) yıldızın bugünkü gözlemsel yaklaşımlarını göstermektedir.



Şekil 4.26: SAX J2103'ün bu çalışma ile elde edilmiş kütle kaybını gösteren evrim yaklaşımları.

5 SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Çalışmanın önceki bölümlerinde belirtiğimiz gibi temel astrofiziksel problemlerin çalışılmasında çift sistemlerin rolü çok önemlidir. Çift olma durumu sayesinde hassas bir şekilde belirleyebildiğimiz parametreler ve onların değişimi kullanılarak yıldız iç yapısını ve evrimini çalışma, evrim modellerini test etme, bileşen yıldızlar arasında gerçekleşen kütle transferi/kaybı ve sistemin yörünge dönem değişimine neden olan fiziksel süreçleri detaylı inceleme şansımız olur. Bileşen yıldızların ve yörüngenin öğelerini belirlemenin dışında, özellikle yakın çift olma durumunda baskın duruma geçen bazı etkileşimlerin sonucunu kısa ve uzun dönemli akı değişimlerini hem optik hem de X-ışın bölgesinde tespit edebilir ve bu sayede bileşen yıldızların yüzey yapıları, yörünge dönemi boyunca görülebilecek çeşitli fiziksel süreçleri (flare, madde çarpma bölgesi, disk yapısı, vb.) inceleyebiliriz.

Korunumsuz evrim modellemesinde, temel ve hala tam olarak çözülememiş problemlerden biri farklı türdeki yıldızlarda gözlenen kütle kayıplarının açıklanamamasıdır. Bu durum, nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerinin evrim durumunda da geçerlidir. Özellikle güncel evrim kodları ile büyük kütleli optik bileşene sahip X-ışın çiftlerinin optik bileşenin baskın yıldız rüzgarları ile kütle kayıp oranları kısmen sağlanabilirken, küçük kütleli ve özellikle geri tür optik bileşene sahip X-ışın çift sistemlerinde bu kütle kayıp oranları gözlemler ile uyumlu sonuca çoğunlukla sadece yaklaşabilmektedir. Başta açısal momentum kaybı, dinamo gibi hala açık birer problem olan astrofiziksel süreçlerin yanı sıra çift evriminde etkili olan ve mantıklı kütle kayıp oranlarını sağlayan süreçlerin tanımlanması ve modellerde uygulanabilir olması bu sebeple önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada çoğunlukla dış konvektif katmana sahip olan geri tür küçük kütleli bileşene sahip nötron yıldızı bileşenli X-ışın çiftlerinin korunumsuz koşullardaki evrim modellerine odaklanılmıştır. Burada evrim modelleri, X-ışın çift sistemlerinin optik bileşenin anakol ve sonrası evresini kapsamaktadır.

Küçük kütleli X-ışın çiftlerinin sahip olduğu geri tür optik bileşenin korunumsuz evrimini ve doğasını, aktif yakın çiftlerin ve bu sistemlerin sahip oldukları bileşenlerin korunumsuz evrimini araştırarak ve inceleyerek daha iyi anlayabileceğimizi düşündük. Evrim sürecindeki bağlantıyı dikkate aldığımızda, aslında kısa dönemli aktif ayrık çiftlerin bileşen yıldızlarının LMXB çift sistemlerinde optik bileşenin ata yıldızını oluşturduğunu görürüz. Bu nedenle, çalışma kapsamında nötron yıldızı bileşenli çift sistemlerin evrimini daha iyi anlamak için öncelikle kısa dönemli aktif ayrık çift sistemlerin korunumsuz evrimi çalışılmış ve gözlemler ile uyumu ele alınmıştır.

Bu çalışmada; (1) seçilen yakın ve aktif örten çift sistemlerin uzun ve kısa dönemli gözlemleri kullanılarak yörünge ve fiziksel parametrelerini hassas bir şekilde elde etmek, (2) sistemlerin yörünge döneminin değişimine neden olan süreçleri ortaya koymak, (3) korunumsuz madde atımlarının seçilen tüm sistemlerde gözlemsel olarak ortaya koymak, (4) elde edilen tüm yeni bulgular ışığında modern yıldız evrim kodları kullanılarak bileşen yıldızların evrimini detaylı irdelemek ve madde kayıp oranlarını tahmin etmek amaçlanmıştır. Ayrıca nötron yıldızı barındıran çift dejenere sistemlerin ata sistemleri yine bu çalışmanın amaçları arasındadır. Bu amaçlar doğrultusunda hem anakolda bulunan aktif sistemler hem de bileşenlerden biri evrimleşmiş ve nötron yıldızı olmuş diğer bileşenin de anakol ve/veya dev aşamasında olan çift sistemler seçilmiştir. Bunun için, aktif RS CVn türü sistemlerde hedef olarak RT And, XY UMa ve CG Cygni çift sistemi seçilmiştir. NSXRB'leri bağlamında ise çalışmada üç LMXB ve bir HMXB çift sistemine odaklanılmıştır. Çalışma kapsamında hedef sistemlerin yeni gözlemleri, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi teleskopları kullanılarak çokrenk olarak elde edilmiştir. Burada hedefimiz sistemlerin yörünge ve uygun olanların fiziksel parametrelerini elde ederek, bu parametreleri korunumsuz modellerimizi test etmek için kullanmaktır. Bu nedenle, çalışmamızda kısa dönemli RS CVn türü ve hedef nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemleri hem gözlemsel hem de teorik olarak tartışılmıştır.

Çalışma kapsamında seçilen bazı anakol yakın etkileşen çift sistemlerin yörünge ve fiziksel parametreleri tayin edilmiş ve sistemlerin yörünge dönemle-

rinin zamanla değişimi ve bu değişime neden olan durumlar araştırılmıştır. Bu kapsamda, tür olarak birbirine benzeyen fakat farklı parametrelere sahip RT And, XY UMa ve CG Cyg sistemleri ele alınmıştır. Bunun için öncelikle, ele alınan kısa dönemli aktif ayrık herbir hedef sistemin dönem değişim analizi yapılmıştır. (O-C) eğrisinin analizi sonucunda RT And, XY UMa ve CG Cyg için yörüngelerinde dolanan ve herbir sistem için 144 yıllık, 131 yıllık ve 77.8 yıllık üçüncü bir cismin varlığı tespit edilmiştir ve üçüncü cisimlerin diğer yörünge parametreleri sırasıyla Tablo 2.4, Tablo 2.8 ve Tablo 2.12'de verilmiştir. RT And, XY UMa ve CG Cyg çift sistemlerinin (O-C) değişimleri ve üçüncü cismin etkisinden arındırılmış artıklarını (O-C(II)) incelediğimizde, herbir çift için bu değişimleri çevrimsel değişimler ve/veya dördüncü cismin varlığı olarak yorumlayabiliriz. Tüm bu olasılıklar dahilinde dördüncü cismin varlığını dikkate aldığımızda RT And çiftinin yörüngesine yakın iç yörüngede dolanan 12.3 yıllık döneme sahip üçüncü cisim ve dış yörüngede 217 yıllık dönem ile dolanan bir dördüncü cisim elde edilmiştir. CG Cyg için benzer olasılığı dikkate alarak çözüm yaptığımızda ise sisteme yakın iç yörüngede dolanan 8.9 yıllık bir üçüncü cisimin ve dış yörüngede dolanan 263 yıllık bir dördüncü cismin varlığı öngörülmüştür. Fakat, literatürden elde ettiğimiz tüm ışık değişimleri ve bu ışık eğrilerinin maksimum evrelerinde gördüğümüz simetrik olmayan yapılar bize bu sistemlerin çok aktif olduğu hakkında gözlemsel deliller sunmaktadır. Bu nedenle dönem değişiminde görülen küçük genlikli dönemsel olmayan değişimlerin kaynağının önemli mertebelerdeki korunumsuz kütle atımları olduğu kanaatindeyiz.

Seçilen hedef sistemlerin litaratürde farklı çözümleri olmasına karşın tüm sistemlere ilişkin yeni elde edilmiş uydu gözlemleri ve tez çalışmasında elde ettiğimiz hassas TUG gözlemleri bize yörünge ve fiziksel parametreleri daha hassas belirleme olanağı sunmuştur. Bu kapsamda RT And, CG Cyg ve XY UMa çift sistemlerinin sentetik ışık eğri modelleri bu çalışma kapsamında yeniden yapılmış ve sistemlere ilişkin en hassas parametreler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak Bölüm 2.2.3, Bölüm 2.3.3 ve Bölüm 2.4.3'te verilmiştir. Tez kapsamında yapılan yeni çokrenk TUG gözlemleri, indirgeme

işlemlerini yaptığımız TESS uydu gözlemleri ile yayınlanmış çift çizgili dikine hız gözlemleri bir arada analizi yapılmış ve en uygun sentetik modelleri elde edilmiştir. Yaptığımız analizler sonucunda RT And örten çift sistemin yörünge eğim açısını 86.7 derece ve bileşen yıldızlarının kütlelerini sırası ile $1.101 \mp 0.013 M_{\odot}$ ve $0.829 \mp 0.009 M_{\odot}$ olarak elde ettik. Sistemin bizden olan uzaklığını ise 96 ∓ 8 pc olarak elde ettik. Bu değer farklı bir teknik (astrometrik yöntem) kullanarak uzaklık tespiti yapabilen Gaia uydusunun elde ettiği 99 pc ile oldukca uyumludur. Benzer çalışmalar ile XY UMa örten yakın çift sistemin analizleri yapılmış ve çift sistemin yörünge düzleminin gökyüzü düzlemi arasındaki eğim açısı 81 derece olarak tespit edilmiştir. Yapılan ara işlemler sonucunda bileşen yıldızların kütlelerini $M_1=0.96 M_{\odot}$, $M_2=0.62 M_{\odot}$ şeklinde elde edilmiştir. Sistemin bizden uzaklığı ise 71 pc olarak elde edildi. Benzer şekilde 0.63 gün yörünge dönemli CG Cyg sisteminin yörünge eğim açısı 81.4 derece ve bileşen yıldızların kütleleri ise $M_1=0.934 M_{\odot}$, $M_2=0.796 M_{\odot}$ olarak elde edildi. Çift sistemin uzaklığı ise 101.5 pc olarak elde edildi. Bu değer Gaia uydusunun ölçtüğü 98 pc'lik değer ile oldukça uyumludur.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde küçük kütleli X-ışın çift sistemleri olan Her X-1, Sco X-1 ve PSR J1023+0038 sistemleri ile evrim modellerinin farkını karşılaştırmak amacıyla büyük kütleli X-ışın sistemi SAX J2103.5+4545 incelenmiştir. Seçilen bu sistemler hem gözlemsel hem de nümerik modelleri bağlamında kuramsal olarak ele alınmıştır. Yeni gözlemler, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan T100 ve T60 ile Kepler ve TESS uydu teleskoplarından elde edilmiştir. Tez kapsamında ilk kez indirgenen bu gözlemlere ek olarak sistemlere ilişkin literatürde bulunan tüm gözlem veri setleri de çalışmada kullanılmak üzere toplanmıştır. Seçilen X-ışın çift sistemlerinin uzun dönemli akı değişimleri bize hem bileşen yıldızların yüzeylerinde sergilenen aktiviteler hakkında bilgi vermekte hem de çift sistemin bir yörünge dönemi süresince sergilediği akı değişimleri (çarpma bölgesi, disk yapısı vb.) hakkında bilgi sunmaktadır. Seçilen tüm sistemlere yönelik yapılan optik ve X-ışın dalga boylarındaki uzun dönemli değişimler analiz edilmiş ve LMXB sistemi Her X-1 ve HMXB sistemi SAX J2103 için yörünge dönemi dışında uzun dönemli

değişimler belirlenmiştir. Çalışmada aynı zamanda geri tür optik bileşene sahip PSR J1023 sisteminin kısa dönemli T100 gözlemlerinin gecelik değişimlerinde saptadığımız 3-4 katlık ani akı artışları da XMM-Newton X-ışın teleskobunun EMOS kamerasıyla aynı gece içinde tespit edilmiştir. Bu da bize bu akı artışına neden olan fiziksel sürecin farklı dalga boylarındaki etkisi hakkında bilgi sunar. Küçük kütleli diğer bir hedef sistem Her X-1'i de benzer şekilde incelediğimizde uzun dönemli Swift/BAT X-ışın verisinin Fourier analizinden sisteme ilişkin 34.796 günlük bir değişim tespit ettik (bkz. Şekil 3.11. Optik veri setinden (T60) elde ettiğimiz ve X-ışın veri setinin analizinden elde ettiğimiz yörünge dönemlerini kullandığımızda Şekil 3.11'de üst paneldeki diyagramda 0.51-0.99 evre aralığında X-ışın akısında önemli miktarda bir artış görülmüştür. Bu değişimi literatür ile uyumlu olarak nötron yıldızının ve dolayısıyla X-ışın akısı yayan bölgenin eğrilmiş bir disk tarafından periyodik olarak örtülmesinin bir sonucu olarak yorumlayabiliriz.

Büyük kütleli X-ışın çift sistemi SAX J2103'ün 12.7 günlük yörünge dönemi dışında sahip olduğu uzun dönemli T60, ZTF ve ASAS-SN veri setlerinin Fourier analizi sonucu yaklaşık 818 günlük (veya yarım katı) bir değişim gösterdiği öngörülmüştür. Bu değer, sistem için daha önceki çalışmalarımızda öngördüğümüz 412.11 günlük değişim ile uyumludur. Sistemin T60 ile elde edilen altı yıllık uzun dönemli ışık değişimine baktığımızda (Şekil 3.22) atma benzeri büyük akı değişimleri sergilediğini görmekteyiz. Bu değişimler X-ışın kaynaklarının doğası gereği sergilediği patlamalar ile sakin ve aktif evrelere karşılık gelebilir. SAX J2103 sistemi için Şekil 3.22'de bu evreler arası geçiş yaklaşık 250 gün olarak kendini göstermektedir. Benzer olarak daha önce ele aldığımız bir HMXB olan BQ Cam sistemi için de yaklaşık 312 günlük uzun dönemli bir değişim (İçli et al., 2020) tespit edilmişti.

Yukarıda özetlediğimiz gibi, hem aktif ayrık çift yıldızlar hem de nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin uzun ve kısa dönemli optik değişimleri ve X-ışın dalga boyundaki akı değişimlerini aslında tez çalışmasının kapsamını oluşturan korunumsuz evrimi dikkate aldığımızda evrim modellerin oluşturulması aşamasında gözlemsel destek sağlamaktadır. Bu des-

tek, böylesi sistemlerde gözlediğimiz bu değişimlerin varlığı, bileşenin yıldız rüzgarları ve/veya yıldız aktivitesi, kütle transferi, RLOF, açısal momentum kayıp süreçleri, X-ışın çift sistemlerinde gözlenen toplanma diski ve/veya yıldız çevresi disklerden ve sergiledikleri X-ışın patlamaları kaynaklı kütle atımlarına kanıt oluşturma şeklinde yorumlanmıştır. Dolayısıyla kütle kayıpları hakkında bilgi sağladığını düşündüğümüz bu değişimlerin korunumsuz evrim modellerinde kütle kaybı süreçlerini daha iyi tanımlamamızı sağlaycaktır. Bu çalışma kapsamında, öncelikle bu tür değişimlerin takibi ile korunumsuz kütle kayıplarına atıfta bulunarak korunumsuz evrim modelleri teorisindeki yerlerini göstermek istedik.

