

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇ TAYF TÜRÜ YILDIZLARDA FLARE AKTİVİTESİ TESPİT VE ANALİZİ

Suphi SİĞİRCİ

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2025**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEÇ TAYF TÜRÜ YILDIZLARDA FLARE AKTİVİTESİ TESPİT VE ANALİZİ

Suphi SİĞİRCİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol GÜROL

Geç tayf türü yıldızlarda manyetik yeniden bağlantı süreçleri sonucunda ortaya çıkan yüksek enerjili flare olaylarının doğru biçimde tespiti ve analizi, yıldızların kromosferik etkinliği, manyetik yapısı ve evrimsel süreçlerinin anlaşılmasında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tez kapsamında, Kepler ve TESS görevlerinden elde edilen yüksek zaman çözünürlüklü fotometrik veriler kullanılarak geç tayf türü yıldızlarda flare tespiti ve analizi amaçlanmıştır. Işık eğrilerinde akı farkına dayalı yeni bir yöntem olarak tasarlanan algoritma, flare başlangıç, tepe ve sönümlenme zamanlarını belirlemektedir. Python programlama dili kullanılarak geliştirilen ve grafik arayüz ile desteklenen bu yazılıma *FlareFind* adı verilmiştir. Yazılım, aynı zamanda eşdeğer süre hesaplamalarını gerçekleştirmekte ve elde edilen sonuçları görsel biçimde sunmaktadır. Çalışma kapsamında Kepler ve TESS verilerinden seçilen sekiz yıldız incelenmiştir. Bunlardan ikisinde toplam 68 flare olayı literatürdeki arşiv verileriyle karşılaştırılmış ve yöntemin güvenilirliği değerlendirilmiştir. Bazı ışık eğrilerinde ise flare tespitleri arındırma ve istatistiksel modelleme çalışmalarında kullanılarak, yıldızların manyetik aktivite düzeyleri ve flare enerjisi dağılımları daha ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bu analizler sonucunda flare oluşum süreçleri, enerji üst sınırları ve yıldızların manyetik etkinliklerine ilişkin önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

Aralık 2025, 197 sayfa

Anahtar Kelimeler: Akı-Farkı Yöntemi, Flare Aktivitesi, Geç Tayf Türü Yıldızlar, Flare Tespiti, Flare Arındırma, Flare Modelleme

ABSTRACT

Master Thesis

DETECTION AND ANALYSIS OF FLARE ACTIVITY IN LATE-TYPE STARS

Suphi SİĞİRCİ

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

Supervisor: Prof. Dr. Birol GÜROL

The accurate detection and analysis of high-energy flares produced by magnetic reconnection processes in late-type stars provide important insights into their chromospheric activity, magnetic structure, and evolutionary stages. In this thesis, high time-resolution photometric data from the Kepler and TESS missions were used to study flare detection and analysis in late-type stars. A new flux-difference-based algorithm was developed to determine the start, peak, and decay times of flares. This software, named *FlareFind*, was written in Python, equipped with a graphical interface, and is capable of calculating equivalent durations and presenting the results visually. A total of eight stars selected from Kepler and TESS data were examined. In two of these targets, 68 flare events were compared with archival data from the literature, and the reliability of the method was evaluated. In some light curves, flare detections were further used for flare removal and statistical modeling, allowing a more detailed investigation of stellar magnetic activity levels and flare energy distributions. These analyses provided important results on flare generation processes, energy limits, and the magnetic activity levels of the stars.

December 2025, 197 pages

Keywords: Flux Differencing Method, Flare Activity, Late-Type Stars, Flare Detection, Flare Removal, Flare Modeling

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma sürecinde, bana zaman ayırarak her aşamada destek olan, ilgisini esirgemeyen ve sabırla yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Birol GÜROL'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, değerli katkıları ve yönlendirmeleriyle çalışmama destek olan bölüm başkanımız Prof. Dr. Selim O. SELAM'a, sabırla tüm sorularımı yanıtlayan Dr. Engin BAHAR ve Dr. Ekrem M. ESMER'e; Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'ndeki tüm akademik ve idari personele gösterdikleri ilgi ve özveri için teşekkür ederim.

Suphi SİĞİRCİ

Ankara, Aralık 2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Flare Oluşumu ve Leke Aktiviteleri Arasındaki İlişki	9
1.2 Güneş ve Diğer Yıldızlarda Flare Gözlemleri	11
1.3 Geç Tayf Türü Yıldızlarda Kromosferik Aktivite Belirteçleri ve Flare Varlığı.....	13
1.4 Flare Enerjisi	25
1.5 Flare Modelleme ve Flare Arındırma	27
1.5.1 Flare modelleme	27
1.5.2 Flare arındırma	32
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
2.1 Flare Tespitinde Akı-Farkı Yaklaşımı	36
2.2 Literatürdeki Yöntemlerle Karşılaştırma ve Yöntemsel Katkılar	45
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	47
3.1 KIC2852961 Yıldızına İlişkin Bulgular.....	48
3.2 TIC144539611 Örten Çift Yıldızına İlişkin Bulgular	59
3.3 KIC9726699 Yıldızına İlişkin Bulgular.....	63
3.4 TIC146559015 Örten Çift Yıldızına İlişkin Bulgular	71
3.5 KIC9652680 Yıldızına İlişkin Bulgular.....	80
3.6 TIC275911914 Yıldızına İlişkin Bulgular	86
3.7 TIC154101678 Yıldızına İlişkin Bulgular	90
3.8 TIC364588501 Yıldızına İlişkin Bulgular	95
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	107
KAYNAKLAR	118
EKLER.....	132
EK 1 Açılış Ekranı	133
EK 2 Flare Tespit Ekranı	133
EK 3 Flare Listesi, ED Hesaplama ve Flare Silme Ekranı.....	134
EK 4 Zaman Oran Ekranı – Süre ve Fp/Fq Analizi	135
EK 5 Flare Analizi ve Yorumlar	136
EK 6 <i>FlareFind</i> Yazılım Bileşenleri ve Çalıştırma.....	142
ÖZGEÇMİŞ.....	197

SİMGELER DİZİNİ

BKJD	Barycentric Kepler Julian Date (BJD – 2454833)
BTJD	Barycentric TESS Julian Date (BJD – 2457000)
CME	Koronal kütle atımı (Coronal Mass Ejection)
ED	Flare eşdeğer süresi
Fp	Flare’ın tepe noktasındaki akı değeri
Fq	Flare’ın sönümlenme noktasındaki akı değeri
HPM	Yüksek özdevinimli yıldız (High proper motion star)
LC	(Long Cadence) Kepler veya TESS gözlemlerinde uzun kadanslı mod; ölçüm aralıkları yaklaşık 29.4 dk’dır.
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi ($M_{\odot} = 1.9885 \times 10^{30}$ kg)
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı ($R_{\odot} = 6.957 \times 10^5$ km)
Prot	Yıldızın kendi eksenini etrafındaki dönme periyodu (rotasyon periyodu)
SC	(Short Cadence) Kepler gözlemlerinde kısa kadanslı mod; ölçüm aralıkları yaklaşık 1 dk’dır.
t_p	Flare’ın tepe zamanı
t_q	Flare’ın sönümlenme zamanı
t_r	Flare’ın başlangıç zamanı
ΔF	Ardışık akı-farkı ($F_i - F_{i-1}$)
vsini	Yıldızın dönme hızının bakış doğrultusundaki izdüşüm hızı (km/s)
σ	Işık eğrisinin yerel standart sapması; flare eşik değerinin tanımlanmasında ölçüt değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Güneş'te gözlenen bir flare olayı Dünya'nın çapının yaklaşık 35 katı kadar yüksekliğe ulaşmıştır	3
Şekil 1.2 <i>FlareFind</i> programı ile KIC2852961 yıldızına ait Kepler uzun kadans (LC, Q10) ışık eğrisi üzerinde tespit edilen bir flare olayı. Gösterilen akı değerleri, Kepler uydusu tarafından sağlanan sayım akısıdır ($e^- s^{-1}$).....	4
Şekil 1.3 Güneş flare olayı sırasında manyetik ilmek üzerindeki enerji salınım yerleri ve biçimlerini gösteren şematik model	5
Şekil 1.4 Kromosferik ve koronal patlamaların ortalama atım hızları	8
Şekil 1.5 Ca II H&K akısının B–V renk indeksi ve tayf türüne göre değişimini göstermektedir	16
Şekil 1.6 Yıldızların dış atmosferindeki koronal aktivite ($\log R_x$; L_x / L_{bol} oranı) ile kromosferik aktivite ($\log R'_{hk}$) arasındaki ilişki. Veriler, B–V renk indeksine göre renklendirilmiş gruplar halinde gösterilmiştir. Renk indeksi arttıkça, her iki aktivite göstergesinin de yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir.....	18
Şekil 1.7 Güneş döngüsünde başlangıçtaki poloidal alanın diferansiyel dönme ile toroidal bileşene dönüştürülmesi (Ω -etkisi); siklonik/türbülanslı konveksiyonla toroidal alandan yeniden poloidal alan üretilmesi (α -etkisi); ve Babcock–Leighton mekanizması yoluyla yüzey akı taşınımı sonucunda kutupsal alanların yenilenmesi şematik olarak gösterilmiştir.....	19
Şekil 1.8 Farklı tayf türlerine ve iç yapısal özelliklerine sahip yıldızlarda L_x (X-ışınımı) ışıınım gücünün değişimi.....	20
Şekil 1.9 Yıldızlarda dönme hızı ile L_x (X-ışını) ışıınım gücü arasındaki ilişki grafiği ..	23
Şekil 1.10 TIC146559015 için flare süreleri ile $\log(ED)$ değerleri arasındaki ilişki ve OPEA fonksiyonuna yapılan uyum (fit) grafiği	31
Şekil 1.11 KIC2852961 yıldızının Q10 çeyreği ışık eğrisinin flare'lerden arındırılmış (kırmızı) grafiği. Arındırma sonrası oluşan veri boşlukları, doğrusal interpolasyon yöntemiyle doldurulmuş ve bu bölgeler grafikte halka (o) işaretiyle gösterilmiştir	33
Şekil 2.1 TIC144539611 örten çift sistemi için bir flare olayının akı ve akı-farkı eğrilerinde senkronize görünümü	37
Şekil 2.2 <i>FlareFind</i> kullanılarak TIC141914082'nin TESS Sektör 7 verisinde tespit edilen yedi flare olayı. Üst panel akı serisini, alt panel akı-farkı dizisini göstermektedir; tr–tp–tq işaretlenmiştir.....	43
Şekil 3.1 KIC2852961 ardışık flare tepe zamanları farklarının (Δt) histogramı.....	53
Şekil 3.2 KIC2852961 yıldızının flare tepe zamanlarına ilişkin Rayleigh güç spektrumu	54