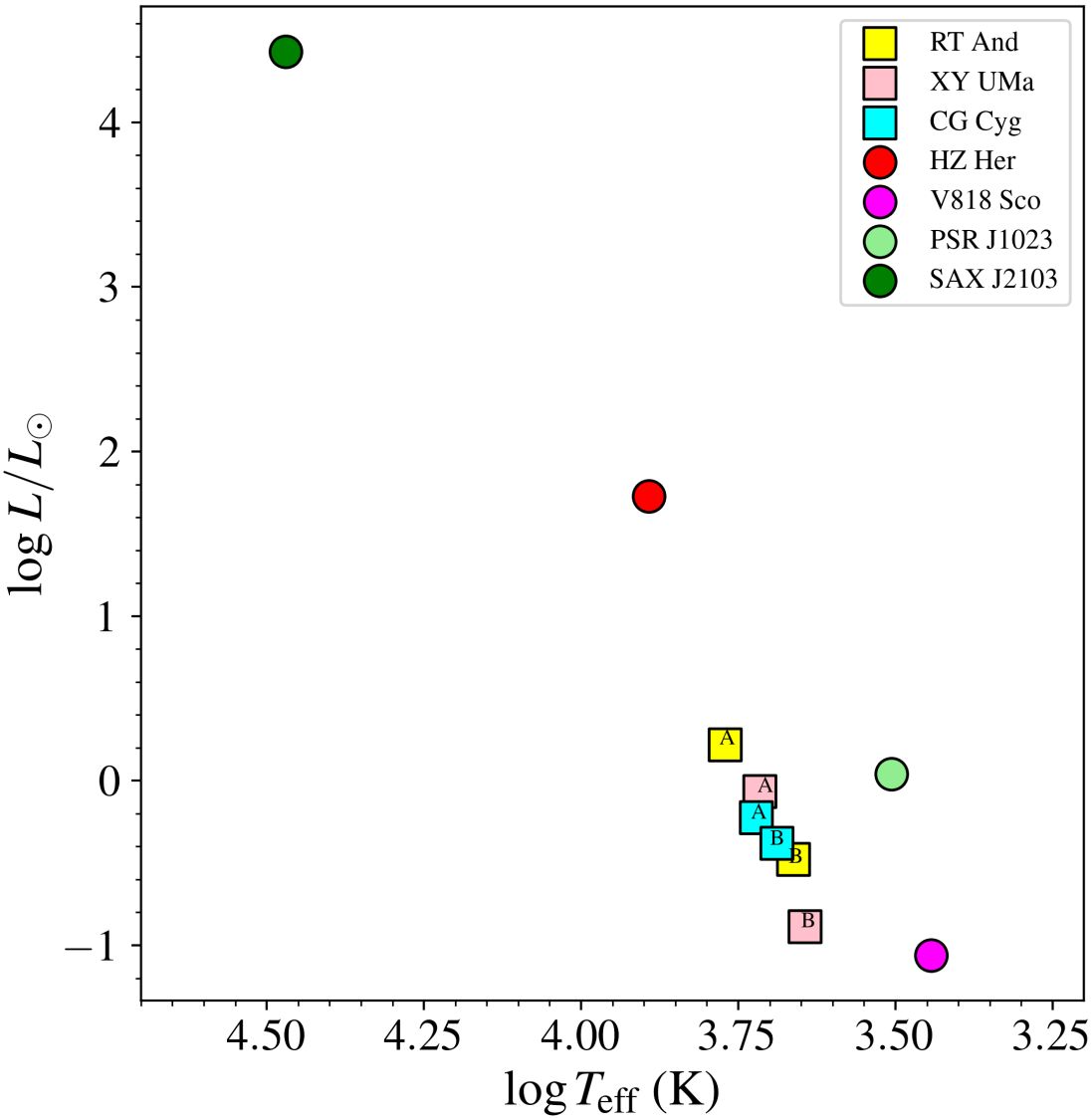
Tez çalışmasında seçilen hedef sistemler ve bu sistemlere ilişkin bazı önemli parametreler Tablo 5.1'de verilmiş ve seçilen sistemlerin H-R diyagramlarındaki yerleri Şekil 5.1'te gösterilmiştir. Yaptığımız çalışmalarda ve literatürde de sıklıkla söz edildiği gibi kütle kaybı özellikle korunumsuz kütle kaybı yıldız evriminde çok önemli bir faktördür. Sahip olduğu kütleye göre evriminde kütle kaybının en etkili olduğu türlerden biri de kısa dönemli RS CVn sistemleridir. Seçilen kısa dönemli RS CVn türü sistemlerden olan RT And, XY UMa ve CG Cyg'ye ilişkin gözlemlerden elde ettiğimiz yeni fiziksel öğeler dikkate alınarak olası başlangıç kütle ve dönemler tahmin edilmiş ve bu sistemlerin evrimleri boyunca kütle değişimi ve yörünge değişimi başta olmak üzere diğer parametrelerin nasıl değiştiğine ilişkin yaptığımız MESA evrim modelleri ile ilk kez bu çalışmada ortaya konmuştur. Korunumsuz evrim ile korunumlu evrim modelleri arasında boşlanamayacak derecede önemli farklar olduğu gösterilmiştir. Bu aktif sistemler ile test ettiğimiz evrim modelleri daha sonra seçilen nötron yıldızı bileşenli diğer çift sistemlere uygulanmıştır. MESA evrim modellerindeki amacımız bugünkü parametreleri verebilecek diğer bir deyişle elde ettiğimiz gözlemsel sonuçlar ile uyumlu en olası başlangıç koşullarını tespit etmek ve bu sistemlerin ileride ne tür sistemlere (çift dejenere sistemler) doğru evrimleşeceğinin öngörüsünü ortaya koymaktır.

Sco X-1 çift sisteminin korunumsuz evrim modelinin (Van and Ivanova, 2019) yapılmış olmasına karşın diğer seçilen üç X-ışın çift sisteminin modern

evrim kodları ile yapılmış evrim modelleri bulunmamaktadır. Bu çalışmada hem Sco X-1'in hem de HZ Her, PSR J1023 ve SAX J2103 sistemlerine ilişkin evrim modelleri ilk kez yapılmıştır. Hem anakol sistemleri hem de seçilen nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin elde ettiğimiz evrim modelleri (Bölüm 4) bize maddenin korunumsuz olarak, hem sistemden hem de bileşenler arasında atımının, bileşen yıldızın dönme paremetresine ve açısal momentum kayıp mekanizmalarına ($\dot{J}_{ML}$, $\dot{J}_{MB}$ ve $\dot{J}_{GR}$) çok bağlı olduğunu göstermiştir. Burada dinamo kuramının henüz iyi anlaşılamamış olması başta MESA olmak üzere kullanılmakta olan yıldız evrim kodlarının geliştirilmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, ileride bu alanda yıldızların farklı dönmelere sahip olması durumunda korunumsuz evrim süreçleri ve farklı dinamo mekanizmaları üzerinde gerekli geliştirmeleri yapmak üzere ve çift dejenere sistemlerin (NS+WD, NS+NS, NS+BH) olası ata sistemlerinin tahmini üzerine olan çalışmalarımız sürecektir.

Tablo 5.1: Çalışma kapsamında seçilen kısa dönemli aktif ayrık çift sistemlerin bileşenlerinin ve nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerin optik bileşenine ilişkin elde edilen fiziksel parametreler.

	M ($M_\odot$)	$\log(R/R_\odot)$	$\log(T_{\rm eff})$	$\log(L/L_\odot)$
RT And A	1.101	0.090	3.771	0.217
RT And B	0.829	-0.040	3.662	-0.477
XY UMa A	0.96	0.057	3.716	-0.065
XY UMa B	0.62	-0.215	3.644	-0.886
CG Cyg A	0.934	-0.031	3.721	-0.225
CG Cyg B	0.796	-0.045	3.689	-0.382
HZ Her	2.3	0.604	3.892	1.729
Sco X-1	0.42	0.097	3.443	-1.060
PSR J1023	0.24	-0.569	3.507	0.041
SAX J2103	20.0	0.813	4.47	4.43



Şekil 5.1: Çalışma kapsamında ele alınmış hedef kısa dönemli aktif çift sistemler ve nötron yıldızı bileşenli X-ışın çift sistemlerinin H-R diyagramındaki yerleri.

Kaynaklar

Abbott, B.P., **Abbott, R.**, **Abbott, T.D.**, and **et al.**, 2016a, Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, *Physical Review Letters*, 116(6), 061102, doi:10.1103/PhysRevLett.116.061102.

Abbott, B.P., **Abbott, R.**, **Abbott, T.D.**, and **et al.**, 2017a, GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral, *Physical Review Letters*, 119(16), 161101, doi:10.1103/PhysRevLett.119.161101.

Abbott, B.P., **Abbott, R.**, **Abbott, T.D.**, **et al**, **LIGO Scientific Collaboration**, and **VIRGO Collaboration**, 2016b, GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence, *Physical Review Letters*, 116(24), 241103, doi:10.1103/PhysRevLett.116.241103.

Abbott, B.P., **Abbott, R.**, **Abbott, T.D.**, **et al**, **LIGO Scientific Collaboration**, and **Virgo Collaboration**, 2017b, GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral, *Physical Review Letters*, 119(16), 161101, doi:10.1103/PhysRevLett.119.161101.

Afşar, M., **Heckert, P.A.**, and **İbanoğlu, C.**, 2004, Long-term luminosity variations and period changes in CG Cygni, *Astronomy and Astrophysics,*, 420, 595–604, doi:10.1051/0004-6361:20040115.

Albayrak, B., **Fikri Özeren, F.**, **Ekmekçi, F.**, and **Demircan, O.**, 1999, Period Variation of Six RS CVn-Type Binaries with Possible Light-Time Effect, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 35, 3.

Alpar, M.A., **Cheng, A.F.**, **Ruderman, M.A.**, and **Shaham, J.**, 1982, A new class of radio pulsars, *Nature*, 300(5894), 728–730, doi:10.1038/300728a0.

Ammler-von Eiff, M. and **Reiners, A.**, 2012, New measurements of rotation and differential rotation in A-F stars: are there two populations

of differentially rotating stars?, *Astronomy & Astrophysics*, 542, A116, doi:10.1051/0004-6361/201118724.

Antoniadis, J., **Tauris, T.M.**, **Ozel, F.**, **Barr, E.**, **Champion, D.J.**, and **Freire, P.C.C.**, 2016, The millisecond pulsar mass distribution: Evidence for bimodality and constraints on the maximum neutron star mass, *arXiv e-prints*, arXiv:1605.01665, doi:10.48550/arXiv.1605.01665.

Applegate, J.H., 1992, A Mechanism for Orbital Period Modulation in Close Binaries, *ApJ*, 385, 621, doi:10.1086/170967.

Archibald, A.M., **Kaspi, V.M.**, **Bogdanov, S.**, **Hessels, J.W.T.**, **Stairs, I.H.**, **Ransom, S.M.**, and **McLaughlin, M.A.**, 2010, X-ray Variability and Evidence for Pulsations from the Unique Radio Pulsar/X-ray Binary Transition Object FIRST J102347.6+003841, *ApJ*, 722(1), 88–95, doi:10.1088/0004-637X/722/1/88.

Archibald, A.M., **Kaspi, V.M.**, **Hessels, J.W.T.**, **Stappers, B.**, **Janssen, G.**, and **Lyne, A.**, 2013, Long-Term Radio Timing Observations of the Transition Millisecond Pulsar PSR J1023+0038, *arXiv e-prints*, arXiv:1311.5161, doi:10.48550/arXiv.1311.5161.

Archibald, A.M., **Stairs, I.H.**, **Ransom, S.M.**, and **et al.**, 2009, A Radio Pulsar/X-ray Binary Link, *Science*, 324(5933), 1411, doi:10.1126/science.1172740.

Arévalo, M.J. and **Lázaro, C.**, 1999, Time-resolved Spectroscopy of RS Canum Venaticorum Short-Period Systems. II. RT Andromedae, WY Cancri, and XY Ursae Majoris, *AJ*, 118(2), 1015–1033, doi:10.1086/300952.

Arevalo, M.J., **Lazaro, C.**, and **Claret, A.**, 1995, Infrared Light Curves and Absolute Parameters of the Active Binary RT Andromedae, *AJ*, 110, 1376, doi:10.1086/117611.

Augusteijn, T., **Karatasos, K.**, **Papadakis, M.**, **Paterakis, G.**, **Kikuchi,**

S., and **et al.**, 1992, Coordinated X-ray and optical observations of Scorpins X-1., *Astronomy and Astrophysics*, 265, 177–182.

Augustson, K.C., **Brun, A.S.**, and **Toomre, J.**, 2013, Dynamo Action and Magnetic Cycles in F-type Stars, *ApJ*, 777(2), 153, doi:10.1088/0004-637X/777/2/153.

Augustson, K.C., **Brun, A.S.**, and **Toomre, J.**, 2016, The Magnetic Furnace: Intense Core Dynamos in B Stars, *ApJ*, 829(2), 92, doi:10.3847/0004-637X/829/2/92.

Babcock, H.W., 1961, The Topology of the Sun's Magnetic Field and the 22-YEAR Cycle., *ApJ*, 133, 572, doi:10.1086/147060.

Bakis, V., **Tuysuz, M.**, **Zejda, M.**, and **et al.**, 2003, New Times of Minima of Eclipsing Binary Systems, *Information Bulletin on Variable Stars*, 5399, 1.

Barlow, M.J. and **Cohen, M.**, 1977, Infrared photometry and mass loss rates for OBA supergiants and Of stars., *ApJ*, 213, 737–755, doi:10.1086/155204.

Barret, D., 2001, The broad band x-ray/hard x-ray spectra of accreting neutron stars, *Advances in Space Research*, 28(2-3), 307–321, doi:10.1016/S0273-1177(01)00414-8.

Barthelmy, S.D., **Barbier, L.M.**, **Cummings, J.R.**, and **et al.**, 2005, The Burst Alert Telescope (BAT) on the SWIFT Midex Mission, *Space Science Reviews*, 120(3-4), 143–164, doi:10.1007/s11214-005-5096-3.

Bath, G.T., 1975, Dynamical instabilities and mass exchange in binary systems., *MNRAS*, 171, 311–328, doi:10.1093/mnras/171.2.311.

Baumgartner, W.H., **Tueller, J.**, **Markwardt, C.B.**, **Skinner, G.K.**, **Barthelmy, S.**, **Mushotzky, R.F.**, **Evans, P.A.**, and **Gehrels, N.**, 2013, The 70 Month Swift-BAT All-sky Hard X-Ray Survey, *The Astrophysical Journal Supplement*, 207(2), 19, doi:10.1088/0067-0049/207/2/19.

Baykal, A., **Inam, S.Ç.**, **Stark, M.J.**, **Heffner, C.M.**, **Erkoca, A.E.**, and **Swank, J.H.**, 2007, Timing studies on RXTE observations of SAX J2103.5+4545, *MNRAS*, 374(3), 1108–1114, doi:10.1111/j.1365-2966.2006.11231.x.

Baykal, A., **Stark, M.J.**, and **Swank, J.**, 2000, Discovery of the Orbit of the Transient X-Ray Pulsar SAX J2103.5+4545, *ApJL*, 544(2), L129–L132, doi:10.1086/317320.

Becker, R.H., **White, R.L.**, and **Helfand, D.J.**, 1995, The FIRST Survey: Faint Images of the Radio Sky at Twenty Centimeters, *ApJ*, 450, 559, doi:10.1086/176166.

Bedford, D.K., **Fuensalida, J.J.**, and **Arevalo, M.J.**, 1987, The BVJK light curves of the short-period eclipsing binary CG Cygni., *Astronomy and Astrophysics*, 182, 264–270.

Bedford, D.K., **Jeffries, R.D.**, **Geyer, E.H.**, and **Vilhu, O.**, 1990, Coronal X-ray emission from the short-period eclipsing binary XY UMa., *MNRAS*, 243, 557–564.

Beech, M., 2019, *Introducing the Stars*.

Bellm, E.C., **Kulkarni, S.R.**, and **et al.**, 2019, The Zwicky Transient Facility: System Overview, Performance, and First Results, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 131(995), 018002, doi:10.1088/1538-3873/aaecbe.

Berdyugina, S.V., 2005, Starspots: A Key to the Stellar Dynamo, *Living Reviews in Solar Physics*, 2(1), 8, doi:10.12942/lrsp-2005-8.

Bernardini, F. and **Cackett, E.M.**, 2014, Characterizing the quiescent X-ray variability of the black hole low-mass X-ray binary V404 Cyg, *MNRAS*, 439(3), 2771–2780, doi:10.1093/mnras/stu140.

Bhattacharya, D. and **van den Heuvel, E.P.J.**, 1991, Formation and evolution of binary and millisecond radio pulsars, *Physics Reports*, 203(1-2), 1–124, doi:10.1016/0370-1573(91)90064-S.

Bhattacharyya, S., 2010, Measurement of neutron star parameters: A review of methods for low-mass X-ray binaries, *Advances in Space Research*, 45(8), 949–978, doi:10.1016/j.asr.2010.01.010.

Biermann, P. and **Hall, D.S.**, 1976, The Origin of the RS CVN Binaries, in P. Eggleton, S. Mitton, and J. Whelan, editors, *Structure and Evolution of Close Binary Systems*, volume 73, page 381.

Blay, P., **Camero, A.**, **Martínez-Núñez, S.**, **Reig, P.**, and **Negueruela, I.**, 2006, SAX J2103.5+4545, the Closest Be+Neutron Star Galactic System, in A. Wilson, editor, *The X-ray Universe 2005*, volume 604 of *ESA Special Publication*, page 243.

Bogdanov, S., **Archibald, A.M.**, **Bassa, C.**, and **et al.**, 2015, Coordinated X-Ray, Ultraviolet, Optical, and Radio Observations of the PSR J1023+0038 System in a Low-mass X-Ray Binary State, *ApJ*, 806(2), 148, doi:10.1088/0004-637X/806/2/148.

Bogdanov, S., **Archibald, A.M.**, **Hessels, J.W.T.**, **Kaspi, V.M.**, **Lorimer, D.**, **McLaughlin, M.A.**, **Ransom, S.M.**, and **Stairs, I.H.**, 2011, A Chandra X-Ray Observation of the Binary Millisecond Pulsar PSR J1023+0038, *ApJ*, 742(2), 97, doi:10.1088/0004-637X/742/2/97.

Böhm-Vitense, E., 1958, Über die Wasserstoffkonvektionszone in Sternen verschiedener Effektivtemperaturen und Leuchtkräfte. Mit 5 Textabbildungen, *Zeitschrift für Astrophysik*, 46, 108.

Böhm-Vitense, E., 2007, Chromospheric Activity in G and K Main-Sequence Stars, and What It Tells Us about Stellar Dynamos, *ApJ*, 657(1), 486–493, doi:10.1086/510482.

Bonaca, A., **Tanner, J.D.**, **Basu, S.**, **Chaplin, W.J.**, **Metcalfe, T.S.**, and **et al.**, 2012, Calibrating Convective Properties of Solar-like Stars in the Kepler Field of View, *ApJL*, 755(1), L12, doi:10.1088/2041-8205/755/1/L12.

Bonanno, A., **Urpin, V.**, and **Belvedere, G.**, 2005, Protoneutron star dynamos and pulsar magnetism, *Astronomy and Astrophysics*, 440(1), 199–205, doi:10.1051/0004-6361:20042098.

Bond, H.E., **White, R.L.**, **Becker, R.H.**, and **O'Brien, M.S.**, 2002, FIRST J102347.6+003841: The First Radio-selected Cataclysmic Variable, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 114(802), 1359–1363, doi:10.1086/344381.

Borkovits, T. and **Hegedues, T.**, 1996, On the invisible components of some eclipsing binaries., *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 120, 63–75.

Boroson, B.S., **Vrtilek, S.D.**, **Raymond, J.C.**, and **Still, M.**, 2007, FUSE Observations of a Full Orbit of Hercules X-1: Signatures of Disk, Star, and Wind, *ApJ*, 667(2), 1087–1110, doi:10.1086/520826.