Şekil 3.3 KIC2852961 yıldızının 4. çeyrek (Q4) verilerinde, <i>FlareFind</i> algoritması ile tespit edilen dokuz flare olayının konumlarının işaretlendiği akı (üst panel) ve akı-farkı (alt panel) grafikleri	55
Şekil 3.4 KIC2852961 yıldızı 4. çeyrek (Q4) verilerinde üçüncü sıradaki flare grafiği	56
Şekil 3.5 KIC2852961 yıldızı 4. çeyrek verilerinde altıncı sıradaki flare grafiği.....	57
Şekil 3.6 KIC2852961 4. çeyrek (Q4) verilerinde tespit edilen dokuz flare olayının yükselme ve sönümlenme süreleri ile F_p/F_q (tepe akısı/zemin-sönümlenme akısı) oranları	58
Şekil 3.7 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4'e ait akı (üst panel) ve akı-farkı (alt panel) grafiklerinde <i>FlareFind</i> yazılımı tarafından tespit edilen dört flare işaretlenmiştir.....	60
Şekil 3.8 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen birinci flare grafiği. F_p , tepe zamanındaki (tp) kırmızı noktanın; F_q ise sönüm zamanındaki (tq) mavi noktanın akısını ifade etmektedir	60
Şekil 3.9 TIC144539611 yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen ikinci flare grafiği	61
Şekil 3.10 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen üçüncü flare grafiği.....	61
Şekil 3.11 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen dördüncü flare gösterilmektedir	62
Şekil 3.12 KIC9726699 yıldızı 4. çeyrek akı ve akı-farkı grafiği. Işık eğrisinde görülen periyodik modülasyon yıldızın dönme hareketinden kaynaklanmakta olup, bunun üzerine binen ani parlaklık artışları flare olaylarını temsil etmektedir	64
Şekil 3.13 KIC9726699 (Q4) ışık eğrisinin üst panelinde flare yükselme süreleri (mavi) ve sönümlenme süreleri (yeşil), alt panelinde ise tepe akı (F_p) ile sönümlenme akı (F_q) oranları (kırmızı) gösterilmektedir	66
Şekil 3.14 KIC9726699'un Q12 Short Cadence (SC; ≈ 1 dk) verisine ait genel ışık eğrisi	69
Şekil 3.15 KIC9726699'un Q12 Short Cadence (SC) verisinden seçilen bir flare'in yakın-zaman görünümü. Üst panel ham akı (SAP_FLUX), alt panel akı-farkı (ΔF) olup dakikalık örnekleme, yükselme ve sönümlenme evrelerini keskin biçimde ortaya koymaktadır	69
Şekil 3.16 KIC9726699 (GJ 1243) Q12 için Kepler Long Cadence (LC; ≈ 29.4 dk, mavi) ve Short Cadence (SC; ≈ 1 dk, kırmızı) verilerinin zaman çözünürlüğü açısından karşılaştırılması. SC verisi, aynı zaman aralığında çok daha sık örnekleme yaparak ışık eğrisi yapısındaki kısa süreli değişimleri ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır	70
Şekil 3.17 TIC146559015 sisteminin TESS Sektör 5 ışık eğrisi. Üst panel: ham SAP akı; alt panel: akı-fark eğrisi	71

Şekil 3.18 TIC146559015 sisteminin TESS Sektör 32 ışık eğrisi. Üst panel SAP_FLUX (ham akı); alt panel: akı-farkı eğrisi	72
Şekil 3.19 TIC146559015 Sektör 32'deki 6. flare'in ışık eğrisi yakın görünümü.....	74
Şekil 3.20 TIC146559015 Sektör 5'te minimum evrede tespit edilen 8. flare'in ayrıntılı akı ve akı-farkı grafiği	74
Şekil 3.21 TIC146559015 minimum evredeki 8. flare'in ışık eğrisi yakın görünümü..	75
Şekil 3.22 TIC146559015 sisteminde flare tepe zamanlarından hesaplanan evre değerlerinin dağılımı. Histogram, her yörünge evresi aralığında düşen flare sayısını göstermektedir.....	76
Şekil 3.23 TIC146559015 sisteminde flare genliklerinin (Fp/Fq) yörünge evresine (faz) göre değişimi.....	77
Şekil 3.24 TIC146559015 için süre (tq-tr) – log(ED) ilişkisi. Kırmızı kesikli çizgi OPEA model uyumunu göstermektedir (Plateau ≈ 2.7 dk, $k \approx 0.12$ dk ⁻¹ , $\tau \approx 8.1$ dk)	80
Şekil 3.25 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreği ışık eğrisi (üst panel) ve akı-farkı eğrisi (alt panel). <i>FlareFind</i> algoritması ile dört flare tespit edilmiş olup tepe (tp) noktaları kırmızıyla işaretlenmiştir	82
Şekil 3.26 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q10 çeyreğine ait ışık eğrisi (üst panel) ve akı-farkı eğrisi (alt panel). <i>FlareFind</i> algoritması ile iki flare tespit edilmiş olup tepe (tp) noktaları kırmızıyla işaretlenmiştir.....	82
Şekil 3.27 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreğine ait ilk flare	83
Şekil 3.28 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreğine ait 4. flare	84
Şekil 3.29 KIC9652680 (Q3) ışık eğrisinin üst panelinde flare yükselme süreleri (mavi) ve sönümlenme süreleri (yeşil), alt panelinde ise tepe akı (Fp) ile sönümlenme akı (Fq) oranları (kırmızı) gösterilmektedir	85
Şekil 3.30 TIC275911914 sistemine ait akı ve akı-farkı grafiği. Üst panelde SAP_FLUX (ham akı) değerleri, alt panelde ise akı-farkı eğrisi sunulmuştur	86
Şekil 3.31 TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinde <i>FlareFind</i> ile tespit edilen flare grafiği	87
Şekil 3.32 TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinde <i>FlareFind</i> ile tespit edilen sekizinci sıradaki flare grafiği	88
Şekil 3.33 TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinin üst panelinde flare yükselme süreleri (mavi) ve sönümlenme süreleri (yeşil), alt panelinde ise tepe akı (Fp) ile sönümlenme akı (Fq) oranları (kırmızı) gösterilmektedir	89
Şekil 3.34 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 ışık eğrisi kesiti	91
Şekil 3.35 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verisindeki beşinci flare grafiği	92
Şekil 3.36 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verisindeki 15. flare grafiği .	92

Şekil 3.37 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verilerinde tespit edilen 18 flare olayına ait (üst panel) yükselme ve sönümlleme süreleri ile (alt panel) F_p/F_q oranları	94
Şekil 3.38 TIC364588501 (HPM) yıldızının 1. Sektör ışık eğrisi kesiti.....	96
Şekil 3.39 TIC364588501 için süre ($t_q - t_r$) – $\log(ED)$ ilişkisi. Kesikli çizgi OPEA model uyumunu göstermektedir; düşük $\log(ED)$ değerleri kısa süreli ve düşük enerjili flare'leri temsil etmektedir	99
Şekil 3.40 TIC364588501 (HPM) yıldızının üçüncü sıradaki flare grafiği	101
Şekil 3.41 TIC364588501 (HPM) yıldızının beşinci sıradaki flare grafiği	102
Şekil 3.42 TIC364588501'in Sektör 1 verilerinden elde edilen flare istatistikleri. Üst panelde yükselme ve sönümlleme süreleri, alt panelde ise F_p/F_q oranlarının flare numaralarına göre dağılımı gösterilmektedir.....	103
Şekil 3.43 TESS Sektör 1'deki TIC364588501 ışık eğrisi üzerinde AltaiPony ile tespit edilen 23 flare grafiği.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Örnek olarak, TIC146559015 için <i>FlareFind</i> ile tespit edilen altı flare olayının tp, tq–tr süreleri (dk) ve eşdeğer süreleri (ED, dk)	29
Çizelge 1.2 Örnek olarak, TIC146559015 yıldızı için OPEA modelinden elde edilen parametreler.....	30
Çizelge 3.1 Tez kapsamında incelenen yıldızların temel parametreleri, gözlem görevleri ve kullanılan arşiv kaynakları. Görev kısaltmaları: LC – Long Cadence (~29.4 dk), SC – Short Cadence (~1 dk)	47
Çizelge 3.2 KIC2852961 için <i>FlareFind</i> ile Kövəri vd. (2020) arşivindeki tp zamanlarının karşılaştırması. Tüm zamanlar BJD–2454833 (Kepler BKJD) biçimindedir. Hata sütunu Kepler uzun kadans zaman çözünürlüğünü (± 0.020 gün; ≈ 29.4 dk) göstermektedir.....	50
Çizelge 3.3 KIC2852961 yıldızının 4. çeyrek (Q4) verilerinde tespit edilen dokuz flare için Pearson korelasyon katsayıları (r) ve anlamlılık düzeyleri (p)	58
Çizelge 3.4 TIC144539611 çift yıldız sistemi Sektör 4 verilerinde tespit edilen dört flare olayının parametreleri	62
Çizelge 3.5 KIC9726699 yıldızının Q4 çeyreği için <i>FlareFind</i> ve Davenport (2016) arşivi tp zamanları karşılaştırması. Tüm tp değerleri BJD–2454833 sistemine göredir. Farklar gün cinsinden verilmiştir.....	65
Çizelge 3.6 KIC9726699 (Q4) yıldızında <i>FlareFind</i> algoritmasıyla belirlenen flare parametreleri ve bu parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları	68
Çizelge 3.7 TIC146559015 için TESS Sektör 5 ve 32’de tespit edilen flare’lerin tr–tp–tq zamanları ve Fp/Fq oranları (BTJD = BJD–2457000)	73
Çizelge 3.8 TIC146559015 sistemi için Çizelge 3.7’de verilen süre (tq–tr) – log(ED) verilerine en küçük kareler yöntemi uygulanarak elde edilen OPEA model parametreleri.....	79
Çizelge 3.9 TIC364588501 yıldızının TESS Sektör 1 verilerinden elde edilen flare olaylarının başlangıç (tr), tepe (tp), bitiş (tq) zamanları, tepe/sönüm akı oranları (Fp/Fq) ve eşdeğer süre (ED) değerleri	97
Çizelge 3.10 TIC364588501 yıldızı için OPEA model parametreleri	98
Çizelge 3.11 TIC364588501 yıldızına ait süre (tq–tr) ile eşdeğer süre (ED) arasındaki Pearson korelasyon analizi sonuçları	100
Çizelge 3.12 <i>FlareFind</i> ve AltaiPony tarafından TIC364588501 Sektör 1 verisinde tespit edilen flare tepe (tp) zamanlarının karşılaştırması	105
Çizelge 4.1 Tez kapsamında incelenen yıldızların temel parametreleri	108

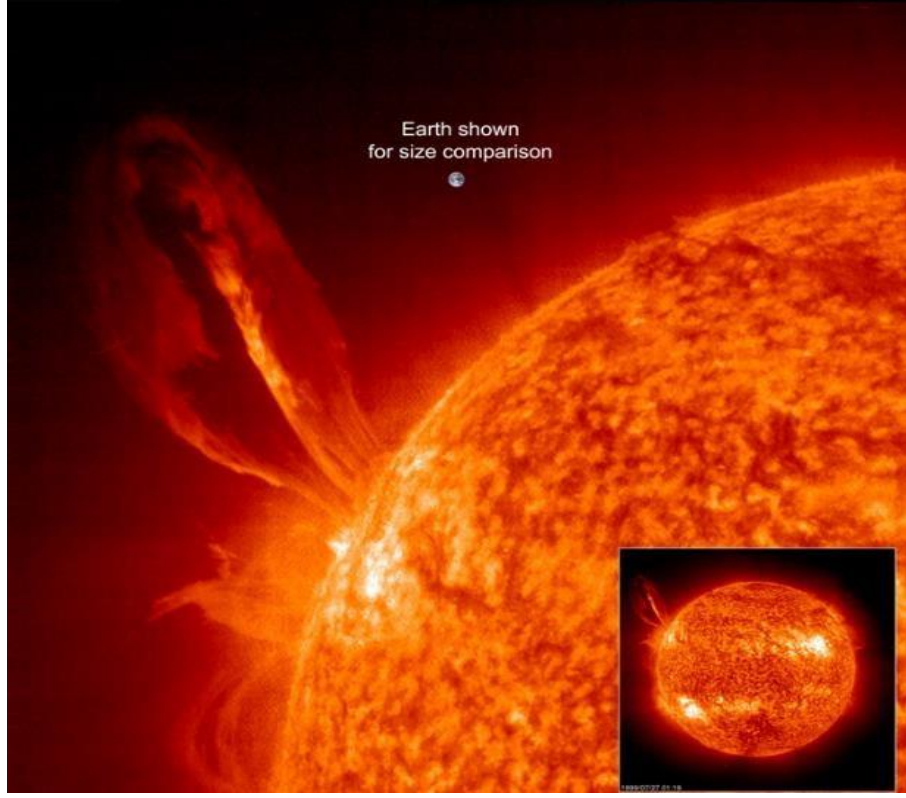
1. GİRİŞ

Flare yıldızları, yaklaşık 2500–4000 K yüzey sıcaklığına sahip, kromosferik aktivite gösteren geç tayf türü kırmızı cücelerdir (Pecaut ve Mamajek 2013). Kromosferik aktivite, UV Ceti türü değişen yıldızlar, RS CVn ve BY Dra türü sistemler ile genç G–K tayf türündeki, X-ışını parlaklığı $L_x \gtrsim 10^{30}$ erg/s düzeyinde olan ve toplam ışıının gücünü ifade eden bolometrik parlaklık (L_{bol}) açısından doygunluk sınırı $L_x/L_{bol} \approx 10^{-3}$ oranına ulaşabilen yüksek manyetik aktiviteye sahip yıldızlarda, dinamo süreçleriyle açıklanan manyetik yeniden bağlantı mekanizmalarından kaynaklanır (Babcock 1961; Leighton 1969; Güdel 2004; Wright vd. 2011). Geç tayf türü ve tamamen konvektif kırmızı cücelerde ise çalkantı (türbülans) temelli dinamo mekanizmalarının etkin olduğu gösterilmiştir (Strassmeier 2009). UV Ceti türü kırmızı cüceler, tipik olarak 0.08–0.8 $M_\odot$ kütle ve 0.15–0.85 $R_\odot$ yarıçap aralığındadır (Stassun vd. 2019). Genellikle anakol evresine yeni ulaşmış ya da halen bu evrede bulunan genç yıldızlar olan bu cüceler, özellikle genç yıldız popülasyonlarının yoğun olduğu açık kümelerde yüksek sıklıkla gözlenir (West vd. 2015). Samanyolu’ndaki yıldızların %70’ini oluşturan geç tayf türü yıldızların yaklaşık %32’sinde flare aktivitesi tespit edilmiştir (Stelzer vd. 2022). Bu oranlar, flare aktivitesinin düşük kütleli yıldızlarda ne kadar yaygın olduğunu göstermektedir. Bazı yaşlı yıldızların da flare aktivitesi sergileyebildiği bilinmektedir (de la Reza vd. 1981). Metal fakiri ve yaşlı olmalarına rağmen bu yıldızlarda güçlü manyetik etkinlik görülebilmesi, manyetik frenlemenin zayıf işlemesi veya çift yıldız etkileşimleriyle dönme hızının korunmasıyla ilişkilendirilmektedir (van Saders vd. 2016; Hall vd. 2021). Özellikle RS CVn türü yakın çift yıldızlarda, gelgit kilitlenmesi nedeniyle bileşenlerin dönme hızları yüksek kalmakta ve bu da ileri yaşta bile güçlü flare aktivitesine yol açmaktadır (Strassmeier 2009).