Bradshaw, C.F., **Fomalont, E.B.**, and **Geldzahler, B.J.**, 1999, High-Resolution Parallax Measurements of Scorpius X-1, *ApJL*, 512(2), L121–L124, doi:10.1086/311889.

Brady, P.A. and **Gunn, A.G.**, 2000, Radio emission from active binary stars., *Irish Astronomical Journal*, 27, 13–24.

Braithwaite, J. and **Spruit, H.C.**, 2004, A fossil origin for the magnetic field in A stars and white dwarfs, *Nature*, 431(7010), 819–821, doi:10.1038/nature02934.

Brandenburg, A., 1998, Theoretical Basis of Stellar Activity Cycles, in R.A. Donahue and J.A. Bookbinder, editors, *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun*, volume 154 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 173.

Brandenburg, A., 2001, The Inverse Cascade and Nonlinear Alpha-Effect in Simulations of Isotropic Helical Hydromagnetic Turbulence, *ApJ*, 550(2), 824–840, doi:10.1086/319783.

Brandenburg, A., **Käpylä, P.J.**, and **Korpi, M.J.**, 2011, From convective to stellar dynamos, in N.H. Brummell, A.S. Brun, M.S. Miesch, and Y. Ponty, editors, *Astrophysical Dynamics: From Stars to Galaxies*, volume 271, pages 279–287, doi:10.1017/S1743921311017704.

Brandenburg, A., **Mathur, S.**, and **Metcalfe, T.S.**, 2017, Evolution of Co-existing Long and Short Period Stellar Activity Cycles, *ApJ*, 845(1), 79, doi:10.3847/1538-4357/aa7cfa.

Brandenburg, A., **Moss, D.**, and **Tuominen, I.**, 1992, Stratification and thermodynamics in mean-field dynamos, *Astronomy and Astrophysics*, 265(1), 328–344.

Brandenburg, A., **Saar, S.H.**, and **Turpin, C.R.**, 1998, Time Evolution of the Magnetic Activity Cycle Period, *ApJL*, 498(1), L51–L54, doi:10.1086/311297.

Bransgrove, A., **Levin, Y.**, and **Beloborodov, A.**, 2018, Magnetic field evolution of neutron stars - I. Basic formalism, numerical techniques and first results, *MNRAS*, 473(2), 2771–2790, doi:10.1093/mnras/stx2508.

Brát, L., **Šmelcer, L.**, **Kuèáková, H.**, **Ehrenberger, R.**, **Kocián, R.**, and **et al.**, 2008, B.R.N.O. Times of minima, *Open European Journal on Variable Stars*, 0094(1), 1.

Brun, A.S., **Browning, M.K.**, and **Toomre, J.**, 2005, Simulations of Core Convection in Rotating A-Type Stars: Magnetic Dynamo Action, *ApJ*, 629(1), 461–481, doi:10.1086/430430.

Budding, E., **Kadouri, T.H.**, and **Gimenez, A.**, 1982, IUE observations of certain short period RS CVn-like stars, *Astrophysics and Space Science*, 88(2), 453–468, doi:10.1007/BF01092711.

Budding, E. and **Zeilik, M.**, 1987, An Analysis of the Light Curves of Short-Period RS Canum Venaticorum Stars: Starspots and Fundamental Properties, *ApJ*, 319, 827, doi:10.1086/165500.

Butler, C.J., **Erkan, N.**, **Budding, E.**, **Doyle, J.G.**, **Foing, B.**, **Bromage, G.E.**, **Kellett, B.J.**, **Frueh, M.**, **Huovelin, J.**, **Brown, A.**, and **Neff, J.E.**, 2015, A multiwavelength study of the M dwarf binary YY Geminorum, *MNRAS*, 446(4), 4205–4219, doi:10.1093/mnras/stu2398.

Cackett, E.M., **Brown, E.F.**, **Miller, J.M.**, and **Wijnands, R.**, 2010, Quiescent X-ray Emission From Cen X-4: A Variable Thermal Component, *ApJ*, 720(2), 1325–1332, doi:10.1088/0004-637X/720/2/1325.

Cantiello, M., **Yoon, S.C.**, **Langer, N.**, and **Livio, M.**, 2007, Binary star progenitors of long gamma-ray bursts, *Astronomy and Astrophysics*, 465(2), L29–L33, doi:10.1051/0004-6361:20077115.

Cantrell, A.G., **Bailyn, C.D.**, **McClintock, J.E.**, and **Orosz, J.A.**, 2008, Optical State Changes in the X-Ray-quiescent Black Hole A0620-00, *ApJL*, 673(2), L159, doi:10.1086/528793.

Cao, L., **Pinsonneault, M.H.**, **Hillenbrand, L.A.**, and **Kuhn, M.A.**, 2022, Age Spreads and Systematics in λ Orionis with Gaia DR2 and the SPOTS Tracks, *ApJ*, 924(2), 84, doi:10.3847/1538-4357/ac307f.

Casares, J., 2018, Hibernating black holes revealed by photometric mass functions, *MNRAS*, 473(4), 5195–5209, doi:10.1093/mnras/stx2690.

Çokluk, K.A., **Koçak, D.**, **Içli, T.**, **Karaköse, S.**, **Üstündağ, S.**, and **Yakut, K.**, 2019, Absolute properties of RU Cnc revisited: an active RS CVn-type eclipsing binary with red giant branch and main-sequence components, *MNRAS*, 488(4), 4520–4525, doi:10.1093/mnras/stz2051.

Çokluk, K.A., **Yakut, K.**, and **Giacomazzo, B.**, 2023, General Relativistic Simulations of High-Mass Binary Neutron Star Mergers: rapid formation of

low-mass stellar black holes, *arXiv e-prints*, arXiv:2301.09635, doi:10.48550/arXiv.2301.09635.

Champion, D.J., **Ransom, S.M.**, **Lazarus, P.**, and **et al.**, 2008, An Eccentric Binary Millisecond Pulsar in the Galactic Plane, *Science*, 320(5881), 1309, doi:10.1126/science.1157580.

Chanmugam, G. and **Brecher, K.**, 1987, Sustained magnetic fields in binary millisecond pulsars, *Nature*, 329(6141), 696–698, doi:10.1038/329696a0.

Charles, P.A. and **Coe, M.J.**, 2006, Optical, ultraviolet and infrared observations of X-ray binaries, in *Compact stellar X-ray sources*, volume 39, pages 215–265.

Chen, W.C., 2017, Formation of Scorpius X-1 induced by anomalous magnetic braking of Ap/Bp stars, *Astronomy & Astrophysics*, 606, A60, doi:10.1051/0004-6361/201630239.

Chen, W.C. and **Li, X.D.**, 2006, Evolution of black hole intermediate-mass X-ray binaries: the influence of a circumbinary disc, *MNRAS*, 373(1), 305–310, doi:10.1111/j.1365-2966.2006.11032.x.

Cheng, Y., **Zhang, L.**, **Pi, Q.**, **Zhu, Z.**, **Han, X.L.**, **Misra, P.**, **Yang, Z.**, **Li, B.**, and **Jiang, L.**, 2022, Physical Properties of Three Eclipsing Binaries of V Crt, WY Cnc and CG Cyg with Radio Radiation, *Universe*, 8(11), 551, doi:10.3390/universe8110551.

Cherepashchuk, A.M., **Kovalenko, V.M.**, **Kovalenko, O.N.**, and **Mironov, A.V.**, 1974, Photoelectric UBV photometry of the X-ray binary systems HZ Herculis (Her X-1) and V1357 Cygni (Cyg X-1)., *Peremennye Zvezdy*, 19, 305–318.

Chitnis, V.R., **Pendharkar, J.K.**, **Bose, D.**, **Agrawal, V.K.**, **Rao, A.R.**, and **Misra, R.**, 2009, X-Ray Variability of Active Galactic Nuclei in the Soft and Hard X-Ray Bands, *ApJ*, 698(2), 1207–1220, doi:10.1088/0004-637X/698/2/1207.

Chochol, D., **Pribulla, T.**, **Teodorani, M.**, **Errico, L.**, **Vittone, A.A.**, **Milano, L.**, and **Barone, F.**, 1998, The RS CVn binary XY UMa as a member of a triple system, *Astronomy and Astrophysics*, 340, 415–418.

Claret, A., **Gimenez, A.**, and **Cunha, N.C.S.**, 1995, Circularization and synchronization times in the main sequence of detached eclipsing binaries.I. Using the formalism by Tassoul., *Astronomy and Astrophysics*, 299, 724.

Collier Cameron, A. and **Hilditch, R.W.**, 1997, Eclipse mapping of starspots on XY UMa in 1992 and 1995, *MNRAS*, 287(3), 567–574, doi: 10.1093/mnras/287.3.567.

Collins, K.A., **Kielkopf, J.F.**, **Stassun, K.G.**, and **Hessman, F.V.**, 2017, AstroImageJ: Image Processing and Photometric Extraction for Ultra-precise Astronomical Light Curves, *AJ*, 153(2), 77, doi:10.3847/1538-3881/153/2/77.

Cook, J.M., **Divoky, M.**, **Hofstrand, A.**, **Lamb, J.**, and **Quarderer, N.**, 2005, CCD Observations of Times of Minima of Eclipsing Binaries, *Information Bulletin on Variable Stars*, 5636, 1.

Coughlin, J.L., 2010, Observations and Models of Eclipsing Binary Systems: RT And, TU Boo, KV Gem, UU Lyn, MY Cyg, KR Per, RU Eri, and YY Cet, *arXiv e-prints*, arXiv:1004.1395, doi:10.48550/arXiv.1004.1395.

Counselman, Charles C., I., 1973, Outcomes of Tidal Evolution, *ApJ*, 180, 307–316, doi:10.1086/151964.

Dapergolas, A., **Kontizas, E.**, and **Kontizas, M.**, 1991, 1989, 1990 Photoelectric Light Curves of RT And, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3661, 1.

Dapergolas, A., **Kontizas, E.**, and **Kontizas, M.**, 1992, UBV Light Curve of RT And for 1991, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3818, 1.

Dapergolas, A., **Kontizas, E.**, and **Kontizas, M.**, 1994, UBV Light Curve of RT And for 1992, *Information Bulletin on Variable Stars*, 4036, 1.

Dasi-Espuig, M., **Solanki, S.K.**, **Krivova, N.A.**, **Cameron, R.**, and **Peñuela, T.**, 2010, Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle, *Astronomy and Astrophysics*, 518, A7, doi:10.1051/0004-6361/201014301.

de Jager, C., **Nieuwenhuijzen, H.**, and **van der Hucht, K.A.**, 1988, Mass loss rates in the Hertzsprung-Russell diagram., *Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser*, 72, 259–289.

De Loore, C., **De Greve, J.P.**, and **Lamers, H.J.G.L.M.**, 1977, Evolution of massive stars with mass loss by stellar wind., *Astronomy and Astrophysics*, 61, 251–259.

De Loore, C.W.H. and **Doom, C.**, 1992, *Structure and evolution of single and binary stars*, volume 179, doi:10.1007/978-94-011-2502-4.

de Mink, S.E., **Langer, N.**, **Izzard, R.G.**, **Sana, H.**, and **de Koter, A.**, 2013, The Rotation Rates of Massive Stars: The Role of Binary Interaction through Tides, Mass Transfer, and Mergers, *ApJ*, 764(2), 166, doi:10.1088/0004-637X/764/2/166.

Dean, C.A., 1974, A Photoelectric Study of the Eclipsing Binary RT Andromedae, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 86(514), 912, doi:10.1086/129697.

Deeter, J., **Crosa, L.**, **Gerend, D.**, and **Boynton, P.E.**, 1976, Analysis of periodic optical variability in the compact X-ray source Her X-1/HZ Herculis., *ApJ*, 206, 861–868, doi:10.1086/154449.

Degenaar, N. and **Suleimanov, V.F.**, 2018, Testing the Equation of State with Electromagnetic Observations, in L. Rezzolla, P. Pizzochero, D.I. Jones, N. Rea, and I. Vidaña, editors, *Astrophysics and Space Science Library*, volume 457 of *Astrophysics and Space Science Library*, page 185, doi:10.1007/978-3-319-97616-7_5.

Deichmüller, F., 1901, Über einen wahrscheinlich veränderlichen, in BD. fehlenden Stern $9^m.0$, *Astronomische Nachrichten*, 157, 31, doi:10.1002/asna.19011570211.

Dekany, R., **Smith, R.M.**, **Riddle, R.**, **Feeney, M.**, **Porter, M.**, and **et al.**, 2020, The Zwicky Transient Facility: Observing System, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 132(1009), 038001, doi:10.1088/1538-3873/ab4ca2.

Deller, A.T., **Moldon, J.**, **Miller-Jones, J.C.A.**, **Patruno, A.**, **Hessels, J.W.T.**, **Archibald, A.M.**, **Paragi, Z.**, **Heald, G.**, and **Vilchez, N.**, 2015, Radio Imaging Observations of PSR J1023+0038 in an LMXB State, *ApJ*, 809(1), 13, doi:10.1088/0004-637X/809/1/13.

Demarque, P., **Guenther, D.B.**, **Li, L.H.**, **Mazumdar, A.**, and **Straka, C.W.**, 2008, YREC: the Yale rotating stellar evolution code. Non-rotating version, seismology applications, *Astrophysics and Space Science*, 316(1-4), 31–41, doi:10.1007/s10509-007-9698-y.

Dempsey, R.C., **Linsky, J.L.**, **Fleming, T.A.**, and **Schmitt, J.H.M.M.**, 1993, The ROSAT All-Sky Survey of Active Binary Coronae. I. Quiescent Fluxes for the RS Canum Venaticorum Systems, *ApJS*, 86, 599, doi:10.1086/191791.

Deng, Z.L., **Li, X.D.**, **Gao, Z.F.**, and **Shao, Y.**, 2021, Evolution of LMXBs under Different Magnetic Braking Prescriptions, *ApJ*, 909(2), 174, doi:10.3847/1538-4357/abe0b2.

Denissenkov, P.A. and **Pinsonneault, M.**, 2007, A Revised Prescription for the Tayler-Spruit Dynamo: Magnetic Angular Momentum Transport in Stars, *ApJ*, 655(2), 1157–1165, doi:10.1086/510345.

Donati, J.F. and **Landstreet, J.D.**, 2009, Magnetic Fields of Nondegenerate Stars, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 47(1), 333–370, doi:10.1146/annurev-astro-082708-101833.

Donati, J.F., **Morin, J.**, **Petit, P.**, **Delfosse, X.**, **Forveille, T.**, and **et al.**, 2008, Large-scale magnetic topologies of early M dwarfs, *MNRAS*, 390(2), 545–560, doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13799.x.

Done, C., **Gierliński, M.**, and **Kubota, A.**, 2007, Modelling the behaviour of accretion flows in X-ray binaries. Everything you always wanted to know about accretion but were afraid to ask, *The Astronomy and Astrophysics Review*, 15(1), 1–66, doi:10.1007/s00159-007-0006-1.

Doyle, J.G., **Butler, C.J.**, **Morrison, L.V.**, and **Gibbs, P.**, 1988, Large photometric variations on II Peg in Sept/Nov 1986 : implications for the starspot hypothesis., *Astronomy and Astrophysics*, 192, 275–278.

Doyle, J.G., **Mitrou, C.K.**, **Mathioudakis, M.**, **Avgoloupis, S.**, **Mavridis, L.N.**, **Varvoglis, P.P.**, **Graos, F.**, and **Antonopoulou, E.**, 1994, Surface inhomogeneities on SZ Piscium., *Astronomy and Astrophysics*, 291, 135–142.

Drake, A.J., **Djorgovski, S.G.**, **Mahabal, A.**, **Beshore, E.**, **Larson, S.**, and **et al.**, 2009, First Results from the Catalina Real-Time Transient Survey, *ApJ*, 696(1), 870–884, doi:10.1088/0004-637X/696/1/870.

Ducci, L., **Sidoli, L.**, **Wilms, J.**, **Grinberg, V.**, **Sanchez, C.**, **Rodriguez, J.**, **Ferrigno, C.**, **Bozzo, E.**, and **Savchenko, V.**, 2019, Renewed hard X-ray activity of SAX J2103.5+4545 detected by INTEGRAL, *The Astronomer's Telegram*, 12812, 1.

Dumitrescu, A., 1974, Eclipsing binary RT Andromedae (II)., *Studii si Cercetari Matematice*, 19, 89–97.

Dumitrescu, A., 1973, New Elements of the Eclipsing Binary RT Andromedae, *Information Bulletin on Variable Stars*, 830, 2.

Eaton, J.A. and **Hall, D.S.**, 1979, Starspots as the cause of the intrinsic light variations in RS Canum Venaticorum type stars., *ApJ*, 227, 907–922, doi:10.1086/156800.

Eggleton, P.P., 1983, Aproximations to the radii of Roche lobes., *ApJ*, 268, 368–369, doi:10.1086/160960.

Eggleton, P., 2006, *Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars*.

Eggleton, P.P., 1971, The evolution of low mass stars, *MNRAS*, 151, 351, doi:10.1093/mnras/151.3.351.

El-Badry, K., **Conroy, C.**, **Quataert, E.**, **Rix, H.W.**, **Labadie-Bartz, J.**, **Jayasinghe, T.**, **Thompson, T.**, **Cargile, P.**, **Stassun, K.G.**, and **Ilyin, I.**, 2022, Birth of a Be star: an APOGEE search for Be stars forming through binary mass transfer, *MNRAS*, 516(3), 3602–3630, doi:10.1093/mnras/stac2422.

Eldridge, J.J., **Stanway, E.R.**, **Xiao, L.**, **McClelland, L.A.S.**, **Taylor, G.**, **Ng, M.**, **Greis, S.M.L.**, and **Bray, J.C.**, 2017, Binary Population and Spectral Synthesis Version 2.1: Construction, Observational Verification, and New Results, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 34, e058, doi:10.1017/pasa.2017.51.