Flare, yıldız atmosferindeki enerji dağılımı, manyetik alan topolojisi ve plazma dinamikleri hakkında kritik bilgiler sunar (Hall vd. 2021). Bu olayların mekanizmasının anlaşılması, yıldızların manyetik aktivitesinin kökeni ve evriminin aydınlatılması açısından büyük önem taşır (Shibata ve Magara 2011). Geç tayf türü yıldızlardaki flare mekanizmalarının incelenmesinde, Güneş’te gözlemlenen süreçler temel bir karşılaştırma ölçütü olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Güneş flare olayının açıklanmasında kullanılan manyetik yeniden bağlanma modeli, CSHKP modeli olarak

bilinmektedir (Carmichael 1964; Sturrock 1966; Hirayama 1974; Kopp ve Pneuman 1976). Bu modele göre, karşıt kutuplu manyetik alan çizgileri birbirleriyle yeniden bağlandığında, birikmiş manyetik enerji çok kısa sürede plazmaya aktarılır. Yeniden bağlanma sonrasında oluşan yüksek sıcaklıklı plazma, manyetik alan çizgileri boyunca koronadan kromosfere doğru hareket ederek kromosferi ısıtır. Isınan plazma yukarı doğru genişler ve bu süreç, flare olayının görünür ve X-ışını bölgelerinde gözlenmesine yol açar. Bununla birlikte, tekil flare sürecine odaklanan CSHKP modeli, Güneş'in büyük ölçekli manyetik evrimini açıklamada yetersiz kalmaktadır. CSHKP modeli, yerel manyetik alan bölgelerinin kararsız hale gelmesi ve yeniden bağlanmasıyla ortaya çıkan tekil flare süreçlerinin ayrıntılarını tanımlar; ancak yıldızın genel manyetik alan yapısının zaman içindeki değişimini açıklamaz. Bu noktada Babcock–Leighton modeli (Babcock 1961; Leighton 1969) devreye girerek Güneş'in büyük ölçekli manyetik alanının evrimini, manyetik kutup dönüşümlerini ve döngüsel manyetik alan üretim mekanizmasını açıklar. Dolayısıyla bu iki model, Güneş'in manyetik davranışını hem yerel hem de tüm-yüzey ölçeğinde açıklayan tamamlayıcı yapılardır.

Flare üretim mekanizmalarının ayrıntılı olarak anlaşılması, düşük kütleli yıldızların yapısı ve evrim süreçlerine ilişkin kuramsal modellemelerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Kromosferde manyetik alan ilmekleri boyunca biriken yüksek enerjili plazma, saniyeler ile dakikalar ölçeğinde ani boşalmalarla serbest kalmakta ve kütle kaybına yol açabilmektedir. Bu kütle kaybı, yıldızın uzun vadeli evrimini etkileyebilecek önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Hilton 2011).

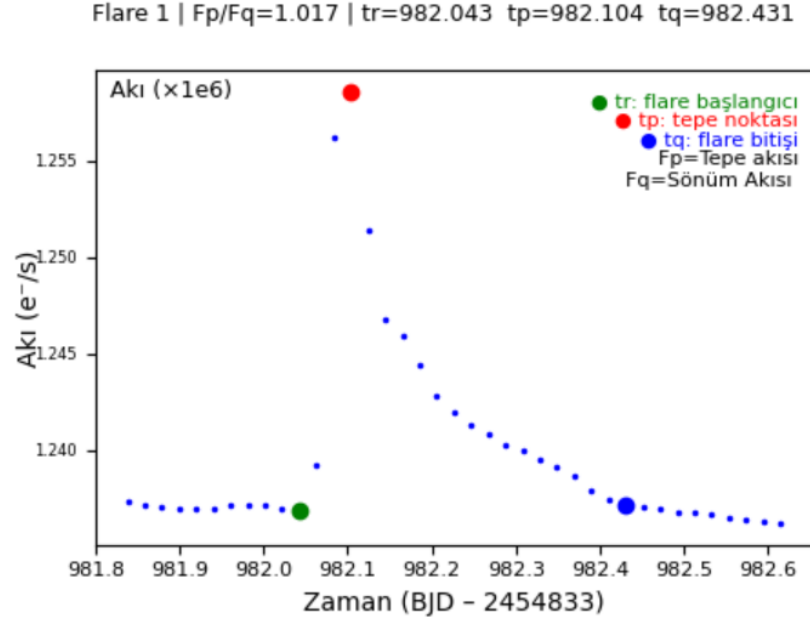


Şekil 1.1 Güneş'te gözlenen bir flare olayı Dünya'nın çapının yaklaşık 35 katı kadar yüksekliğe ulaşmıştır (European Space Agency 1999)

Ekvatoryal dönme hızı ile manyetik aktivite arasındaki ilişki, flare yıldızlarının evriminde temel belirleyici parametrelerden biridir; Skumanich (1972) yasasına göre yıldızların dönme hızı zamanla azalmakta, buna bağlı olarak kromosferik aktivite de düşmektedir. Bu nedenle, genç ve hızlı dönen UV Ceti türü yıldızlar, flare oluşumunun en sık rastlandığı örnekleri oluşturur (Pettersen 1989). Flare yıldızlarında gözlenen yüksek ekvatoryal dönme hızları yalnızca T Tauri türü genç yıldızlarla sınırlı değildir; anakol öncesi evredeki yıldızlar ile anakol üzerindeki geç tayf türündeki kırmızı cüceler için de geçerli olabilmektedir (Marcy ve Chen 1992).

Flare, ışık eğrisinde ani bir parlaklık artışını izleyen daha yavaş bir parlaklık azalmasıyla kendini gösteren karakteristik bir yapı olarak tanımlanır. Parlaklığın aniden yükselmeye başladığı an “çıkış zamanı”, bu andan parlaklığın en yüksek değere ulaştığı ana kadar geçen bölüm ise “çıkış kolu” olarak adlandırılır (Şekil 1.2). Çıkış zamanı, flare dinamiğinin en ani ve enerjik evresini temsil eder. Geç tayf türü yıldızlarda bu süre genellikle oldukça kısadır ve birkaç saniye ile birkaç dakika arasında değişir. Bu kısa

zaman aralığında gerçekleşen parlaklık artışları, çoğu durumda 0.05–0.2 mag/s büyüklüğünde olup, bazı uç örneklerde bu hız 2.8 mag/s seviyelerine kadar çıkabilmektedir (Hawley ve Pettersen 1991).



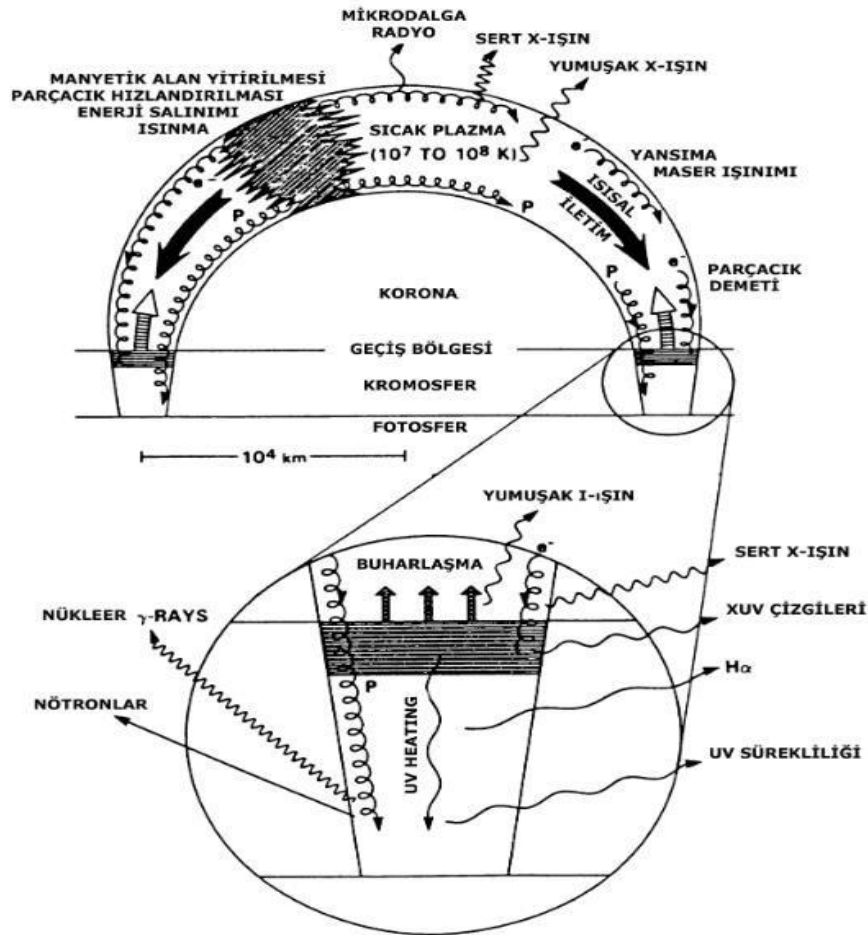
Şekil 1.2 *FlareFind* programı ile KIC2852961 yıldızına ait Kepler uzun kadans (LC, Q10) ışık eğrisi üzerinde tespit edilen bir flare olayı. Gösterilen akı değerleri, Kepler uydusu tarafından sağlanan sayım akısıdır ($e^- s^{-1}$)

Genellikle geç tayf türü yıldızlarda gözlemlenen flare olayları, Güneş'te meydana gelen flare mekanizmaları ile benzerlik gösterse de, düşük kütleli kromosferik aktiviteye sahip kırmızı cücelerde (dMe yıldızları) gözlenen manyetik alanlar çok daha güçlüdür. Bu yıldızlardaki flare aktiviteleri yalnızca ani ve yüksek enerjili parlaklık artışlarına yol açmakla kalmaz, aynı zamanda yıldız atmosferinden önemli miktarda kütle kaybına da neden olabilir (Hawley ve Pettersen 1991).

Güneş ile dMe yıldızları arasındaki flare aktivitesi karşılaştırıldığında, gerek kütle kaybı oranları gerekse flare enerjileri açısından ciddi farklılıklar gözlenmektedir (Hawley ve Pettersen 1991). Güneş'teki tipik bir flare optik bantta yaklaşık 10^{26} – 10^{27} erg enerji açığa çıkarırken, dMe yıldızlarında bu değer 10^{28} ile 10^{36} erg aralığına kadar çıkabilmektedir. Burada verilen enerji değerleri, flare'lerin optik–UV gözlemlerinden elde edilen ışıınımına karşılık gelmekte olup, X-ışını veya diğer dalga boylarındaki katkılar bu

hesaplamalara dahil edilmemektedir. Bu yüksek enerjili flare'ler, çoğu zaman Güneş benzeri mekanizmalarla açıklanmaya çalışılsa da, bu yaklaşım her zaman yeterli olmamaktadır (Benz 2008).

Güneş, yakınlığı sayesinde ayrıntılı modellerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Flare sırasında açığa çıkan enerji, radyo dalga boylarından UV (moröte) bölgeye kadar geniş bir spektruma yayılırken, özellikle UV bandında yüksek sıcaklıklara bağlı olarak çok daha etkin bir radyasyon salınımı gözlenmektedir (Dennis ve Schwartz 1989). Kromosferik aktivite, yalnızca ani ve şiddetli flare'lerle değil, yıldız yüzeyindeki soğuk leke bölgeleri ve çevresindeki sıcak yapılar nedeniyle ışık eğrisinde ortaya çıkan düzenli parlaklık değişimleriyle de kendini gösterir (Benz 2008).



Şekil 1.3 Güneş flare olayı sırasında manyetik ilmek üzerindeki enerji salınım yerleri ve biçimlerini gösteren şematik model (Dennis ve Schwartz 1989'dan alınmıştır; aktaran Dal 2009)

Şekil 1.3'te korona tepe bölgelerinde gerçekleşen manyetik yeniden bağlantı alanları, bu bölgelerde parçacık hızlandırılması ve fotosfer ayak uçlarına yönelen akışlarla kromosferde ortaya çıkan aktivite süreçlerini göstermektedir. Güneş'in dinamo modeli kapsamında, yıldızın iç kısımlarında oluşan manyetik alan ilmekleri, konveksiyonel hareketlerin etkisiyle fotosferi delerek üst atmosfer tabakalarına, özellikle de korona bölgesine kadar yükselir. Bu bölgelerde karmaşık manyetik ilmek yapıları ortaya çıkar ve fotosferdeki ayak uçları çevresinde sıcak ve soğuk lekelerin gözlendiği aktif bölgeler oluşur. Bu ilmeklerin üst kısımlarında biriken enerji, manyetik alan çizgilerinin bükülme ve kararsızlık sonucunda yeniden bağlantıya uğrayarak daha basit ve kararlı yapılara dönüşmesiyle serbest kalır. Bu yeniden bağlantı süreci hem flare olaylarını hem de koronal kütle atımlarını (CME) tetikleyebilir (Dennis ve Schwartz 1989). CME sırasında $\sim 10^7$ – 10^8 K sıcaklıkta plazma açığa çıkar ve bu durum γ -ışını, sert X-ışını ve mikrodalga ışıınımlarıyla birlikte gözlenebilir (Benz 2017).

Flare oluşumunun temelinde manyetik yeniden bağlantı vardır. Bu süreçte serbest kalan enerji, hem plazmanın boşalmasına hem de optik ve kromosferik parlamalara yol açar. Yeniden bağlantı sırasında manyetik ilmeklerin bazı kısımları açılır ve özellikle UV tayfsal çizgilerinde, H α ve Balmer serisi çizgilerinde belirgin parlaklık artışları görülür. Yeterli enerjiye sahip parçacıklar kromosferin alt katmanlarına hatta fotosfere kadar ilerleyerek γ -ışını (gama) çizgileri ve nötron salınımları oluşturabilir. Enerjisi daha düşük olan parçacıklar üst atmosferde frenlenir ve bu süreçte üretilen yumuşak x-ışınları koronada soğurulur; böylece açığa çıkan enerji kromosfere aktarılır (Fletcher vd. 2011; Benz 2017).

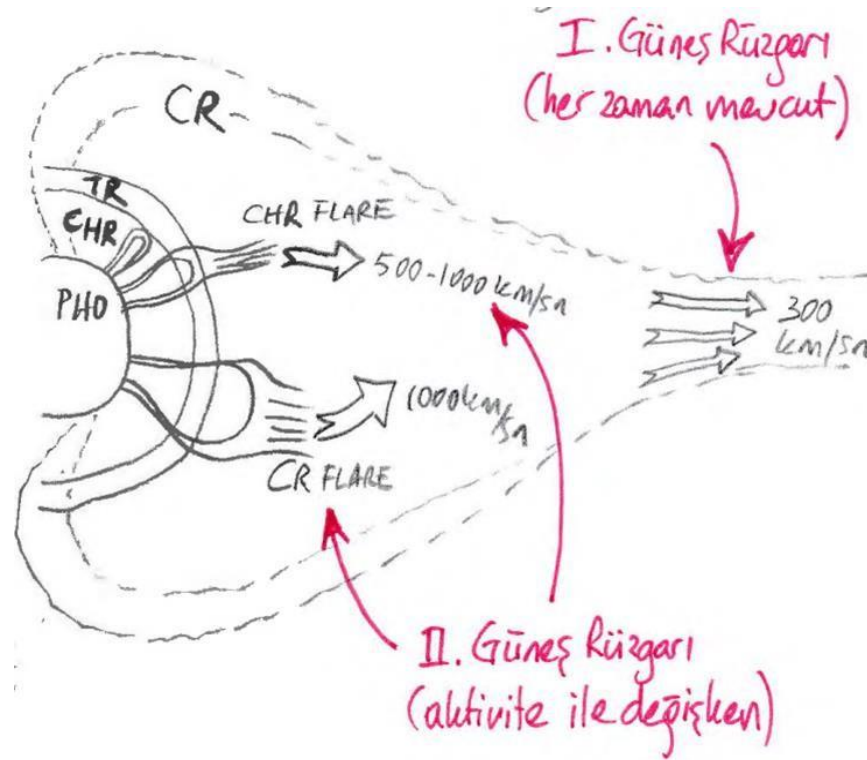
Flare olaylarının meydana geldiği bölgeler genellikle manyetik karmaşıklığa sahiptir. Yüksek zaman ve tayf çözünürlüğüne sahip gözlemler, bu bölgelerde kapalı manyetik ilmeklerin ve karmaşık alan topolojilerinin sıkça görüldüğünü ortaya koymuştur (Priest ve Forbes 2002). Güneş'te flare öncesinde manyetik akı yoğunluğunun arttığı, leke alanlarının genişlediği ve manyetik alan çizgilerinin bükülme derecesinin yükseldiği belirlenmiştir. Bu durum, manyetik alanın evrimi ile flare oluşumu arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir (Schrijver 2009).

Hızlı dönen genç yıldızların konvektif katmanının tabanındaki geçiş bölgesi (tachocline layer), dönme hareketi ile konveksiyon akımlarının etkileşmesi sonucu boylamsal (poloidal) yönelimli manyetik alanların üretildiği bir katmandır (Miesch 2005). Bu alanlar, yıldızın diferansiyel dönmesi ve konvektif hareketleri ile etkileşerek enlemsel (toroidal) yönelimli manyetik alan yapılarına dönüşür. Oluşan bu manyetik alan ilmekleri madde ve enerjiyi yıldızın üst atmosferine taşıırken, yıldızın dönme momentini yavaşlatıcı bir etki gösterirler. Bu mekanizma zamanla yıldızın dönme hızında azalmaya ve dolayısıyla kromosferik aktivitenin zayıflamasına yol açar (Miesch 2005). Skumanich Yasası'na göre yıldızların dönme hızı, yaşlarının kareköküyle ters orantılıdır (Skumanich 1972). Bu da, yıldızların yaşlandıkça aktifliklerinin azalmasını açıklamaktadır.