Erdem, A., **Demircan, O.**, and **Güre, M.**, 2001, The light and period changes of RT Andromedae, *Astronomy and Astrophysics*, 379, 878–883, doi:10.1051/0004-6361:20011357.

Erdem, A. and **Gudur, N.**, 1998, The orbital period study and photometric analysis of XY Ursae Majoris, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 127, 257–267, doi:10.1051/aas:1998348.

Erkut, M.H., **Psaltis, D.**, and **Alpar, M.A.**, 2008, Quasi-Periodic Oscillations as Global Hydrodynamic Modes in the Boundary Layers of Viscous Accretion Disks, *ApJ*, 687(2), 1220–1229, doi:10.1086/592142.

Evren, S., 1985, Photoelectric Photometry of the Eclipsing Binary Mm-Herculis - Preliminary Results, *Astrophysics and Space Science*, 108(1), 113–123, doi:10.1007/BF00650123.

Farr, W.M., **Sravan, N.**, **Cantrell, A.**, **Kreidberg, L.**, **Bailyn, C.D.**, **Mandel, I.**, and **Kalogera, V.**, 2011, The Mass Distribution of Stellar-mass Black Holes, *ApJ*, 741(2), 103, doi:10.1088/0004-637X/741/2/103.

Faucher-Giguère, C.A. and **Kaspi, V.M.**, 2006, Birth and Evolution of Isolated Radio Pulsars, *ApJ*, 643(1), 332–355, doi:10.1086/501516.

Feldman, W.C., **Asbridge, J.R.**, **Bame, S.J.**, and **Gosling, J.T.**, 1977, Plasma and Magnetic Fields from the Sun, in O.R. White, editor, *The Solar Output and its Variation*, page 351.

Fender, R.P., **Belloni, T.M.**, and **Gallo, E.**, 2004, Towards a unified model for black hole X-ray binary jets, *MNRAS*, 355(4), 1105–1118, doi:10.1111/j.1365-2966.2004.08384.x.

Ferraro, V.C.A., 1937, The non-uniform rotation of the Sun and its magnetic field, *MNRAS*, 97, 458, doi:10.1093/mnras/97.6.458.

Fleming, D.P., **Barnes, R.**, **Davenport, J.R.A.**, and **Luger, R.**, 2019, Rotation Period Evolution in Low-mass Binary Stars: The Impact of Tidal Torques and Magnetic Braking, *ApJ*, 881(2), 88, doi:10.3847/1538-4357/ab2ed2.

Fomalont, E.B., **Geldzahler, B.J.**, and **Bradshaw, C.F.**, 2001, Scorpius X-1: The Evolution and Nature of the Twin Compact Radio Lobes, *ApJ*, 558(1), 283–301, doi:10.1086/322479.

Frasca, A., **Biazzo, K.**, **Taș, G.**, **Evren, S.**, and **Lanzafame, A.C.**, 2008, Spots, plages, and flares on λ Andromedae and II Pegasi, *Astronomy & Astrophysics*, 479(2), 557–565, doi:10.1051/0004-6361:20077915.

Gaia Collaboration, **Vallenari, A.**, **Brown, A.G.A.**, **Prusti, T.**, and **et al.**, 2023, Gaia Data Release 3. Summary of the content and survey properties, *Astronomy & Astrophysics*, 674, A1, doi:10.1051/0004-6361/202243940.

García, J., **Ramírez, J.M.**, **Kallman, T.R.**, **Witthoeft, M.**, **Bautista, M.A.**, **Mendoza, C.**, **Palmeri, P.**, and **Quinet, P.**, 2011, Modeling the Oxygen K Absorption in the Interstellar Medium: An XMM-Newton View of Sco X-1, *ApJL*, 731(1), L15, doi:10.1088/2041-8205/731/1/L15.

Garraffo, C., **Drake, J.J.**, **Dotter, A.**, **Choi, J.**, **Burke, D.J.**, **Moschou, S.P.**, **Alvarado-Gómez, J.D.**, **Kashyap, V.L.**, and **Cohen, O.**, 2018, The Revolution Revolution: Magnetic Morphology Driven Spin-down, *ApJ*, 862(1), 90, doi:10.3847/1538-4357/aace5d.

Gehmeyr, M. and **Mihalas, D.**, 1994, Adaptive grid radiation hydrodynamics with TITAN, *Physica D Nonlinear Phenomena*, 77(1-3), 320–341, doi:10.1016/0167-2789(94)90143-0.

Gehrels, N., **Chincarini, G.**, **Giommi, P.**, and **et al.**, 2004, *ApJ*, 611(2), 1005–1020, doi:10.1086/422091.

Gerend, D. and **Boynton, P.E.**, 1976, Optical clues to the nature of Hercules X-1 / HZ Herculis., *ApJ*, 209, 562–573, doi:10.1086/154751.

Giacconi, R., **Gursky, H.**, **Kellogg, E.**, **Levinson, R.**, **Schreier, E.**, and **Tananbaum, H.**, 1973, Further X-ray observations of Hercules X-1 from Uhuru., *ApJ*, 184, 227, doi:10.1086/152321.

Giacconi, R., **Gursky, H.**, **Paolini, F.R.**, and **Rossi, B.B.**, 1962, Evidence for x Rays From Sources Outside the Solar System, *Physical Review Letters*, 9(11), 439–443, doi:10.1103/PhysRevLett.9.439.

Gilliland, R.L., 1985, The relation of chromospheric activity to convection, rotation and evolution of the main sequence., *ApJ*, 299, 286–294, doi:10.1086/163699.

Gordon, K.C., 1955, Pecularities in the photoelectric light-curves of RT Andromedae., *AJ*, 60, 422, doi:10.1086/107251.

Gordon, K.C., 1948, A photoelectric study of the eclipsing binary RT Andromedae., *AJ*, 53, 198, doi:10.1086/106135.

Gordon, S., **Hall, S.**, **Ledlow, M.**, **Mann, E.**, and **Zeilik, M.**, 1990, 1989 BVR Light Curves of RT And, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3469, 1.

Gossage, S., **Dotter, A.**, **Garraffo, C.**, **Drake, J.J.**, **Douglas, S.**, and **Conroy, C.**, 2021, MESA Models with Magnetic Braking, *ApJ*, 912(1), 65, doi:10.3847/1538-4357/abebdf.

Gossage, S., **Kalogera, V.**, and **Sun, M.**, 2022, Magnetic braking with MESA evolutionary models in the single star and LMXB regimes, *arXiv e-prints*, arXiv:2212.12037, doi:10.48550/arXiv.2212.12037.

Gottlieb, E.W., **Wright, E.L.**, and **Liller, W.**, 1975, Optical studies of UHURU sources. XI. A probable period for Scorpius X-1 = V818 Scorpii., *ApJL*, 195, L33–L35, doi:10.1086/181703.

Gouhier, B., **Jouve, L.**, and **Lignières, F.**, 2022, Angular momentum transport in a contracting stellar radiative zone embedded in a large-scale magnetic field, *Astronomy & Astrophysics*, 661, A119, doi:10.1051/0004-6361/202141613.

Grandi, S.A., **Hintzen, P.M.N.O.**, **Jensen, E.B.**, **Rydgren, A.E.**, **Scott, J.S.**, **Stickney, P.M.**, **Whelan, J.A.J.**, and **Worden, S.P.**, 1974, The effects of the 35-day X-ray cycle on the light curve of HZ Herculis., *ApJ*, 190, 365–373, doi:10.1086/152886.

Gratton, R.G., **Carretta, E.**, and **Bragaglia, A.**, 2012, Multiple populations in globular clusters. Lessons learned from the Milky Way globular clusters, *The Astronomy and Astrophysics Review*, 20, 50, doi:10.1007/s00159-012-0050-3.

Güver, T., **Psaltis, D.**, and **Özel, F.**, 2012, Systematic Uncertainties in the Spectroscopic Measurements of Neutron-star Masses and Radii from Thermonuclear X-Ray Bursts. I. Apparent Radii, *ApJ*, 747(1), 76, doi:10.1088/0004-637X/747/1/76.

Hailey, C.J., **Mori, K.**, **Bauer, F.E.**, **Berkowitz, M.E.**, **Hong, J.**, and **Hord, B.J.**, 2018, A density cusp of quiescent X-ray binaries in the central parsec of the Galaxy, *Nature*, 556(7699), 70–73, doi:10.1038/nature25029.

Hall, D.S., 1976, The RS CVn Binaries and Binaries with Similar PROPERTIÉS, in W.S. Fitch, editor, *IAU Colloq. 29: Multiple Periodic Variable Stars*, volume 60 of *Astrophysics and Space Science Library*, page 287, doi:10.1007/978-94-010-1175-4_15.

Hall, D.S., 1972, A T Tauri-Like Star in the Eclipsing Binary RS Canum Venaticorum, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 84(498), 323, doi:10.1086/129291.

Hall, D.S., 1991, A Connection between Long-Term Luminosity Variations and Orbital Period Changes in Chromospherically Active Binaries, *Astrophysical Journal Letters*, 380, L85, doi:10.1086/186179.

Hall, J.C., 2008, Stellar Chromospheric Activity, *Living Reviews in Solar Physics*, 5(1), 2, doi:10.12942/lrsp-2008-2.

Halpern, J.P., **Gaidos, E.**, **Sheffield, A.**, **Price-Whelan, A.M.**, and **Bogdanov, S.**, 2013, Optical Observations of the Binary MSP J1023+0038 in a New Accreting State, *The Astronomer's Telegram*, 5514, 1.

Harvey, M., **Rulten, C.B.**, and **Chadwick, P.M.**, 2022, The Galactic high mass X-ray binary population with Fermi-LAT, *MNRAS*, 512(1), 1141–1168, doi:10.1093/mnras/stac375.

Heckert, P.A., 1995, 1995 Photometry of RT Andromedae, *Information Bulletin on Variable Stars*, 4224, 1.

Heckert, P.A., 1998, 1997 Photometry of RT Andromedae, *Information Bulletin on Variable Stars*, 4656, 1.

Heckert, P.A., 2012, Two decades of optical photometry of short-period eclipsing RS CVn systems and other active chromosphere systems, *Journal of Astronomical Data*, 18, 5.

Heckert, P.A., **Beaver, M.R.**, and **Phillips, K.**, 1996, 1996 Photometry of RT Andromedae, *Information Bulletin on Variable Stars*, 4384, 1.

Heger, A. and **Langer, N.**, 2000, Presupernova Evolution of Rotating Massive Stars. II. Evolution of the Surface Properties, *ApJ*, 544(2), 1016–1035, doi:10.1086/317239.

Heger, A., **Woosley, S.E.**, and **Spruit, H.C.**, 2005, Presupernova Evolution of Differentially Rotating Massive Stars Including Magnetic Fields, *ApJ*, 626(1), 350–363, doi:10.1086/429868.

Henyey, L.G., **Wilets, L.**, **Böhm, K.H.**, **Lelevier, R.**, and **Levee, R.D.**, 1959, A Method for Automatic Computation of Stellar Evolution., *ApJ*, 129, 628, doi:10.1086/146661.

Herwig, F., 2004, Dredge-up and Envelope Burning in Intermediate-Mass Giants of Very Low Metallicity, *ApJ*, 605(1), 425–435, doi:10.1086/382200.

Hilditch, R.W. and **Bell, S.A.**, 1994, High Precision Photometry of the Rs-Canum Binary System Xy-Ursae and a Dark-Zone Photometric Model, *MNRAS*, 267, 1081, doi:10.1093/mnras/267.4.1081.

HIPPARCOS, 1997, *The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission*, volume 1200 of *ESA Special Publication*.

Homer, L., **Szkody, P.**, **Chen, B.**, **Henden, A.**, **Schmidt, G.**, **Anderson, S.F.**, **Silvestri, N.M.**, and **Brinkmann, J.**, 2006, XMM-Newton and Optical Follow-up Observations of SDSS J093249.57+472523.0 and SDSS J102347.67+003841.2, *AJ*, 131(1), 562–570, doi:10.1086/498346.

Hotta, H. and **Yokoyama, T.**, 2011, Modeling of Differential Rotation in Rapidly Rotating Solar-type Stars, *ApJ*, 740(1), 12, doi:10.1088/0004-637X/740/1/12.

Howell, S.B., **Sobeck, C.**, **Haas, M.**, **Still, M.**, **Barclay, T.**, **Mullally, F.**, **Troeltzsch, J.**, **Aigrain, S.**, **Bryson, S.T.**, **Caldwell, D.**, **Chaplin, W.J.**, **Cochran, W.D.**, **Huber, D.**, **Marcy, G.W.**, **Miglio, A.**, **Najita, J.R.**, **Smith, M.**, **Twicken, J.D.**, and **Fortney, J.J.**, 2014, The K2 Mission: Characterization and Early Results, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 126(938), 398, doi:10.1086/676406.

Huang, S.S., 1963, Modes of Mass Ejection by Binary Stars and the Effect on Their Orbital Periods., *ApJ*, 138, 471, doi:10.1086/147659.

Huenemoerder, D.P., **Buzasi, D.L.**, and **Ramsey, L.W.**, 1989, Fiber-Optic-Echelle-CCD Spectral Monitoring of UX ARIETIS, *AJ*, 98, 1398, doi:10.1086/115226.

Hulleman, F., **in 't Zand, J.J.M.**, and **Heise, J.**, 1998, Discovery of the transient X-ray pulsar SAX J2103.5+4545, *Astronomy and Astrophysics*, 337, L25–L28, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/9807280.

Hurley, J.R., **Tout, C.A.**, and **Pols, O.R.**, 2002, Evolution of binary stars and the effect of tides on binary populations, *MNRAS*, 329(4), 897–928, doi:10.1046/j.1365-8711.2002.05038.x.

Hut, P., 1981, Tidal evolution in close binary systems., *Astronomy and Astrophysics*, 99, 126–140.

Hynes, R.I. and **Britt, C.T.**, 2012, The Orbital Period of Scorpius X-1, *ApJ*, 755(1), 66, doi:10.1088/0004-637X/755/1/66.

Ibanoglu, C., **Keskin, V.**, **Akan, M.C.**, **Evren, S.**, and **Tunca, Z.**, 1994, Long-term luminosity variations and period changes in V471 Tauri., *Astronomy and Astrophysics*, 281, 811–816.

İçli, T., **Koçak, D.**, **Boz, G.Ç.**, and **Yakut, K.**, 2013, The Low-mass Interacting Binary System OO Aql Revisited: A New Quadruple System, *AJ*, 145(5), 127, doi:10.1088/0004-6256/145/5/127.

İçli, T., **Koçak, D.**, and **Yakut, K.**, 2019, Long-term optical variability of Her X-1, *IAU Symposium*, 346, 239–241, doi:10.1017/S174392131800813X.

İçli, T., **Koçak, D.**, and **Yakut, K.**, 2020, Photometric study of selected X-ray binaries, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso*, 50(2), 499–503, doi:10.31577/caosp.2020.50.2.499.

İçli, T. and **Yakut, K.**, 2015, Long-term photometric monitoring of binary systems with neutron star components, in J.U. Ness, editor, *The Extremes of Black Hole Accretion*, page 89.

İçli, T., 2016, *Nötron Yıldızı Bileşenli Çift Sistemler*, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.

Işık, E., **Schmitt, D.**, and **Schüssler, M.**, 2011, Magnetic flux generation and transport in cool stars, *Astronomy & Astrophysics*, 528, A135, doi:10.1051/0004-6361/201014501.

İnam, S.Ç., **Baykal, A.**, **Swank, J.**, and **Stark, M.J.**, 2004, Discovery of a Soft Spectral Component and Transient 22.7 Second Quasi-periodic Oscillations of SAX J2103.5+4545, *ApJ*, 616(1), 463–468, doi:10.1086/424825.

İnam, S.C. and **Baykal, A.**, 2005, X-ray spectral evolution of Her X-1 in a low state and the following short high state, *MNRAS*, 361(4), 1393–1398, doi:10.1111/j.1365-2966.2005.09272.x.

Irwin, J.B., 1952, The Determination of a Light-Time Orbit., *ApJ*, 116, 211, doi:10.1086/145604.

Istrate, A.G., **Tauris, T.M.**, and **Langer, N.**, 2014, The formation of low-mass helium white dwarfs orbiting pulsars . Evolution of low-mass X-ray binaries below the bifurcation period, *Astronomy & Astrophysics*, 571, A45, doi:10.1051/0004-6361/201424680.

Ivanova, N., 2006, Low-Mass X-Ray Binaries with Pre-Main-Sequence Companions, *ApJL*, 653(2), L137–L140, doi:10.1086/510672.

Ivanova, N. and **Taam, R.E.**, 2004, Thermal Timescale Mass Transfer and the Evolution of White Dwarf Binaries, *ApJ*, 601(2), 1058–1066, doi:10.1086/380561.

Izzard, R.G., **Ramirez-Ruiz, E.**, and **Tout, C.A.**, 2004, Formation rates of core-collapse supernovae and gamma-ray bursts, *MNRAS*, 348(4), 1215–1228, doi:10.1111/j.1365-2966.2004.07436.x.

Jableka, D., **Zola, S.**, **Zakrzewski, B.**, **Szymanski, T.**, **Kuzmicz, A.**, **de Villiers, S.N.**, **Zejda, M.**, and **Koziel-Wierzbowska, D.**, 2012, Period changes of the sample of eclipsing binaries with active chromospheres, *Advances in Astronomy and Space Physics*, 2, 128–131.

Jassur, D.M.Z., **Kermani, M.H.**, and **Gozaliasl, G.**, 2006, Orbital Period Changes and Long Term Luminosity Variation in Active Binary CG Cyg, *Astrophysics and Space Science*, 304(1-4), 157–160, doi:10.1007/s10509-006-9099-7.

Jayasinghe, T., **Stanek, K.Z.**, **Kochanek, C.S.**, **Shappee, B.J.**, **Holoien, T.W.S.**, and **et al.**, 2020, The ASAS-SN catalogue of variable stars - V. Variables in the Southern hemisphere, *MNRAS*, 491(1), 13–28, doi:10.1093/mnras/stz2711.

Jeffries, R.D., 1998, A ROSAT observation of the eclipsing binary system XY UMa, *MNRAS*, 295(4), 825–833, doi:10.1046/j.1365-8711.1998.01272.x.

Jeffries, R.D. and **Bedford, D.K.**, 1990, An X-ray flare on the short-period, eclipsing binary UMa., *MNRAS*, 246, 337.

Jermyn, A.S., **Bauer, E.B.**, **Schwab, J.**, **Farmer, R.**, **Ball, W.H.**, and **et al.**, 2023, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Time-dependent Convection, Energy Conservation, Automatic Differentiation, and Infrastructure, *ApJS*, 265(1), 15, doi:10.3847/1538-4365/acae8d.

Jia, K. and **Li, X.D.**, 2015, Evolution of Transient Low-mass X-Ray Binaries

to Redback Millisecond Pulsars, *ApJ*, 814(1), 74, doi:10.1088/0004-637X/814/1/74.

Jonker, P.G., **Bassa, C.G.**, **Nelemans, G.**, **Steeghs, D.**, **Torres, M.A.P.**, and **et al.**, 2011, The Galactic Bulge Survey: Outline and X-ray Observations, *ApJS*, 194(2), 18, doi:10.1088/0067-0049/194/2/18.

Jurua, E., **Charles, P.A.**, **Still, M.**, and **Meintjes, P.J.**, 2011, The optical and X-ray light curves of Hercules X-1, *MNRAS*, 418(1), 437–443, doi:10.1111/j.1365-2966.2011.19494.x.

Kalemci, E., **Tomsick, J.A.**, **Rothschild, R.E.**, **Pottschmidt, K.**, and **Kaaret, P.**, 2004, Transitions of black hole transients to the low/hard state under the microscope, in P. Kaaret, F.K. Lamb, and J.H. Swank, editors, *X-ray Timing 2003: Rossi and Beyond*, volume 714 of *American Institute of Physics Conference Series*, pages 52–55, doi:10.1063/1.1780999.

Kalimeris, A., **Mitrou, C.K.**, **Doyle, J.G.**, **Antonopoulou, E.**, and **Rovithis-Livaniou, H.**, 1995, An orbital period study of SZ Piscium., *Astronomy and Astrophysics*, 293, 371–376.

Kalogera, V. and **Webbink, R.F.**, 1998, Formation of Low-Mass X-Ray Binaries. II. Common Envelope Evolution of Primordial Binaries with Extreme Mass Ratios, *ApJ*, 493(1), 351–367, doi:10.1086/305085.

Karak, B.B., **Kitchatinov, L.L.**, and **Choudhuri, A.R.**, 2014, A Dynamo Model of Magnetic Activity in Solar-like Stars with Different Rotational Velocities, *ApJ*, 791(1), 59, doi:10.1088/0004-637X/791/1/59.

Kashyap, U., **Chakraborty, M.**, and **Bhattacharyya, S.**, 2022, Probing spectral and temporal evolution of the neutron star low-mass X-ray binary 4U 1724-30 with AstroSat, *MNRAS*, 512(4), 6180–6191, doi:10.1093/mnras/stac908.

Keskin, V., **Ibanoglu, C.**, **Akan, M.C.**, **Evren, S.**, and **Tunca, Z.**, 1994,

Luminosity variations and orbital period changes in RT Lacertae, *Astronomy and Astrophysics*, 287, 817–823.

Kieboom, K.H. and **Verbunt, F.**, 1981, Some aspects of low-mass close binary models for bright galactic bulge X-ray sources and 4U 1626-67., *Astronomy and Astrophysics*, 95, L11–L14.

Kiel, P.D. and **Hurley, J.R.**, 2006, Populating the Galaxy with low-mass X-ray binaries, *MNRAS*, 369(3), 1152–1166, doi:10.1111/j.1365-2966.2006.10400.x.

Kiliachkov, N.N. and **Shevchenko, V.S.**, 1978, U, B, V, R photometry of HZ Herculis during the 1977 X-ray program, *Soviet Astronomy Letters*, 4, 191–194.

Killestein, T.L., **Mould, M.**, **Steeghs, D.**, **Casares, J.**, **Galloway, D.K.**, and **Whelan, J.T.**, 2023, Precision Ephemerides for Gravitational-wave Searches - IV. Corrected and refined ephemeris for Scorpius X-1, *MNRAS*, 520(4), 5317–5330, doi:10.1093/mnras/stad366.

King, A.R., 1988, The evolution of compact binaries., *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 29, 1–25.

Kippenhahn, R., **Ruschenplatt, G.**, and **Thomas, H.C.**, 1980, The time scale of thermohaline mixing in stars, *Astronomy and Astrophysics*, 91(1-2), 175–180.

Kippenhahn, R. and **Weigert, A.**, 1967, Entwicklung in engen Doppelsternsystemen I. Massenaustausch vor und nach Beendigung des zentralen Wasserstoff-Brennens, *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 251.

Kippenhahn, R., **Weigert, A.**, and **Weiss, A.**, 2013, *Stellar Structure and Evolution*, doi:10.1007/978-3-642-30304-3.

Kitchatinov, L.L. and **Olemskoy, S.V.**, 2011, Does the Babcock-Leighton mechanism operate on the Sun?, *Astronomy Letters*, 37(9), 656–658, doi:10.1134/S0320010811080031.

Kitchatinov, L.L. and **Ruediger, G.**, 1995, Differential rotation in solar-type stars: revisiting the Taylor-number puzzle., *Astronomy and Astrophysics*, 299, 446.

Kjurkchieva, D., **Marchev, D.**, and **Ogloza, W.**, 2000, Multicolour high-speed photometry and Hα spectroscopy of XY UMa, *Astronomy and Astrophysics*, 354, 909–914.

Kjurkchieva, D.P., **Marchev, D.V.**, and **Ogloza, W.**, 2001, Spectroscopic and photometric observations of the short-period RS CVn star RT And, *Astronomy and Astrophysics*, 378, 102–112, doi:10.1051/0004-6361:20011084.

Kjurkchieva, D.P., **Marchev, D.V.**, and **Ogloza, W.**, 2003, Spectroscopic and photometric observations of the short-period RS CVn-type star CG Cyg, *Astronomy and Astrophysics*, 400, 623–631, doi:10.1051/0004-6361:20030040.

Kobulnicky, H.A., **Kiminki, D.C.**, **Lundquist, M.J.**, **Burke, J.**, **Chapman, J.**, and **et al.**, 2014, Toward Complete Statistics of Massive Binary Stars: Penultimate Results from the Cygnus OB2 Radial Velocity Survey, *ApJS*, 213(2), 34, doi:10.1088/0067-0049/213/2/34.

Koçak, D., **Yakut, K.**, **Southworth, J.**, **Eggleton, P.P.**, **İçli, T.**, **Tout, C.A.**, and **Bloemen, S.**, 2021, The Nature of the Eccentric Double-lined Eclipsing Binary System KIC 2306740 with Kepler Space Photometry, *ApJ*, 910(2), 111, doi:10.3847/1538-4357/abe546.

Kochanek, C.S., **Shappee, B.J.**, **Stanek, K.Z.**, **Holoien, T.W.S.**, **Thompson, T.A.**, and **et al.**, 2017, The All-Sky Automated Survey for Supernovae (ASAS-SN) Light Curve Server v1.0, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 129(980), 104502, doi:10.1088/1538-3873/aa80d9.

Kolb, U. and **Ritter, H.**, 1990, A comparative study of the evolution of

a close binary using a standard and an improved technique for computing mass transfer., *Astronomy and Astrophysics*, 236, 385–392.

Konenkov, D. and **Urpin, V.**, 1998, The strong magnetic fields of the X-ray pulsars Hercules X-1 and 4U 1626-67 and their evolutionary scenarios, *MNRAS*, 301(1), 175–178, doi:10.1046/j.1365-8711.1998.02030.x.

Kopal, Z., 1955, The classification of close binary systems, *Annales d'Astrophysique*, 18, 379.

Kraft, R.P., 1967, Studies of Stellar Rotation. V. The Dependence of Rotation on Age among Solar-Type Stars, *ApJ*, 150, 551, doi:10.1086/149359.

Kreiner, J.M., **Kim, C.H.**, and **Nha, I.S.**, 2001, *An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars*.

Küker, M. and **Stix, M.**, 2001, Differential rotation of the present and the pre-main-sequence Sun, *Astronomy and Astrophysics*, 366, 668–675, doi:10.1051/0004-6361:20010009.

Lamers, H.J.G.L.M., 1981, Mass loss from O and B stars., *ApJ*, 245, 593–608, doi:10.1086/158835.

Lanza, A.F., 2010, Stellar magnetic cycles, in A.G. Kosovichev, A.H. Andrei, and J.P. Rozelot, editors, *Solar and Stellar Variability: Impact on Earth and Planets*, volume 264, pages 120–129, doi:10.1017/S1743921309992523.

Law, N.M., **Kulkarni, S.R.**, **Dekany, R.G.**, and **et al.**, 2009, The Palomar Transient Factory: System Overview, Performance, and First Results, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 121(886), 1395, doi:10.1086/648598.

Laycock, S., **Tang, S.**, **Grindlay, J.**, **Los, E.**, **Simcoe, R.**, and **Mink, D.**, 2010, Digital Access to a Sky Century at Harvard: Initial Photometry and Astrometry, *AJ*, 140(4), 1062–1077, doi:10.1088/0004-6256/140/4/1062.

Lazaro, C. and **Arevalo, M.J.**, 1997, Time-Resolved Spectroscopy of RS CVn Short-Period Systems.I.CG CYG, BH VIR, and ER VUL, *AJ*, 113, 2283, doi:10.1086/118439.

Leahy, D.A. and **Marshall, H.**, 1999, Extreme-Ultraviolet Explorer Observations of Hercules X-1 at the End of the Short High State, *ApJ*, 521(1), 328–331, doi:10.1086/307540.

Leahy, D.A. and **Scott, D.M.**, 1998, Evidence for Subsynchronous Rotation in HZ Herculis/Hercules X-1, *ApJL*, 503(1), L63–L65, doi:10.1086/311535.

Leighton, R.B., 1964, Transport of Magnetic Fields on the Sun., *ApJ*, 140, 1547, doi:10.1086/148058.

Lenz, P. and **Breger, M.**, 2005, Period04 User Guide, *Communications in Asteroseismology*, 146, 53–136, doi:10.1553/cia146s53.

Lesaffre, P., **Han, Z.**, **Tout, C.A.**, **Podsiadlowski, P.**, and **Martin, R.G.**, 2006, The C flash and the ignition conditions of Type Ia supernovae, *MNRAS*, 368(1), 187–195, doi:10.1111/j.1365-2966.2006.10068.x.

Levine, A.M., **Bradt, H.**, **Cui, W.**, **Jernigan, J.G.**, **Morgan, E.H.**, **Remillard, R.**, **Shirey, R.E.**, and **Smith, D.A.**, 1996, First Results from the All-Sky Monitor on the Rossi X-Ray Timing Explorer, *Astrophysical Journal Letters*, 469, L33, doi:10.1086/310260.

Li, Q., **Zhang, X.**, and **Zhang, R.**, 1989, Photoelectric Light Curves and Minimum Times of XY UMa, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3374, 1.

Lin, D., **Remillard, R.A.**, and **Homan, J.**, 2007, Evaluating Spectral Models and the X-Ray States of Neutron Star X-Ray Transients, *ApJ*, 667(2), 1073–1086, doi:10.1086/521181.

Lin, J., **Rappaport, S.**, **Podsiadlowski, P.**, **Nelson, L.**, **Paxton, B.**, and **Todorov, P.**, 2011, LMXB and IMXB Evolution: I. The Binary Radio Pulsar PSR J1614-2230, *ApJ*, 732(2), 70, doi:10.1088/0004-637X/732/2/70.

Linares, M., **Casares, J.**, **Rodriguez-Gil, P.**, and **Shahbaz, T.**, 2014, PSR J1023+0038: phase-resolved optical spectroscopy and continued X-ray activity, *The Astronomer's Telegram*, 5868, 1.

Lindegren, L., **Klioner, S.A.**, **Hernández, J.**, and **et al.**, 2021, Gaia Early Data Release 3. The astrometric solution, *Astronomy & Astrophysics*, 649, A2, doi:10.1051/0004-6361/202039709.

Linsky, J.L. and **Gary, D.E.**, 1983, Microwave emission from the coronae of late-type dwarf stars., *ApJ*, 274, 776–783, doi:10.1086/161490.

Lister, T.A., **Collier Cameron, A.**, and **Hilditch, R.W.**, 2001, Starspot distributions on XY UMa during 1997-2000 from eclipse mapping, *MNRAS*, 326(4), 1489–1498, doi:10.1111/j.1365-2966.2001.04712.x.

Liu, Q.Z., **van Paradijs, J.**, and **van den Heuvel, E.P.J.**, 2006, Catalogue of high-mass X-ray binaries in the Galaxy (4th edition), *Astronomy and Astrophysics*, 455(3), 1165–1168, doi:10.1051/0004-6361:20064987.

Liu, Q.Z., **van Paradijs, J.**, and **van den Heuvel, E.P.J.**, 2007, A catalogue of low-mass X-ray binaries in the Galaxy, LMC, and SMC (Fourth edition), *Astronomy and Astrophysics*, 469(2), 807–810, doi:10.1051/0004-6361:20077303.

Lorimer, D.R., 2008, Binary and Millisecond Pulsars, *Living Reviews in Relativity*, 11(1), 8, doi:10.12942/lrr-2008-8.

Lucy, L.B., 1967, Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes, *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89.

Lucy, L.B., 1968, The Light Curves of W Ursae Majoris Stars, *ApJ*, 153, 877, doi:10.1086/149712.

Lurie, J.C., **Vyhmeister, K.**, **Hawley, S.L.**, **Adilia, J.**, **Chen, A.**, **Davenport, J.R.A.**, **Jurić, M.**, **Puig-Holzman, M.**, and **Weisenburger, K.L.**, 2017, Tidal Synchronization and Differential Rotation of Kepler Eclipsing Binaries, *AJ*, 154(6), 250, doi:10.3847/1538-3881/aa974d.

Lyutyj, V.M., 1972, Photoelectric U, B, V observations of X-ray sources. I. Cyg X-1 = V1357 Cyg, Her X-1 = HZ Her, Sco X-1 = V818 Sco., *Peremennye Zvezdy*, 18, 417–424.

Ma, B. and **Li, X.D.**, 2009, The Bifurcation Periods in Low-Mass X-Ray Binaries: The Effect of Magnetic Braking and Mass Loss, *ApJ*, 691(2), 1611–1617, doi:10.1088/0004-637X/691/2/1611.

Ma, X., **Hopkins, P.F.**, **Kasen, D.**, **Quataert, E.**, **Faucher-Giguère, C.A.**, **Kereš, D.**, **Murray, N.**, and **Strom, A.**, 2016, Binary stars can provide the 'missing photons' needed for reionization, *MNRAS*, 459(4), 3614–3619, doi:10.1093/mnras/stw941.

Maccarone, T.J., **Chomiuk, L.**, **Strader, J.**, **Miller-Jones, J.**, and **Sivakoff, G.**, 2018, Revealing the Galactic Population of Black Holes, in E. Murphy, editor, *Science with a Next Generation Very Large Array*, volume 517 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 711, doi:10.48550/arXiv.1806.07270.

Maccarone, T.J., 2005, Using radio emission to detect isolated and quiescent accreting black holes, *MNRAS*, 360(1), L30–L34, doi:10.1111/j.1745-3933.2005.00039.x.

Maccarone, T.J., **Degenaar, N.**, **Tetarenko, B.E.**, **Heinke, C.O.**, **Wijnands, R.**, and **Sivakoff, G.R.**, 2022, On the recurrence times of neutron star X-ray binary transients and the nature of the Galactic Centre quiescent X-ray binaries, *MNRAS*, 512(2), 2365–2370, doi:10.1093/mnras/stac506.

Maeder, A., 1987, Evidences for a bifurcation in massive star evolution. The ON-blue stragglers., *Astronomy and Astrophysics*, 178, 159–169.

Magaudda, E., **Stelzer, B.**, and **Raetz, S.**, 2022, First eROSITA-TESS results for M dwarfs: Mass dependence of the X-ray activity rotation relation and an assessment of sensitivity limits, *Astronomische Nachrichten*, 343(8), e20220049, doi:10.1002/asna.20220049.

Maggio, A., **Sciortino, S.**, **Vaiana, G.S.**, **Majer, P.**, **Bookbinder, J.**, **Golub, L.**, **Harnden, F. R., J.**, and **Rosner, R.**, 1987, Einstein Observatory Survey of X-Ray Emission from Solar-Type Stars: The Late F and G Dwarf Stars, *ApJ*, 315, 687, doi:10.1086/165170.

Manchester, R.N., 2017, Millisecond Pulsars, their Evolution and Applications, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 38(3), 42, doi:10.1007/s12036-017-9469-2.

Mancuso, S., **Milano, L.**, and **Russo, G.**, 1979a, Photoelectric observations of the eclipsing binary RT And., *Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser.*, 36, 415–422.

Mancuso, S., **Milano, L.**, **Russo, G.**, and **Sollazzo, C.**, 1979b, Light Curve Analysis of the Short Period Eclipsing Binary Rt-Andromedae, *Astrophysics and Space Science*, 66(2), 475–486, doi:10.1007/BF00650019.

Mancuso, S., **Milano, L.**, **Russo, G.**, and **Sollazzo, C.**, 1979c, Three-colour photometric observations of RT And., *Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser.*, 38, 187–191.