UV Ceti türü yıldızlarda yapılan yüksek zaman çözünürlüklü gözlemler, flare olaylarının bazen kırmızıöte (IR) bandında akı azalması (negatif flare) ve eşzamanlı UV artışı gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu durumun açıklaması olarak önerilen Ters Compton saçılması (Inverse Compton Scattering) modeline göre, fotosferden yükselen yüksek enerjili parçacıklar, hareketleri sırasında IR fotonlara enerji aktarır ve böylece bu fotonlar UV bandına yükselir. Bu tür olaylar negatif flare olarak adlandırılır (de Jager 1989; Grinin 1976).

Dinamo sürecinin temel bileşenleri olan konveksiyon, diferansiyel dönme ve manyetik alan etkileşimi zamanla flare, leke ve manyetik döngü gibi yüzey aktivitelerine yol açar (Babcock 1961; Leighton 1969). Bu katmandaki hareketlerin ürettiği manyetik alan, flare olaylarının başlıca tetikleyici mekanizmaları arasında yer alır. Ancak bu manyetik süreç, yıldızın dönme karakteristiğiyle doğrudan ilişkilidir ve yıldız yaşlandıkça bu süreç doğal olarak zayıflamaya başlar. Güneş ve benzeri yıldızlar, kutuplara göre ekvator bölgelerinde daha hızlı döner; bu olguya diferansiyel dönme adı verilir. Yüzeydeki bu açısal hız farkı, yıldız içindeki manyetik alan üretimini ve dinamo mekanizmasının etkinliğini belirleyici ölçüde etkiler. Genç yıldızlar genellikle yüksek ekvatoryal dönme hızlarına sahiptir ve bu sayede daha güçlü manyetik alanlar üretirler (Miesch 2005).

Geç tayf türü cüce yıldızlarda gözlenen fotometrik düzensizlikler, Ca II H&K çizgilerinin belirginliği ve güneş benzeri lekelerle ilişkili manyetik aktiviteyle açıklanabilmektedir (Priest ve Forbes 2000). Bu gözlemler, düşük kütleli yıldızlardaki manyetik alanların zamanla evrimine dair önemli ipuçları sunmaktadır. Manyetik alanlar, yıldız atmosferinin ısınması, kütle kaybı süreçleri ve dönme hızının zamanla azalmasında belirleyici bir rol oynar (Priest ve Forbes 2000). Anakoldan ayrılmakta olan yıldızlarda, konvektif katmanın derinleşmesiyle birlikte yüzeyde uzun ve güçlü manyetik ilmeklerin sayısında artış gözlenir. Bu ilmeklerin koronal tepe bölgelerinde, plazma basıncının manyetik alan basıncını aşması durumunda kütle atımı 500–1000 km/s gibi yüksek hızlarla uzaya fırlatılır (Selam 2022). Bu hızlı kütle fırlatımları gözlemsel olarak koronal patlama biçiminde tanımlanır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Kromosferik ve koronal patlamaların ortalama atım hızları (Selam 2022)

Flare oluşum sıklığının, özellikle M3.5 tayf türü ve sonrasında artmasının, bu yıldızların tamamen konvektif bir iç yapıya sahip olmalarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Stassun vd. 2012). Radyatif bir katman barındırmayan bu yıldızlar, klasik döngüsel

manyetik alan yapılarına kıyasla daha karmaşık ve kısa süreli fotometrik–tayfsal değişimler sergiler. Tam konvektif yapıya sahip olduklarından, dönme frenlemesinin zayıf olması, bu yıldızların uzun süre yüksek dönme hızlarını korumasına yol açar. Ancak bu tür yıldızlarda büyük ölçekli dinamo mekanizmaları yerine, küçük ölçekli çalkantı dinamosunun baskın hâle geldiği ve bu nedenle M7 tayf türünden itibaren kromosferik aktivitenin azaldığı ve flare oluşum mekanizmalarının henüz netlik kazanmadığı bildirilmektedir (Gershberg 2005). Bu soğuk yıldızlarda flare aktivitesinin, Güneş benzeri dönme temelli dinamo süreçleriyle doğrudan ilişkili olup olmadığı ise hâlâ tartışmalıdır (Stelzer vd. 2016; Gizis vd. 2017). Bununla birlikte, flare aktivitesi yalnızca Güneş’e benzer yıldızlarla sınırlı değildir. Açık küme üyelerinde gözlemlenen flare’ler ile alan yıldızlarında veya Güneş’te gözlenen flare’ler arasında önemli farklar olduğu belirlenmiştir. Bu farklar; yıldızların yaşı, dönme periyodu, kromosferik aktivite düzeyi ve konvektif yapı derinliği gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır (Hawley vd. 2014).

1.1 Flare Oluşumu ve Leke Aktiviteleri Arasındaki İlişki

Yıldız yüzeyindeki soğuk lekeler (starspots) ile bu bölgelerde gözlemlenen manyetik aktivitenin flare oluşumu ile ilişkisi uzun süredir araştırılan bir konudur (Rodono 1986; Pettersen 1989). Genel kabul gören görüşe göre, flare olayları sıklıkla bu lekelerin çevresinde bulunan manyetik olarak aktif bölgelerde meydana gelir. Bu durumda, ışık eğrisinde lekelerin neden olduğu parlaklık azalmalarının görüldüğü evrelerde flare sıklığında artış gözlenmesi beklenir. EV Lac, V1005 Ori ve AD Leo gibi UV Ceti sınıfı M tayf türü kırmızı cüce yıldızlar üzerinde yapılan ayrıntılı fotometrik ve tayfsal gözlemler, bu varsayımı her zaman doğrulamamaktadır (Rodono 1986; Byrne vd. 1987; Pettersen 1989). Bu gözlemler, flare olaylarının yıldızın tüm dönüş evrelerinde ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Dolayısıyla leke bölgeleri belirli boylamlarda yoğunlaşsa da, flare aktivitesinin zamanı ve konumu her zaman bu lekelerle örtüşmeyebilir (Pettersen 1989).

Yıldız yüzeyinde gözlenen soğuk lekeler, genellikle güçlü ve karmaşık manyetik alan yapılarına sahip aktif bölgelerin görünür izdüşümleridir. Fotosfer sıcaklığının çevreye göre birkaç yüz ila birkaç bin Kelvin daha düşük olduğu bu bölgeler, manyetik alanın konvektif enerji taşınımını bastırmasıyla oluşur. Flare ise aynı aktif bölgelerde, manyetik yeniden bağlantı (magnetic reconnection) süreçleri sonucu meydana gelen ani ve yüksek enerjili parlaklık artışlarıdır. Bu nedenle, yıldız lekeleri ile flare'lerin, aynı manyetik yapıların farklı gözlemsel yansımaları olduğu düşünülmektedir (Priest ve Forbes 2000). Güneş gözlemleri, bu ilişkinin doğrudan kanıtlarını sunmaktadır. Örneğin, leke alanlarının genişlediği, manyetik alan çizgilerindeki bükülme derecesinin arttığı ve manyetik akı yoğunluğunun yükseldiği belirlenmiştir (Schrijver 2009). Bu durum, flare üretimi ile yüzeydeki manyetik yapıların evrimi arasında güçlü bir korelasyon olduğunu ortaya koyar. Özellikle, kapalı manyetik ilmek sistemlerinin bulunduğu bölgelerde flare oluşma olasılığı artar; bu bölgeler gözlemsel olarak da yoğun lekeli alanlar şeklinde tanımlanır.

Yüksek zaman ve tayfsal çözünürlüklü uzay görevleri (Kepler, TESS) ile yapılan fotometrik çalışmalar, Güneş dışı yıldızlarda da leke-flare ilişkisine benzer örüntülerin bulunduğunu ortaya koymuştur (Maehara vd. 2017). Süperflare üreten Güneş benzeri yıldızlarda, ışık eğrisindeki büyük genlikli dönme kaynaklı parlaklık değişimleri ile flare enerjileri arasında anlamlı bir korelasyon saptanmıştır. Bu büyük genlikli değişimler, yıldız yüzeyinde geniş leke gruplarının varlığına işaret etmektedir (Balona 2015). İstatistiksel analizler, flare gösteren yıldızların flare göstermeyenlere göre daha geniş leke alanlarına ve daha yüksek dönme hızlarına sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, hızlı dönmenin dinamo verimliliğini artırarak hem leke oluşumunu hem de flare üretimini güçlendirdiği şeklinde yorumlanmaktadır. Araújo ve Valio (2021), Kepler-411 yıldızına ait ayrıntılı modellerinde, leke alanı ile süperflare enerjisi arasında artış yönlü bir ilişki bulmuş ve çoğu flare'in büyük lekeli bölgelerle aynı dönüş evrelerinde ortaya çıktığını bildirmiştir. Roettenbacher ve Vida (2018) ise düşük genlikli bir flare olayında, yıldız üzerindeki leke kümeleri ile konum açısından doğrudan eşleşme tespit etmiştir.

Bununla birlikte, hem Güneş'te hem de aktif M tayf türü cüce yıldızlarda lekesiz bölgelerde de flare oluşabildiği belirlenmiştir (Borovik ve Myachin 2007). Bu durum, bazı flare olaylarının manyetik ilmeklerin üst kısımlarında, fotosferde gözlenebilen leke oluşumundan bağımsız olarak tetiklenebileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, diferansiyel dönme, leke ömrü ve aktif bölge göçleri gibi süreçler, zaman içinde flare–leke konum eşleşmesini bozabilir (Roettenbacher ve Vida 2018).

Gözlemsel ve teorik çalışmalar genel olarak flare–leke ilişkisinin güçlü olduğunu; büyük leke alanlarının ve yüksek manyetik karmaşıklığın, flare oluşum olasılığını ve enerjisini artıran başlıca faktörler arasında yer aldığını göstermektedir (Araújo ve Valio 2021). Ancak, bu ilişkinin zamansal ve mekânsal boyutta karmaşık bir yapıya sahip olduğu da açıktır. Güneş–Yıldız ilişkisi anlayışı, leke ve flare'lerin genellikle aynı aktif bölgelerde ortaya çıktığını varsaysa da, son gözlemler flare'lerin zaman zaman lekesiz alanlarda da meydana gelebildiğini göstermektedir (Solanki ve Sammis 2003; Thomas ve Weiss 2008). Dolayısıyla leke–flare ilişkisi her ne kadar güçlü olsa da, beklenenden daha değişken bir yapıya sahiptir (Araújo ve Valio 2021).

1.2 Güneş ve Diğer Yıldızlarda Flare Gözlemleri

Flare, başlangıçta Güneş üzerinde yapılan doğrudan gözlemlerle keşfedilmiş, sonraki dönemlerde ise benzer şekilde farklı yıldızlarda da gözlemlendiği ortaya konmuştur (Benz 2008). 1 Eylül 1859 tarihinde Richard Carrington ve Richard Hodgson tarafından birbirinden bağımsız olarak kaydedilen ilk Güneş flare olayı, yalnızca Güneş atmosferinde ani bir parlaklık artışı olarak değil, aynı zamanda Dünya'nın manyetosferinde tetiklediği şiddetli jeomanyetik fırtına ile de dikkat çekmiştir. Carrington olayı sırasında Güneş'ten salınan toplam enerji, yapılan tahminlere göre $\sim 10^{32}$ erg mertebesinde; bu değer tipik büyük Güneş flare'lerinden iki büyüklük mertebesi daha yüksektir (Cliver ve Dietrich 2013; Schrijver ve Beer 2014). Bu tarihsel olay, yıldızsal manyetik aktivitenin hem gözlemsel bulgularının hem de temel süreçlerinin anlaşılması açısından önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Benz 2008).

Bu gözlem, yalnızca Güneş'in değil, özellikle geç tayf türü cüce yıldızlarda benzer manyetik süreçler sonucunda flare üretebileceğine işaret etmiş ve böylece astrofizikte Güneş–Yıldız ilişkisi kavramının temelini oluşturmuştur (Schrijver ve Zwaan 2000). Teknolojik gelişmelerle birlikte flare gözlemleri, fotometrik ve tayfsal yöntemlerle zenginleşmiş; Kepler ve TESS gibi yüksek hassasiyetli fotometrik gözlemler sunan uzay teleskopları aracılığıyla farklı tayf türlerinden binlerce yıldızda flare aktivitesi güvenilir ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde tespit edilebilmiştir. Bu gözlemler, flare aktivitesinin yalnızca M ve K tayf türü cüce yıldızlarla sınırlı olmadığını; Güneş benzeri G tayf türü yıldızlarda (Namekata vd. 2020), F tayf türü anakol yıldızlarında (Shibayama vd. 2013) ve RS CVn türü aktif ikili sistemlerde (Osten vd. 2007) de yaygın olarak görüldüğünü ortaya koymuştur. Yang vd. (2018) ise flare oluşumunun farklı yıldız türlerinde çeşitli fiziksel koşullara bağlı olarak önemli bir çeşitlilik sergilediğini göstermiştir.

Güneş'te yapılan detaylı manyetik haritalama ve ışık eğrisi analizleri, diğer yıldızlardaki flare olaylarının anlaşılmasında referans modeli oluşturmaktadır (Günther vd. 2020). Bu bağlamda, Güneş gözlemleriyle başlayan süreç, yıldızsal flare istatistiklerinin oluşturulmasına ve flare dinamiklerinin anlaşılmasına katkı sağlamıştır (Borucki vd. 2010). Güneş'teki ilk flare gözlemlerinin ardından, 20. yüzyıl boyunca H α ve UV bantlarında yapılan yüksek çözünürlüklü kromosferik gözlemler sayesinde flare'lerin manyetik yapı ve konumları detaylı biçimde incelenmiştir (Benz 2008). 1990'lardan itibaren SOHO ve TRACE gibi uzay teleskopları, Güneş yüzeyinde flare başlangıç noktaları ve manyetik yeniden bağlantı bölgeleri üzerine çığır açıcı gözlemler sunmuştur (Aschwanden 2005). Yıldızsal düzeye geçildiğinde ise flare olayları daha çok fotometrik yöntemlerle, özellikle ışık eğrisindeki ani ve kısa süreli parlaklık artışları şeklinde tespit edilebilmektedir. Bu bağlamda, Kepler ve TESS görevleri, geniş örneklemli ve yüksek zaman çözünürlüklü verilerle geç tayf türü cüce yıldızlarda flare istatistiklerinin oluşturulmasına olanak sağlamış ve bu yıldızların manyetik aktivite düzeylerinin değerlendirilmesine katkı sağlamıştır (Ricker vd. 2015; Davenport 2016).

Ayrıca uzay teleskopları olan Kepler ve TESS, hedef yıldızların parlaklık değişimlerini izlemek için farklı zaman çözünürlüklerinde veri toplama modları sunmaktadır. Bu

modlar, gözlemlerin hangi sıklıkla yapıldığını belirleyen kadans (cadence) türlerine göre tanımlanır ve başlıca iki grupta incelenir: Long Cadence (LC) ve Short Cadence (SC) modları, Kepler görevinin temel gözlem stratejilerini tanımlar. LC modu, yaklaşık 29.4 dakikalık örnekleme aralığıyla elde edilen veri noktalarını ifade eder. Bu tür veriler, yıldızların yavaş parlaklık değişimlerinin, dönme modülasyonlarının veya ötegezegen geçişlerinin izlenmesi gibi daha uzun zaman ölçekli olayların takibi için uygundur (Jenkins vd. 2010). Ancak, zaman çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle kısa süreli ve hızlı gelişen olaylar—özellikle de flare olayları—bu modda çoğunlukla tespit edilemez veya ayrıntılı biçimde incelenemez. Buna karşılık SC modu, 1 dakikalık örnekleme aralıklarıyla sağladığı yüksek zaman çözünürlüğü sayesinde kısa süreli ve düşük genlikli flare olaylarının belirlenmesine olanak tanır (Gilliland vd. 2010). Bu sayede yıldızlarda gerçekleşen ani ve kısa süreli flare olaylarının hem yükselme hem de sönmüleme evreleri ayrıntılı biçimde analiz edilebilir. SC verileri, özellikle kısa süreli flare’lerin t_r , t_p ve t_q gibi zamanlama parametrelerinin doğru biçimde belirlenmesi açısından büyük avantaj sağlar (Jenkins vd. 2010).

1.3 Geç Tayf Türü Yıldızlarda Kromosferik Aktivite Belirteçleri ve Flare Varlığı

Geç tayf türü yıldızlar, büyük ölçüde konvektif yapı göstermeye başlar. Bu derin konvektif katmanlar, kromosfer ve fotosfer bölgelerinde güçlü manyetik alanların oluşumunu destekleyen dinamo süreçlerinin gelişmesine olanak tanır (Mohanty ve Basri 2003). Genç yıldızlar, yaşlı yıldızlara kıyasla daha hızlı döndüklerinden, manyetik aktivitenin gözlemsel izleri özellikle kromosferik katmanda belirgin biçimde ortaya çıkar.

Kromosferik aktivitenin en yaygın spektroskopik belirteçlerinden biri $H\alpha$ (6562.8 Å) salma çizgisidir. Bunun yanı sıra Ca II H&K çizgileri (3968 Å ve 3934 Å) ile 5876 Å dalga boyundaki He I D3 çizgisi, kromosferik etkinliğin saptanmasında kullanılan diğer önemli göstergelerdir. He I D3 çizgisi, özellikle sıcak plazma ve flare sırasında ortaya çıkan yüksek enerjili süreçlerin izlenmesinde tanınan öneme sahiptir.