Manzoori, D., 2009, Cyclic Variations of Orbital Period and Long-Term Luminosity in Close Binary RT Andromedae, *AJ*, 138(6), 1917–1924, doi:10.1088/0004-6256/138/6/1917.

Marchant, P., 2017, *The impact of tides and mass transfer on the evolution of metal-poor massive binary stars*, Ph.D. thesis, Rheinische Friedrich Wilhelms University of Bonn, Germany.

Martínez, C.I., **Mauas, P.J.D.**, and **Buccino, A.P.**, 2022, Activity cycles in RS CVn-type stars, *MNRAS*, 512(4), 4835–4845, doi:10.1093/mnras/stac755.

Mas-Hesse, J.M., **Giménez, A.**, **Culhane, J.L.**, and **et al.**, 2003, OMC: An Optical Monitoring Camera for INTEGRAL. Instrument description and

performance, *Astronomy and Astrophysics*, 411, L261–L268, doi:10.1051/0004-6361:20031418.

Mason, K.O., **Breeveld, A.**, **Much, R.**, and **et al.**, 2001, The XMM-Newton optical/UV monitor telescope, *Astronomy and Astrophysics*, 365, L36–L44, doi:10.1051/0004-6361:20000044.

Mata Sanchez, D., **Munoz-Darias, T.**, **Casares, J.**, **Steeghs, D.**, **Ramos Almeida, C.**, and **Acosta Pulido, J.A.**, 2015, Mass constraints to Sco X-1 from Bowen fluorescence and deep near-infrared spectroscopy., *MNRAS*, 449, L1–L5, doi:10.1093/mnrasl/slv002.

Matsuoka, M. and **Kawasaki, e.**, 2009, The MAXI Mission on the ISS: Science and Instruments for Monitoring All-Sky X-Ray Images, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 61, 999, doi:10.1093/pasj/61.5.999.

Matt, S.P., **Brun, A.S.**, **Baraffe, I.**, **Bouvier, J.**, and **Chabrier, G.**, 2015, The Mass-dependence of Angular Momentum Evolution in Sun-like Stars, *ApJL*, 799(2), L23, doi:10.1088/2041-8205/799/2/L23.

Mazeh, T., 2008, Observational Evidence for Tidal Interaction in Close Binary Systems, in M.J. Goupil and J.P. Zahn, editors, *EAS Publications Series*, volume 29 of *EAS Publications Series*, pages 1–65, doi:10.1051/eas:0829001.

Meibom, S. and **Mathieu, R.D.**, 2005, A Robust Measure of Tidal Circularization in Coeval Binary Populations: The Solar-Type Spectroscopic Binary Population in the Open Cluster M35, *ApJ*, 620(2), 970–983, doi:10.1086/427082.

Mestel, L., 1968, Magnetic braking by a stellar wind-I, *MNRAS*, 138, 359, doi:10.1093/mnras/138.3.359.

Mestel, L. and **Weiss, N.O.**, 1987, Magnetic fields and non-uniform rotation in stellar radiatives zones., *MNRAS*, 226, 123–135, doi:10.1093/mnras/226.1.123.

Micela, G., **Sciortino, S.**, **Serio, S.**, **Vaiana, G.S.**, **Golub, L.**, **Harnden, F.R.**, and **Rosner, R.**, 1984, X-Ray Survey of the Pleiades - Dependence of X-Ray Luminosity on Stellar Age, in A. Maeder and A. Renzini, editors, *Observational Tests of the Stellar Evolution Theory*, volume 105, page 101.

Middleditch, J. and **Nelson, J.**, 1976, Studies of optical pulsations from HZ Herculis/Hercules X-1: a determination of the mass of the neutron star., *ApJ*, 208, 567–586, doi:10.1086/154638.

Milano, L., **Mancuso, S.**, **Vittone, A.**, **Dorsi, A.**, and **Marcozzi, S.**, 1986, Observed Photometric Peculiarities of Six Eclipsing Binaries with Solar-Type Activity - Part One, *Astrophysics and Space Science*, 124(1), 83–100, doi:10.1007/BF00649751.

Miliano, L., **Russo, G.**, and **Mancuso, S.**, 1981, The variable lightcurves of RT AND., *Astronomy and Astrophysics*, 103, 57–62.

Miller, A., **Kounkel, M.**, **Sun, M.**, **Dixon, D.**, **Boggio, C.**, **Covey, K.R.**, **Stassun, K.G.**, and **Mathieu, R.**, 2021, 2M17091769+3127589: A Mass-transfer Binary with an Extreme Mass Ratio, *AJ*, 162(4), 131, doi:10.3847/1538-3881/ac1788.

Milliman, K.E., **Mathieu, R.D.**, and **Schuler, S.C.**, 2015, Barium Surface Abundances of Blue Stragglers in the Open Cluster NGC 6819, *AJ*, 150(3), 84, doi:10.1088/0004-6256/150/3/84.

Milone, E.F., **Castle, K.G.**, **Robb, R.M.**, **Swadron, D.**, **Burke, E.W.**, **Hall, D.S.**, **Michlovic, J.E.**, and **Zissell, R.E.**, 1979, The changing light curves of CG Cygni., *AJ*, 84, 417–428, doi:10.1086/112436.

Milone, E.F. and **Ziebarth, K.E.**, 1974, Evidence for a Period Change in CG Cygni, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 86(513), 684, doi:10.1086/129666.

Mirabel, I.F. and **Rodríguez, L.F.**, 1999, Sources of Relativistic Jets in

the Galaxy, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 37, 409–443, doi:10.1146/annurev.astro.37.1.409.

Moe, M. and **Di Stefano, R.**, 2017, Mind Your Ps and Qs: The Interrelation between Period (P) and Mass-ratio (Q) Distributions of Binary Stars, *ApJS*, 230(2), 15, doi:10.3847/1538-4365/aa6fb6.

Mohamed, S. and **Podsiadlowski, P.**, 2007, Wind Roche-Lobe Overflow: a New Mass-Transfer Mode for Wide Binaries, in R. Napiwotzki and M.R. Burleigh, editors, *15th European Workshop on White Dwarfs*, volume 372 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 397.

Morales, J.C., **Torres, G.**, **Marschall, L.A.**, and **Brehm, W.**, 2009, Absolute Dimensions of the G7+K7 Eclipsing Binary Star IM Virginis: Discrepancies with Stellar Evolution Models, *ApJ*, 707(1), 671–685, doi:10.1088/0004-637X/707/1/671.

Morin, J., **Donati, J.F.**, **Petit, P.**, **Delfosse, X.**, **Forveille, T.**, and **et al.**, 2008, Large-scale magnetic topologies of mid M dwarfs, *MNRAS*, 390(2), 567–581, doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13809.x.

Morrison, P., 1967, Extrasolar X-Ray Sources, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 5, 325, doi:10.1146/annurev.aa.05.090167.001545.

Murnikova, V.P. and **Lemeshchenko, N.D.**, 1981, Photoelectric observations of RT Andromedae in 1973., *Peremennye Zvezdy*, 21, 593–598.

Naftilan, S.A. and **Milone, E.F.**, 1979, A spectroscopic study of the close binary CG Cygni., *AJ*, 84, 1218–1222, doi:10.1086/112531.

Naftilan, S.A. and **Milone, E.F.**, 1985, Light-curve solution and interpretation for CG Cygni., *AJ*, 90, 761–766, doi:10.1086/113784.

Naftilan, S.A., **Grillmair, C.**, and **Trager, G.**, 1987, Recent Photometry of CG Cygni, *AJ*, 93, 210, doi:10.1086/114301.

Nakar, E., 2007, Short-hard gamma-ray bursts, *Physics Reports*, 442(1-6), 166–236, doi:10.1016/j.physrep.2007.02.005.

Nanouris, N., **Kalimeris, A.**, and **Antonopoulou, E.**, 2007, An investigation of the tidally driven period changes in detached binary systems through O-C time series analysis: the case of RT And and WY Cnc, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 26(4), 245–250, doi:10.1080/10556790701300587.

Nelson, C.A. and **Eggleton, P.P.**, 2001, A Complete Survey of Case A Binary Evolution with Comparison to Observed Algol-type Systems, *ApJ*, 552(2), 664–678, doi:10.1086/320560.

Nelson, R.H., 2020, CCD Minima for Selected Eclipsing Binaries in 2019, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 48(2), 169.

Nelson, R.H., 2021, CCD Minima for Selected Eclipsing Binaries in 2020, *Open European Journal on Variable Stars*, 212, 1–8, doi:10.5817/OEJV2021-0212.

Nelson, R.H., 2019, CCD Minima for Selected Eclipsing Binaries in 2018, *Information Bulletin on Variable Stars*, 6262, 1, doi:10.22444/IBVS.6262.

Noyes, R.W., **Hartmann, L.W.**, **Baliunas, S.L.**, **Duncan, D.K.**, and **Vaughan, A.H.**, 1984a, Rotation, convection, and magnetic activity in lower main-sequence stars., *ApJ*, 279, 763–777, doi:10.1086/161945.

Noyes, R.W., **Weiss, N.O.**, and **Vaughan, A.H.**, 1984b, The relation between stellar rotation rate and activity cycle periods., *ApJ*, 287, 769–773, doi:10.1086/162735.

Özel, F. and **Freire, P.**, 2016, Masses, Radii, and the Equation of State of Neutron Stars, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 54, 401–440, doi:10.1146/annurev-astro-081915-023322.

Özel, F., **Psaltis, D.**, **Narayan, R.**, and **McClintock, J.E.**, 2010, The Black Hole Mass Distribution in the Galaxy, *ApJ*, 725(2), 1918–1927, doi:10.1088/0004-637X/725/2/1918.

Özeren, F.F., **Gunn, A.G.**, **Doyle, J.G.**, and **Jevremović, D.**, 2001, A spectroscopic study of the eclipsing binaries SV Camelopardalis and XY Ursae Majoris, *Astronomy and Astrophysics*, 366, 202–209, doi:10.1051/0004-6361:20000232.

Pallavicini, R., **Golub, L.**, **Rosner, R.**, **Vaiana, G.S.**, **Ayres, T.**, and **Linsky, J.L.**, 1981, Relations among stellar X-ray emission observed from Einstein, stellar rotation and bolometric luminosity., *ApJ*, 248, 279–290, doi:10.1086/159152.

Parker, E.N., 1970, The Origin of Solar Magnetic Fields, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 8, 1, doi:10.1146/annurev.aa.08.090170.000245.

Parker, E.N., 1955, Hydromagnetic Dynamo Models., *ApJ*, 122, 293, doi:10.1086/146087.

Paschke, A., 2021, a List of Minima and Maxima Timings, *BAV Journal*, 055(55), 1.

Patruno, A., **Archibald, A.M.**, **Hessels, J.W.T.**, **Bogdanov, S.**, **Stappers, B.W.**, and **et al.**, 2014, A New Accretion Disk around the Missing Link Binary System PSR J1023+0038, *ApJL*, 781(1), L3, doi:10.1088/2041-8205/781/1/L3.

Paul, B., 2017, Neutron Stars in X-ray Binaries and their Environments, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 38(3), 39, doi:10.1007/s12036-017-9475-4.

Pavlovskii, K. and **Ivanova, N.**, 2016, Mass transfer and magnetic braking in Sco X-1, *MNRAS*, 456(1), 263–269, doi:10.1093/mnras/stv2685.

Paxton, B., 2004, EZ to Evolve ZAMS Stars: A Program Derived from Eggleton's Stellar Evolution Code, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116(821), 699–701, doi:10.1086/422345.

Paxton, B., **Bildsten, L.**, **Dotter, A.**, **Herwig, F.**, **Lesaffre, P.**, and **Timmes, F.**, 2010, MESA: Modules for Experiments in Stellar Astrophysics, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1010.083.

Paxton, B., **Bildsten, L.**, **Dotter, A.**, **Herwig, F.**, **Lesaffre, P.**, and **Timmes, F.**, 2011, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA), *ApJS*, 192(1), 3, doi:10.1088/0067-0049/192/1/3.

Paxton, B., **Cantiello, M.**, **Arras, P.**, **Bildsten, L.**, **Brown, E.F.**, and **et al.**, 2013, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars, *ApJS*, 208(1), 4, doi:10.1088/0067-0049/208/1/4.

Paxton, B., **Marchant, P.**, **Schwab, J.**, **Bauer, E.B.**, **Bildsten, L.**, and **et al.**, 2015, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Binaries, Pulsations, and Explosions, *ApJS*, 220(1), 15, doi:10.1088/0067-0049/220/1/15.

Paxton, B., **Schwab, J.**, **Bauer, E.B.**, **Bildsten, L.**, **Blinnikov, S.**, and **et al.**, 2018, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Convective Boundaries, Element Diffusion, and Massive Star Explosions, *ApJS*, 234(2), 34, doi:10.3847/1538-4365/aaa5a8.

Paxton, B., **Smolec, R.**, **Schwab, J.**, **Gautschy, A.**, **Bildsten, L.**, and **et al.**, 2019, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Pulsating Variable Stars, Rotation, Convective Boundaries, and Energy Conservation, *ApJS*, 243(1), 10, doi:10.3847/1538-4365/ab2241.

Payne-Gaposchkin, C., 1946, The Eclipsing Star RT Andromedae., *ApJ*, 103, 291, doi:10.1086/144811.

Petrovic, J., **Langer, N.**, and **van der Hucht, K.A.**, 2005, Constraining the mass transfer in massive binaries through progenitor evolution models of Wolf-Rayet+O binaries, *Astronomy and Astrophysics*, 435(3), 1013–1030, doi:10.1051/0004-6361:20042368.

Pizzolato, N., **Maggio, A.**, **Micela, G.**, **Sciortino, S.**, and **Ventura, P.**, 2003, The stellar activity-rotation relationship revisited: Dependence of saturated and non-saturated X-ray emission regimes on stellar mass for late-type dwarfs, *Astronomy and Astrophysics*, 397, 147–157, doi:10.1051/0004-6361:20021560.

Podsiadlowski, P., **Rappaport, S.**, and **Pfahl, E.D.**, 2002, Evolutionary Sequences for Low- and Intermediate-Mass X-Ray Binaries, *ApJ*, 565(2), 1107–1133, doi:10.1086/324686.

Pojmanski, G., 1998, Orbital Solutions for Three RS CVn Systems: WY Cnc, SV Cam and XY UMa, *Acta Astronomica*, 48, 711–727.

Pojmanski, G., 2002, The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0 h - 6 hQuarter of the Southern Hemisphere, *Acta Astronomica*, 52, 397–427, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/0210283.

Pojmanski, G. and **Geyer, E.H.**, 1990, The period behaviour of the spotted binary XY UMa., *Acta Astron.*, 40, 245.

Pollacco, D.L., **Skillen, I.**, **Collier Cameron, A.**, **Christian, D.J.**, **Hellier, C.**, and **et al.**, 2006, The WASP Project and the SuperWASP Cameras, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118(848), 1407–1418, doi:10.1086/508556.

Pols, O.R., **Tout, C.A.**, **Schroder, K.P.**, **Eggleton, P.P.**, and **Manners, J.**, 1997, Further critical tests of stellar evolution by means of double-lined eclipsing binaries, *MNRAS*, 289(4), 869–881, doi:10.1093/mnras/289.4.869.

Popov, S.B., 2023, High magnetic field neutron stars and magnetars in binary systems, *IAU Symposium*, 363, 61–71, doi:10.1017/S1743921322000308.

Popper, D.M., 1994, Orbits of Detached Main-Sequence Eclipsing Binaries of Types Late F to K. I. RT Andromedae and CG Cygni, *AJ*, 108, 1091, doi:10.1086/117136.

Popper, D.M., 1998, HIPPARCOS Parallaxes of Eclipsing Binaries and the Radiative Flux Scale, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 110(750), 919–922, doi:10.1086/316204.

Pribulla, T., **Baludansky, D.**, **Chochol, D.**, **Chrastina, M.**, **Parimucha, S.**, **Petrik, K.**, **Szasz, G.**, **Vanko, M.**, and **Zboril, M.**, 2005, New Minima of Selected Eclipsing Close Binaries, *Information Bulletin on Variable Stars*, 5668, 1.

Pribulla, T., **Chochol, D.**, **Heckert, P.A.**, **Errico, L.**, **Vittone, A.A.**, **Parimucha, Š.**, and **Teodorani, M.**, 2001a, An active binary XY UMa revisited, *Astronomy and Astrophysics*, 371, 997–1011, doi:10.1051/0004-6361:20010459.

Pribulla, T., **Chochol, D.**, **Milano, L.**, **Errico, L.**, **Vittone, A.A.**, **Barone, F.**, and **Parimucha, Š.**, 2000, Active eclipsing binary RT Andromedae revisited, *Astronomy and Astrophysics*, 362, 169–188.

Pribulla, T., **Chochol, D.**, **Parimucha, S.**, **Rovithis, P.**, **Rovithis-Livaniou, H.**, and **Tremko, J.**, 2001b, Photoelectric Monitoring of Active Close Binaries, *Odessa Astronomical Publications*, 14, 69–73.

Pribulla, T., **Chochol, D.**, and **Vittone, A.A.**, 2003, Short-period Active Binaries—Retrospect and Prospects, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics Supplement*, 3, 361–366, doi:10.1088/1009-9271/3/S1/361.

Pribulla, T., **Vanko, M.**, **Parimucha, S.**, and **Chochol, D.**, 2001c, New Photoelectric Minima and Updated Ephemerides of Selected Eclipsing Binaries, *Information Bulletin on Variable Stars*, 5056, 1.

Pribulla, T., **Rucinski, S.M.**, **Conidis, G.**, **DeBond, H.**, **Thomson,**

J.R., **Gazeas, K.**, and **Ogłoza, W.**, 2007, Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. XII., *AJ*, 133(5), 1977–1987, doi:10.1086/512772.

Prša, A. and **Zwitter, T.**, 2005, A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives, *ApJ*, 628(1), 426–438, doi:10.1086/430591.

Quintin, J. and **Nelson, L.**, 2013, X-Ray Binary Evolution: The Effects of Self-Induced Irradiation, in *American Astronomical Society Meeting Abstracts #221*, volume 221 of *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, page 202.05.

Rahmati, A., **Larson, D.E.**, **Cravens, T.E.**, **Lillis, R.J.**, **Lee, C.O.**, and **Dunn, P.A.**, 2020, MAVEN SEP Observations of Scorpius X-1 X-Rays at Mars: A Midatmosphere Occultation Analysis Technique, *Geophysical Research Letters*, 47(21), e88927, doi:10.1029/2020GL088927.

Rainger, P.P., **Hilditch, R.W.**, and **Edwin, R.P.**, 1991, Spectroscopic observations of the RS CVn-type binary systems SV Cam and XY UMa., *MNRAS*, 248, 168, doi:10.1093/mnras/248.1.168.

Randich, S., 2000, Coronal activity among open cluster stars, in R. Pallavicini, G. Micela, and S. Sciortino, editors, *Stellar Clusters and Associations: Convection, Rotation, and Dynamos*, volume 198 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 401, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/9909139.

Rappaport, S., **Verbunt, F.**, and **Joss, P.C.**, 1983, A new technique for calculations of binary stellar evolution application to magnetic braking., *ApJ*, 275, 713–731, doi:10.1086/161569.

Reig, P., **Negueruela, I.**, **Papamastorakis, G.**, **Manousakis, A.**, and **Kougentakis, T.**, 2005, Identification of the optical counterparts of high-mass X-ray binaries through optical photometry and spectroscopy, *Astronomy and Astrophysics*, 440(2), 637–646, doi:10.1051/0004-6361:20052684.

Reig, P., **Słowikowska, A.**, **Zezas, A.**, and **Blay, P.**, 2010, Correlated optical/X-ray variability in the high-mass X-ray binary SAX J2103.5+4545, *MNRAS*, 401(1), 55–66, doi:10.1111/j.1365-2966.2009.15656.x.

Reig, P., 2011, Be/X-ray binaries, *Astrophysics and Space Science*, 332(1), 1–29, doi:10.1007/s10509-010-0575-8.

Reimers, D., 1975, Circumstellar absorption lines and mass loss from red giants., *Memoires of the Societe Royale des Sciences de Liege*, 8, 369–382.

Reiners, A., 2006, Rotation- and temperature-dependence of stellar latitudinal differential rotation, *Astronomy and Astrophysics*, 446(1), 267–277, doi:10.1051/0004-6361:20053911.

Reiners, A., 2012, Observations of Cool-Star Magnetic Fields, *Living Reviews in Solar Physics*, 9(1), 1, doi:10.12942/lrsp-2012-1.

Reiners, A. and **Mohanty, S.**, 2012, Radius-dependent Angular Momentum Evolution in Low-mass Stars. I, *ApJ*, 746(1), 43, doi:10.1088/0004-637X/746/1/43.

Rempel, M., 2006, Flux-Transport Dynamos with Lorentz Force Feedback on Differential Rotation and Meridional Flow: Saturation Mechanism and Torsional Oscillations, *ApJ*, 647(1), 662–675, doi:10.1086/505170.

Réville, V., **Brun, A.S.**, **Matt, S.P.**, **Strugarek, A.**, and **Pinto, R.F.**, 2015, The Effect of Magnetic Topology on Thermally Driven Wind: Toward a General Formulation of the Braking Law, *ApJ*, 798(2), 116, doi:10.1088/0004-637X/798/2/116.

Reynolds, A.P., **Quaintrell, H.**, **Still, M.D.**, **Roche, P.**, **Chakrabarty, D.**, and **Levine, S.E.**, 1997, A new mass estimate for Hercules X-1, *MNRAS*, 288(1), 43–52, doi:10.1093/mnras/288.1.43.

Ricker, G.R., **Winn, J.N.**, **Vanderspek, R.**, and **et al.**, 2015, Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003, doi:10.1117/1.JATIS.1.1.014003.

Ridden-Harper, R., **Tucker, B.E.**, **Gully-Santiago, M.**, **Barentsen, G.**, **Rest, A.**, **Garnavich, P.**, and **Shaya, E.**, 2020, K2: Background Survey - the search for undiscovered transients in Kepler/K2 data, *MNRAS*, 498(1), 33–43, doi:10.1093/mnras/staa2247.

Ritter, H., 1988, Turning on and off mass transfer in cataclysmic binaries., *Astronomy and Astrophysics*, 202, 93–100.

Ruciński, S.M., 1969, The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes, *Acta Astronomica*, 19, 245.

Saar, S.H. and **Baliunas, S.L.**, 1992, Recent Advances in Stellar Cycle Research, in K.L. Harvey, editor, *The Solar Cycle*, volume 27 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pages 150–167.

Saar, S.H. and **Brandenburg, A.**, 1999, Time Evolution of the Magnetic Activity Cycle Period. II. Results for an Expanded Stellar Sample, *ApJ*, 524(1), 295–310, doi:10.1086/307794.

Samolyk, G., 2009, Recent Minima of 154 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 37(1), 44.

Samolyk, G., 2010, Recent CCD Minima of 185 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 38(2), 183.

Samolyk, G., 2011, Recent Minima of 146 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 39(2), 177.

Samolyk, G., 2020, Recent Minima of 216 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 48(1), 87.

Samolyk, G., 2021a, Recent Minima of 218 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 49(2), 265.

Samolyk, G., 2021b, Recent Minima of 225 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 49(1), 108.

Samolyk, G., 2022, Recent Minima of 227 Eclipsing Binary Stars, *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 50(1), 133.

Sana, H., **de Mink, S.E.**, **de Koter, A.**, **Langer, N.**, **Evans, C.J.**, and **et al.**, 2012, Binary Interaction Dominates the Evolution of Massive Stars, *Science*, 337(6093), 444, doi:10.1126/science.1223344.

Schatzman, E., 1962, A theory of the role of magnetic activity during star formation, *Annales d'Astrophysique*, 25, 18.

Schmalz, S. and **Stix, M.**, 1991, An alpha-Omega dynamo with order and chaos, *Astronomy and Astrophysics*, 245(2), 654–661.

Schneider, R., **Ferrari, V.**, **Matarrese, S.**, and **Portegies Zwart, S.F.**, 2001, Low-frequency gravitational waves from cosmological compact binaries, *MNRAS*, 324(4), 797–810, doi:10.1046/j.1365-8711.2001.04217.x.

Schou, J., **Antia, H.M.**, **Basu, S.**, **Bogart, R.S.**, **Bush, R.I.**, and **et al.**, 1998, Helioseismic Studies of Differential Rotation in the Solar Envelope by the Solar Oscillations Investigation Using the Michelson Doppler Imager, *ApJ*, 505(1), 390–417, doi:10.1086/306146.

Scott, D.M., **Leahy, D.A.**, and **Wilson, R.B.**, 2000, The 35 Day Evolution of the Hercules X-1 Pulse Profile: Evidence for a Resolved Inner Disk Occultation of the Neutron Star, *ApJ*, 539(1), 392–412, doi:10.1086/309203.

Sengar, R., **Tauris, T.M.**, **Langer, N.**, and **Istrate, A.G.**, 2017, Novel modelling of ultracompact X-ray binary evolution - stable mass transfer from white dwarfs to neutron stars, *MNRAS*, 470(1), L6–L10, doi:10.1093/mnrasl/slx064.

Shahbaz, T., **Linares, M.**, **Nevado, S.P.**, **Rodríguez-Gil, P.**, **Casares, J.**, and **et al.**, 2015, The binary millisecond pulsar PSR J1023+0038 during its accretion state - I. Optical variability, *MNRAS*, 453(4), 3461–3473, doi:10.1093/mnras/stv1686.

Shakura, N.I., **Smirnov, A.V.**, and **Ketsaris, N.A.**, 1997, UBV-Photometry and 35-day Cycle Model for X-ray Binary HZ Her/Her X-1, in D.T. Wickramasinghe, G.V. Bicknell, and L. Ferrario, editors, *IAU Colloq. 163: Accretion Phenomena and Related Outflows*, volume 121 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 379.

Shappee, B.J., **Prieto, J.L.**, **Grupe, D.**, and **et al.**, 2014, The Man behind the Curtain: X-Rays Drive the UV through NIR Variability in the 2013 Active Galactic Nucleus Outburst in NGC 2617, *ApJ*, 788(1), 48, doi:10.1088/0004-637X/788/1/48.

Shi, X.M., **Xiang, F.Y.**, and **Lu, Y.**, 2012, Orbital Period Investigation of the RS CVn-Type Binary CG Cygni, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 64, 121, doi:10.1093/pasj/64.6.121.

Singh, G. and **Pandey, J.C.**, 2022, An X-Ray Study of Coronally Connected Active Eclipsing Binaries, *ApJ*, 934(1), 20, doi:10.3847/1538-4357/ac7716.

Singh, K.P., **Drake, S.A.**, and **White, N.E.**, 1996, RS CVn Versus Algol-Type Binaries: A Comparative Study of Their X-Ray Emission, *AJ*, 111, 2415, doi:10.1086/117975.

Skumanich, A., 1972, Time Scales for Ca II Emission Decay, Rotational Braking, and Lithium Depletion, *ApJ*, 171, 565, doi:10.1086/151310.

Soberman, G.E., **Phinney, E.S.**, and **van den Heuvel, E.P.J.**, 1997, Stability criteria for mass transfer in binary stellar evolution., *Astronomy and Astrophysics*, 327, 620–635, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/9703016.

Soethe, L.T.T. and **Kepler, S.O.**, 2021, Convection and rotation boosted prescription of magnetic braking: application to the formation of extremely low-mass white dwarfs, *MNRAS*, 506(3), 3266–3281, doi:10.1093/mnras/stab1916.

Somers, G., **Cao, L.**, and **Pinsonneault, M.H.**, 2020, The SPOTS Models: A Grid of Theoretical Stellar Evolution Tracks and Isochrones for Testing

the Effects of Starspots on Structure and Colors, *ApJ*, 891(1), 29, doi:10.3847/1538-4357/ab722e.

Sowell, J.R., **Hughes, S.B.**, **Hall, D.S.**, and **Howard, B.A.**, 2001, Period Changes in Four Short-Period Spotted Binaries: UV Piscium, YY Geminorum, CG Cygni, and XY Ursae Majoris, *AJ*, 122(4), 1965–1973, doi:10.1086/323091.

Sowell, J.R., **Wilson, J.W.**, **Hall, D.S.**, and **Peyman, P.E.**, 1987, CG Cygni : solutions of 1979 and 1980 light curves., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 99, 407–419, doi:10.1086/131997.

Spada, F., **Demarque, P.**, **Kim, Y.C.**, and **Sills, A.**, 2013, The Radius Discrepancy in Low-mass Stars: Single versus Binaries, *ApJ*, 776(2), 87, doi:10.1088/0004-637X/776/2/87.

Spruit, H.C., 2002, Dynamo action by differential rotation in a stably stratified stellar interior, *Astronomy and Astrophysics*, 381, 923–932, doi:10.1051/0004-6361:20011465.

Stancliffe, R.J. and **Eldridge, J.J.**, 2009, Modelling the binary progenitor of Supernova 1993J, *MNRAS*, 396(3), 1699–1708, doi:10.1111/j.1365-2966.2009.14849.x.

Stancliffe, R.J. and **Glebbeek, E.**, 2008, Thermohaline mixing and gravitational settling in carbon-enhanced metal-poor stars, *MNRAS*, 389(4), 1828–1838, doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13700.x.

Stanway, E.R., **Eldridge, J.J.**, and **Becker, G.D.**, 2016, Stellar population effects on the inferred photon density at reionization, *MNRAS*, 456(1), 485–499, doi:10.1093/mnras/stv2661.

Stappers, B.W., **Archibald, A.M.**, **Hessels, J.W.T.**, **Bassa, C.G.**, **Bogdanov, S.**, and **et al.**, 2014, A State Change in the Missing Link Binary Pulsar System PSR J1023+0038, *ApJ*, 790(1), 39, doi:10.1088/0004-637X/790/1/39.

Starrfield, S., **Sparks, W.M.**, **Truran, J.W.**, and **Wiescher, M.C.**, 2000, The Effects of New Nuclear Reaction Rates and Opacities on Hydrodynamic Simulations of the Nova Outburst, *ApJS*, 127(2), 485–495, doi:10.1086/313336.

Stauffer, J.R., **Hartmann, L.W.**, **Prosser, C.F.**, **Randich, S.**, **Balachandran, S.**, **Patten, B.M.**, **Simon, T.**, and **Giampapa, M.**, 1997, Rotational Velocities and Chromospheric/Coronal Activity of Low-Mass Stars in the Young Open Clusters IC 2391 and IC 2602, *ApJ*, 479(2), 776–791, doi:10.1086/303930.

Steeghs, D. and **Casares, J.**, 2002, The Mass Donor of Scorpius X-1 Revealed, *ApJ*, 568(1), 273–278, doi:10.1086/339224.

Steidel, C.C., **Strom, A.L.**, **Pettini, M.**, **Rudie, G.C.**, **Reddy, N.A.**, and **Trainor, R.F.**, 2016, Reconciling the Stellar and Nebular Spectra of High-redshift Galaxies, *ApJ*, 826(2), 159, doi:10.3847/0004-637X/826/2/159.

Stepien, K., 1994, Applicability of the Rossby number in activity-rotation relations for dwarfs and giants., *Astronomy and Astrophysics*, 292, 191–207.

Strassmeier, K.G., 2005, Stellar activity cycles: observing the dynamo?, *Astronomische Nachrichten*, 326(3), 269–277, doi:10.1002/asna.200410388.

Strassmeier, K.G., 1990, Photometric and Spectroscopic Modeling of Starspots on the RS Canum Venaticorum Binary HD 26337, *ApJ*, 348, 682, doi:10.1086/168276.

Strassmeier, K.G., 2009, Starspots, *The Astronomy and Astrophysics Review*, 17(3), 251–308, doi:10.1007/s00159-009-0020-6.

Strüder, L., **Briel, U.**, **Dennerl, K.**, and **et al.**, 2001, The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The pn-CCD camera, *Astronomy and Astrophysics*, 365, L18–L26, doi:10.1051/0004-6361:20000066.

Swank, J.H., 1999, The Rossi X-Ray Timing Explorer, *Nuclear Physics B Proceedings Supplements*, 69(1-3), 12–19, doi:10.1016/S0920-5632(98)00175-3.

Sweet, P.A., 1950, The importance of rotation in stellar evolution, *MNRAS*, 110, 548, doi:10.1093/mnras/110.6.548.

Szkody, P., **Fraser, O.**, **Silvestri, N.**, **Henden, A.**, **Anderson, S.F.**, and **et al.**, 2003, Cataclysmic Variables from the Sloan Digital Sky Survey. II. The Second Year, *AJ*, 126(3), 1499–1514, doi:10.1086/377346.

Taş, G., **Evren, S.**, and **İbanoğlu, C.**, 1999, The activity pattern on MM Herculis: spots and faculae, *Astronomy and Astrophysics*, 349, 546–552.

Tananbaum, H., **Gursky, H.**, **Kellogg, E.M.**, **Levinson, R.**, **Schreier, E.**, and **Giacconi, R.**, 1972, Discovery of a Periodic Pulsating Binary X-Ray Source in Hercules from UHURU, *ApJL*, 174, L143, doi:10.1086/180968.

Tang, S., **Grindlay, J.**, **Los, E.**, and **Servillat, M.**, 2013, Improved Photometry for the DASCH Pipeline, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125(929), 857, doi:10.1086/671760.

Tauris, T.M. and **van den Heuvel, E.P.J.**, 2006, Formation and evolution of compact stellar X-ray sources, in *Compact stellar X-ray sources*, volume 39, pages 623–665, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/0303456.

Tauris, T.M. and **van den Heuvel, E.P.J.**, 2014, Formation of the Galactic Millisecond Pulsar Triple System PSR J0337+1715—A Neutron Star with Two Orbiting White Dwarfs, *ApJL*, 781(1), L13, doi:10.1088/2041-8205/781/1/L13.

Tauris, T.M. and **Savonije, G.J.**, 1999, Formation of millisecond pulsars. I. Evolution of low-mass X-ray binaries with P_orb¿ 2 days, *Astronomy and Astrophysics*, 350, 928–944, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/9909147.

Tendulkar, S.P., **Yang, C.**, **An, H.**, **Kaspi, V.M.**, **Archibald, A.M.**, and **et al.**, 2014, NuSTAR Observations of the State Transition of Millisecond Pulsar Binary PSR J1023+0038, *ApJ*, 791(2), 77, doi:10.1088/0004-637X/791/2/77.

The LIGO Scientific Collaboration, **the Virgo Collaboration**, **the KAGRA Collaboration**, **Abbott, R.**, and **et al.**, 2021, GWTC-3: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo During the Second Part of the Third Observing Run, *arXiv e-prints*, arXiv:2111.03606, doi:10.48550/arXiv.2111.03606.

Thompson, C. and **Duncan, R.C.**, 1993, Neutron Star Dynamos and the Origins of Pulsar Magnetism, *ApJ*, 408, 194, doi:10.1086/172580.

Thompson, M.J., **Christensen-Dalsgaard, J.**, **Miesch, M.S.**, and **Toomre, J.**, 2003, The Internal Rotation of the Sun, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 41, 599–643, doi:10.1146/annurev.astro.41.011802.094848.

Thorstensen, J.R. and **Armstrong, E.**, 2005, Is FIRST J102347.6+003841 Really a Cataclysmic Binary?, *AJ*, 130(2), 759–766, doi:10.1086/431326.

Titarchuk, L.G., **Bradshaw, C.F.**, **Geldzahler, B.J.**, and **Fomalont, E.B.**, 2001, Normal-Branch Quasi-periodic Oscillations in Scorpius X-1: Viscous Oscillations of a Spherical Shell Near the Neutron Star, *ApJL*, 555(1), L45–L48, doi:10.1086/323160.

Tomsick, J.A., **Kalemci, E.**, and **Kaaret, P.**, 2004, Detection of Low-Hard State Spectral and Timing Signatures from the Black Hole X-Ray Transient XTE J1650-500 at Low X-Ray Luminosities, *ApJ*, 601(1), 439–449, doi:10.1086/380484.

Tout, C.A. and **Eggleton, P.P.**, 1988, Tidal enhancement by a binary companion of stellar winds from cool giants., *MNRAS*, 231, 823–831, doi:10.1093/mnras/231.4.823.

Truemper, J., **Pietsch, W.**, **Reppin, C.**, **Voges, W.**, **Staubert, R.**, and **Kendziorra, E.**, 1978, Evidence for strong cyclotron line emission in the hard X-ray spectrum of Hercules X-1., *ApJL*, 219, L105–L110, doi:10.1086/182617.

Tsantilas, S. and **Rovithis-Livaniou, H.**, 2007, Study of the Magnetic Activity Cycles of CG Cygni, in O. Demircan, S.O. Selam, and B. Albayrak, editors, *Solar and Stellar Physics Through Eclipses*, volume 370 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 353.

Turner, M.J.L., **Abbey, A.**, **Arnaud, M.**, and **et al.**, 2001, The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The MOS cameras, *Astronomy and Astrophysics*, 365, L27–L35, doi:10.1051/0004-6361:20000087.

Underhill, A.B. and **Michalitsianos, A.G.**, editors, 1985, *The Origin of nonradiative heating/momentum in hot stars : proceedings of a workshop sponsored by the National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., and the American Astronomical Society, Washington, D.C., and held at NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, June 5-7, 1984*, volume 2358 of *NASA Conference Publication*.

Van, K.X., **Ivanova, N.**, and **Heinke, C.O.**, 2019, Low-mass X-ray binaries: the effects of the magnetic braking prescription, *MNRAS*, 483(4), 5595–5613, doi:10.1093/mnras/sty3489.

Van, K.X. and **Ivanova, N.**, 2019, Evolving LMXBs: CARB Magnetic Braking, *ApJL*, 886(2), L31, doi:10.3847/2041-8213/ab571c.

van der Klis, M., 2004, A review of rapid X-ray variability in X-ray binaries, *arXiv e-prints*, astro-ph/0410551, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/0410551.

van Haaften, L.M., **Nelemans, G.**, **Voss, R.**, **van der Sluys, M.V.**, and **Toonen, S.**, 2015, Population synthesis of classical low-mass X-ray binaries in the Galactic Bulge, *Astronomy & Astrophysics*, 579, A33, doi:10.1051/0004-6361/201425303.

van Hamme, W., 1993, New Limb-Darkening Coefficients for Modeling Binary Star Light Curves, *AJ*, 106, 2096, doi:10.1086/116788.

van Rensbergen, W., **de Greve, J.P.**, **Mennekens, N.**, **Jansen, K.**, and **de Loore, C.**, 2011, Mass loss out of close binaries. The formation of Algol-type systems, completed with case B RLOF, *Astronomy & Astrophysics*, 528, A16, doi:10.1051/0004-6361/201015596.

Verbunt, F., **Wijers, R.A.M.J.**, and **Burm, H.M.G.**, 1990, Evolutionary scenarios for the X-ray binary pulsars 4U 1626-67 and Hercules X-1, and their implications for the decay of neutron star magnetic fields., *Astronomy and Astrophysics*, 234, 195.

Verbunt, F. and **Zwaan, C.**, 1981, Magnetic braking in low-mass X-ray binaries., *Astronomy and Astrophysics*, 100, L7–L9.

Verbunt, F., 1993, Origin and evolution of X-ray binaries and binary radio pulsars., *Annual Rev. Astron. Astrophys.*, 31, 93–127, doi:10.1146/annurev.aa.31.090193.000521.

Vogt, S.S. and **Penrod, G.D.**, 1983, Doppler imaging of spotted stars: application to the RS Canum Venaticorum star HR 1099., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 95, 565–576, doi:10.1086/131208.

Vogt, S.S., **Hatzes, A.P.**, **Misch, A.A.**, and **Kürster, M.**, 1999, Doppler Imagery of the Spotted RS Canum Venaticorum Star HR 1099 (V711 Tauri) from 1981 to 1992, *ApJS*, 121(2), 547–589, doi:10.1086/313195.

Vos, J., **Østensen, R.H.**, **Marchant, P.**, and **Van Winckel, H.**, 2015, Testing eccentricity pumping mechanisms to model eccentric long-period sdB binaries with MESA, *Astronomy & Astrophysics*, 579, A49, doi:10.1051/0004-6361/201526019.

Walter, F., **Charles, P.**, and **Bowyer, S.**, 1978, X-ray emission from UX Arietis: RS Canum Venaticorum systems as a class of coronal X-ray sources., *ApJL*, 225, L119–L122, doi:10.1086/182807.

Wang, B. and **Han, Z.**, 2012, Progenitors of type Ia supernovae, *New Astronomy Reviews*, 56(4), 122–141, doi:10.1016/j.newar.2012.04.001.

Wang, X.M. and **Lu, W.**, 1993, A Radial Velocity and Photometric Study of the Eclipsing Binary RT Andromedae, in K.C. Leung and I.S. Nha, editors, *New Frontiers in Binary Star Research*, volume 38 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 280.

Watson, C.L., **Henden, A.A.**, and **Price, A.**, 2006, The International Variable Star Index (VSX), *Society for Astronomical Sciences Annual Symposium*, 25, 47.

Watts, A.L., **Krishnan, B.**, **Bildsten, L.**, and **Schutz, B.F.**, 2008, Detecting gravitational wave emission from the known accreting neutron stars, *MNRAS*, 389(2), 839–868, doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13594.x.

Weber, E.J. and **Davis, Leverett, J.**, 1967, The Angular Momentum of the Solar Wind, *ApJ*, 148, 217–227, doi:10.1086/149138.

Weiler, E.J., 1978, Emission line variations in RS Canum Venaticorum-type binaries., *MNRAS*, 182, 77–92, doi:10.1093/mnras/182.1.77.

Weisberg, J.M. and **Huang, Y.**, 2016, Relativistic Measurements from Timing the Binary Pulsar PSR B1913+16, *ApJ*, 829(1), 55, doi:10.3847/0004-637X/829/1/55.

Weiss, A. and **Schlattl, H.**, 2008, GARSTEC—the Garching Stellar Evolution Code. The direct descendant of the legendary Kippenhahn code, *Astrophysics and Space Science*, 316(1-4), 99–106, doi:10.1007/s10509-007-9606-5.

Weiss, N.O., 2005, Linear and nonlinear dynamos, *Astronomische Nachrichten*, 326(3), 157–165, doi:10.1002/asna.200410370.

Wellstein, S. and **Langer, N.**, 1999, Implications of massive close binaries for black hole formation and supernovae, *Astronomy and Astrophysics*, 350, 148–162, doi:10.48550/arXiv.astro-ph/9904256.

Wellstein, S., **Langer, N.**, and **Braun, H.**, 2001, Formation of contact in massive close binaries, *Astronomy and Astrophysics*, 369, 939–959, doi: 10.1051/0004-6361:20010151.

Wendker, H.J., 2015, VizieR Online Data Catalog: Catalogue of Radio Stars (Wendker, 2001), *VizieR Online Data Catalog*, VIII/99.

White, N.E., **Nagase, F.**, and **Parmar, A.N.**, 1995, The properties of X-ray binaries., in *X-ray Binaries*, pages 1–57.

Williamon, R.M., 1974, Sudden Changes in the Period of RT Andromedae, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 86(514), 924, doi: 10.1086/129698.

Williams, A.S., 1922, A new variable star in Cygnus, *MNRAS*, 82, 300, doi: 10.1093/mnras/82.5.300.

Wilson, O.C. and **Vainu Bappu, M.K.**, 1957, H and K Emission in Late-Type Stars: Dependence of Line Width on Luminosity and Related Topics., *ApJ*, 125, 661, doi:10.1086/146339.

Wood, B.D. and **Forbes, J.E.**, 1963, Ephemerides of eclipsing stars., *AJ*, 68, 257–269, doi:10.1086/108949.

Woudt, P.A., **Warner, B.**, and **Pretorius, M.L.**, 2004, High-speed photometry of faint cataclysmic variables - IV. V356 Aql, Aqr1, FIRST J1023+0038, Hα 0242-2802, GI Mon, AO Oct, V972 Oph, SDSS 0155+00, SDSS 0233+00, SDSS 1240-01, SDSS 1556-00, SDSS 2050-05, FH Ser, *MNRAS*, 351(3), 1015–1025, doi:10.1111/j.1365-2966.2004.07843.x.

Woźniak, P.R., **Vestrand, W.T.**, **Akerlof, C.W.**, **Balsano, R.**, **Bloch, J.**, and **et al.**, 2004, Northern Sky Variability Survey: Public Data Release, *AJ*, 127(4), 2436–2449, doi:10.1086/382719.

Wright, N.J., **Drake, J.J.**, **Mamajek, E.E.**, and **Henry, G.W.**, 2011, The Stellar-activity-Rotation Relationship and the Evolution of Stellar Dynamos, *ApJ*, 743(1), 48, doi:10.1088/0004-637X/743/1/48.

Wu, Y.X., **Yu, W.**, **Li, T.P.**, **Maccarone, T.J.**, and **Li, X.D.**, 2010, Orbital Period and Outburst Luminosity of Transient Low Mass X-ray Binaries, *ApJ*, 718(2), 620–631, doi:10.1088/0004-637X/718/2/620.

Yakut, K. and **Ibanoglu, C.**, 2000, BVR Photometry of RS CVn Type Binary RT Andromedae, *Information Bulletin on Variable Stars*, 4991, 1.

Yakut, K., 2001, *Aktif bileşenli örten çiftlerin ışık eğrilerinin modellenmesi*, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.

Yakut, K. and **Eggleton, P.P.**, 2005, Evolution of Close Binary Systems, *ApJ*, 629(2), 1055–1074, doi:10.1086/431300.

Yan, Z. and **Yu, W.**, 2015, X-Ray Outbursts of Low-mass X-Ray Binary Transients Observed in the RXTE Era, *ApJ*, 805(2), 87, doi:10.1088/0004-637X/805/2/87.

Yılmaz, M., **Şenavcı, H.V.**, **Bahar, E.**, **Özavcı, İ.**, **Nelson, R.H.**, **Selam, S.O.**, **Zola, S.**, and **Gazeas, K.**, 2023, Monitoring spots via the TESS data strengthened by the ETV behaviour: An investigation on the contact binary PP Lac, *New Astronomy*, 101, 102022, doi:10.1016/j.newast.2023.102022.

Yoon, S.C., **Langer, N.**, and **Norman, C.**, 2006, Single star progenitors of long gamma-ray bursts. I. Model grids and redshift dependent GRB rate, *Astronomy and Astrophysics*, 460(1), 199–208, doi:10.1051/0004-6361:20065912.

Yoon, S.C., **Woosley, S.E.**, and **Langer, N.**, 2010, Type Ib/c Supernovae in Binary Systems. I. Evolution and Properties of the Progenitor Stars, *ApJ*, 725(1), 940–954, doi:10.1088/0004-637X/725/1/940.

Young, A. and **Koniges, A.**, 1977, A study of the occurrence of singly ionized calcium emission in late-type spectroscopic binary stars., *ApJ*, 211, 836–843, doi:10.1086/154992.

Young, P.A. and **Arnett, D.**, 2005, Observational Tests and Predictive Stellar Evolution. II. Nonstandard Models, *ApJ*, 618(2), 908–918, doi: 10.1086/426131.

Yuan, J., 2010, Period Variation and Asymmetry Light Curves of XY Ursae Majoris, *AJ*, 139(5), 1801–1807, doi:10.1088/0004-6256/139/5/1801.

Yungelson, L.R. and **Lasota, J.P.**, 2008, Evolutionary models of short-period soft X-ray transients: comparison with observations, *Astronomy and Astrophysics*, 488(1), 257–265, doi:10.1051/0004-6361:200809684.

Zahn, J.P., 1992, Circulation and turbulence in rotating stars., *Astronomy and Astrophysics*, 265, 115–132.

Zahn, J.P. and **Bouchet, L.**, 1989, Tidal evolution of close binary stars. II. Orbital circularization oflate-type binaries., *Astronomy and Astrophysics*, 223, 112–118.

Zasche, P., **Liakos, A.**, **Niarchos, P.**, **Wolf, M.**, **Manimanis, V.**, and **Gazeas, K.**, 2009, Period changes in six contact binaries: WZ And, V803 Aql, DF Hya, PY Lyr, FZ Ori, and AH Tau, *New Astronomy*, 14(2), 121–128, doi:10.1016/j.newast.2008.06.002.

Zdziarski, A.A., **Lubiński, P.**, and **Smith, D.A.**, 1999, Correlation between Compton reflection and X-ray slope in Seyferts and X-ray binaries, *MNRAS*, 303(1), L11–L15, doi:10.1046/j.1365-8711.1999.02343.x.

Zeilik, M., **Beckert, D.**, **Cox, D.**, **Dolby, J.**, **Ledlow, M.**, **Newberry, M.**, and **Rhodes, M.**, 1989a, 1989 V-Band Light Curve of RT And, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3301, 1.

Zeilik, M., **Beckert, D.**, **de Blasi, C.**, **Ledlow, M.**, **Rhodes, M.**, and **Williams, T.**, 1988, 1987 BVRI Photometry of RT And, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3173, 1.

Zeilik, M., **Cox, D.A.**, **de Blasi, C.**, **Rhodes, M.**, and **Budding, E.**, 1989b, Long-Term Starspot Activity of Short-Period RS Canum Venaticorum Stars. II. RT Andromedae, *ApJ*, 345, 991, doi:10.1086/167968.

Zeilik, M., **Elston, R.**, **Henson, G.**, **Schmolke, P.**, and **Smith, P.**, 1982, 1981 UBVR Photometry of RT And, *Information Bulletin on Variable Stars*, 2090, 1.

Zhang, L.Y. and **Gu, S.H.**, 2007, Photometric study of the short-period RS Canum Venaticorum binary RT Andromedae, *Astronomy and Astrophysics*, 471(1), 219–226, doi:10.1051/0004-6361:20066767.

Zwaan, C., 1981, Stellar magnetic structure and activity., in R.M. Bonnet and A.K. Dupree, editors, *Solar Phenomena in Stars and Stellar Systems*, volume 68 of *NATO Advanced Study Institute (ASI) Series C*, pages 463–486.

TEŞEKKÜR

Başta hayatım boyunca bana her şeyi veren yanımda olan iki yarım canlarım Babam ve Annem'e, her zaman her koşulda beni destekleyen yanımda olan ve bana sağladıkları sınırsız katkıları ve koşulsuz sevgileri için tüm Ailem'e sonsuz teşekkürlerimi ve koşulsuz sevgilerimi iletiyorum. Her zaman yanımda olduğunu bildiğim Amcam'a sevgiyle.

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Kadri YAKUT'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tez İzleme Komitesinde yer alan ve görüş ve yorumları ile tezin gelişimine katkı sağlayan sayın Prof. Dr. Varol KESKİN ve Prof. Dr. Selim O. SELAM hocalarıma, tez savunma jürisinde görev alarak çalışmaya katkı sağlayan hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma kurumu (TÜBİTAK-Proje no: 117F188 ve 119F077) tarafından desteklenmiştir. Tez de çalışılan yıldızlara ilişkin gözlemler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan T60 ve T100 teleskopları kullanılarak yapılmıştır. 15AT60-776, 18AT60-1298, 18BT100-1341 ve 18AT60-1301 nolu projelerin yürütülmesi için sağlanan destekten dolayı TUG'a teşekkür ederim. Çalışma süresince TÜBİTAK-BİDEB 2211-C, 2214-A ve 2250 desteklerinden yararlanılmıştır. 2214-A kapsamında altı ay ziyarette bulunduğum Max-Planck Astrofizik Enstitüsü'ne misafirperverliği için ve katkı ve desteklerinden dolayı Prof.Dr. Selma De Mink'e teşekkür ederim. Çalışma sırasında kullanılan gözlem veri setlerinden dolayı; TESS, Gaia, Kepler/K2, AAVSO, ASAS, ASAS-SN, OMC, ZTF, CATALINA (CSS), SuperWASP, PTF, NSVS, ATLAS2, GSC2.3.2, ASAS-3, MAXI, Swift/BAT, RXTE/ASM ve XMM-Newton projelerinde yer alan hekese teşekkür ederim.

13/07/2023

Tuğçe İÇLİ

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe İçli Lisans derecesini “Yakın ve Etkileşen Bir Çift Sistem: OO Aql” başlıklı tez çalışmasıyla, Yüksek Lisans derecesini “Nötron Yıldızı Bileşenli Çift Sistemler” başlıklı tez çalışmasıyla Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümünde tamamlamıştır. 2013-2022 yılları arasında beş ulusal olmak üzere ondört uluslararası Konferans ve Çalıştayda katılımcı olarak bulunmuştur. 2012-2022 yılları arasında altı ulusal ve ondört uluslararası platformda Konferans ve Çalıştaylarda sözlü ve poster bildirisi sunumu gerçekleştirmiştir. Baş ve yardımcı yazar olarak uluslararası dergilerde yer alan yedi yayını bulunmaktadır.