Flare esnasında kromosferde artan sıcaklık ve yoğunluk, $H\alpha$ çizgisinin şiddetini artırır (Walkowicz ve Hawley 2009). Bu nedenle $H\alpha$ çizgisi, hem genel kromosferik aktivitenin hem de flare oluşum potansiyelinin güvenilir bir göstergesi olarak kabul edilir.

M tayf türü cüce yıldızlar ve erken L tayf türü kahverengi cücelerde yapılan çok sayıda gözlem, H α emisyonu ile fotometrik olarak izlenen flare aktivitesi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunduğunu ortaya koymuştur (Schmidt vd. 2015). Buna karşılık, daha düşük yüzey sıcaklıklarına sahip L ve özellikle T tayf türü kahverengi cücelerde H α emisyonunun belirgin biçimde zayıfladığı ya da tamamen kaybolduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bu soğuk cisimlerde radyo dalga boylarında beklenmedik derecede güçlü ve ani flare benzeri patlamaların kaydedilmesi (Berger 2006), klasik tayfsal belirteçlerin yetersiz kaldığı durumlarda radyo gözlemlerinin alternatif bir manyetik aktivite göstergesi olarak önem kazandığını göstermektedir (Linsky 2017; Walkowicz ve Hawley 2009).

Yıldız atmosferinin en dış katmanı olan koronada, yüksek sıcaklıkları nedeniyle X-ışını emisyonu gözlenir. Geç tayf türü yıldızlarda bu emisyon çoğunlukla flare olaylarına eşlik eden ani manyetik yeniden bağlantı süreçleriyle ortaya çıkar ve kısa süreli ancak yüksek şiddetli patlamalar biçiminde tespit edilir (Güdel 2004). Güneş'te sakin evre ile flare anı arasındaki X-ışını ışıınım gücü oranı yaklaşık 2.5 kat artarken, bazı geç tayf türü yıldızlarda bu oran çok daha yüksek değerlere ulaşabilir. Örneğin SCR 1845 adlı cüce yıldız üzerinde yapılan L_x gözlemlerinde, flare sırasında L_x düzeyinin sakin durumun yaklaşık 30-40 katına çıktığı belirlenmiştir (Robrade 2010). Bu bulgu, flare olaylarının koronada biriken manyetik enerjinin ani boşalmasıyla gerçekleştiğini açıkça göstermektedir.

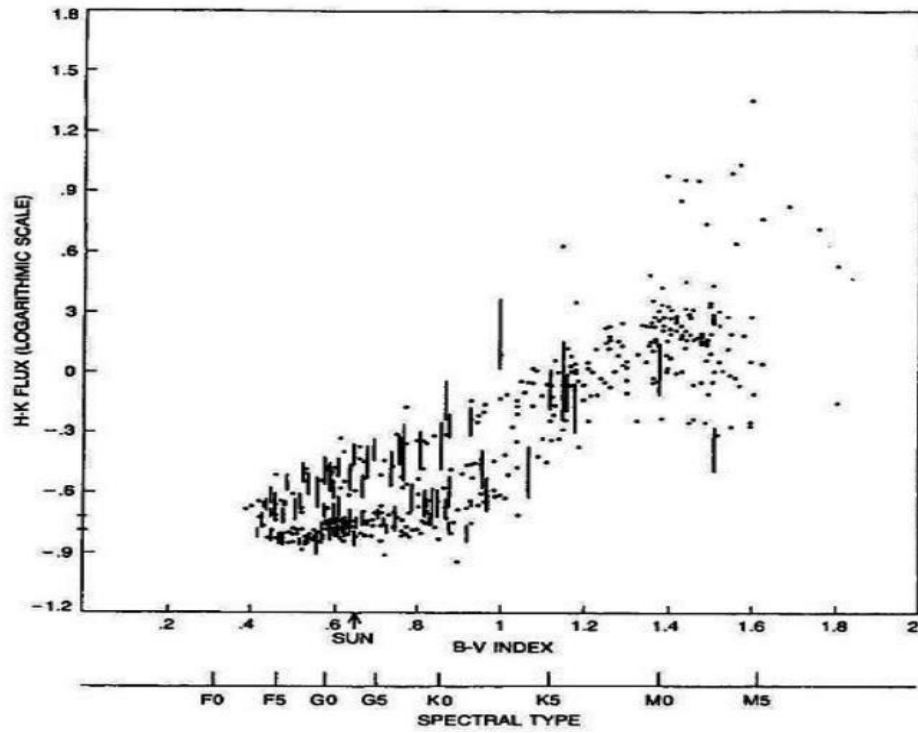
Radyo dalga boylarında yapılan gözlemler çoğunlukla geniş bantlı sürekli tayf karakteri göstermekte olup, optik ve morötesi bölgelerde sıkça rastlanan dar tayfsal çizgiler bulunmaz (Dulk 1985; Wilson vd. 2013). Ancak flare anlarında radyo bölgesinde kaydedilen güçlü emisyonlar, yoğun manyetik alan bölgelerinde hızlanan elektronların yüksek enerjili hareketleri sonucu ortaya çıkar. Bu emisyonlar, ışık hızına yakın hızlarda hareket eden elektronların ürettiği ışıma (synchrotron) ile daha düşük enerjili elektronların oluşturduğu ışıma (gyrosynchrotron) biçiminde gözlenir (Dulk 1985). Bu mekanizmalar, flare sırasında radyo emisyonlarının başlıca kaynağını oluşturur ve yıldızdaki manyetik aktivitenin doğrudan bir göstergesi olarak kabul edilir (Bastian 1990; Osten ve Bastian 2006).

Manyetik alan üretim mekanizmaları açısından bakıldığında, Güneş ve benzeri geç tayf türü yıldızların dış katmanları tamamen iyonize plazmadan oluşur ve ekvator bölgeleri kutuplara kıyasla daha hızlı döner. Bu diferansiyel dönme, kuzey–güney doğrultusundaki (poloidal) büyük ölçekli manyetik alan çizgilerini bükerek boylamsal (toroidal) bileşenlere dönüştürür (Parker 1955; Charbonneau 2010; Brun ve Browning 2017).

Ardından, konvektif bölgede yükselip dönen plazma hücrelerinin helezonik hareketleri (α etkisi) bu toroidal alanları yeniden poloidal bileşenlere çevirir. Böylece, α – Ω dinamosu olarak bilinen süreç kapalı bir manyetik çevrim oluşturarak alanın sürekliliğini sağlar (Parker 1955; Moffatt 1978). Bu model, Güneş’te gözlenen yaklaşık 22 yıllık manyetik çevrimi (lekeler için ~ 11 yıl) başarıyla açıklar.

Spektral sınıfa bağlı iç yapı farklılıkları incelendiğinde, A7–F0 tayf türlerinden itibaren yüzeyde oluşan konvektif bölgelerin giderek derinleştiği ve bu sürecin M3.5 tayf türüne kadar devam ettiği anlaşılmaktadır. Bu yapısal evrim boyunca, α – Ω dinamosunun yanı sıra tamamen konvektif yıldızlarda etkin olduğu düşünülen türbülans temelli α^2 dinamosu gibi alternatif mekanizmaların da farklı derecelerde rol oynayabileceği öngörülmektedir (Charbonneau 2010). Tamamen konvektif M tayf türü kırmızı cüceler, düşük kütlelerinden ötürü ara katman (tachocline) barındırmaz. Bu nedenle klasik Babcock–Leighton dinamosu yerine, tüm yıldız hacmine yayılmış çalkantı temelli α^2 dinamosu ile manyetik alan üretildiği öne sürülmektedir (Chabrier ve Küker 2006; Browning 2008). α^2 dinamo modeli, diferansiyel dönme etkisi olmadan yalnızca türbülanslı konveksiyonla hem poloidal hem toroidal manyetik alan ilmekleri oluşturabilir. Bu süreçler, düzensiz ve karmaşık manyetik alan yapılarına, şiddetli flare aktivitesine, büyük leke oluşumlarına ve güçlü yıldız rüzgârlarına yol açabilir (Reiners 2012).

Manyetik aktivite düzeyi, yalnızca iç yapıya değil aynı zamanda dönme hızına da bağlıdır (Babcock 1961). Yüksek dönme hızına sahip genç yıldızlar veya küçük yörüngeli çift sistemler, dinamo mekanizmasının etkinliğini artırarak daha güçlü kromosferik aktivite sergiler. Özellikle senkronize dönme hareketi gösteren çift yıldızlarda, yörünge periyodu kısalдықça açısal momentum artar ve yüzeyde gözlenen lekeler, flare, plazma çıkışları (koronal kütle atımları), yıldız rüzgârları ve X-ışını emisyonu gibi aktiviteler belirgin şekilde güçlenir (Strassmeier 2009).



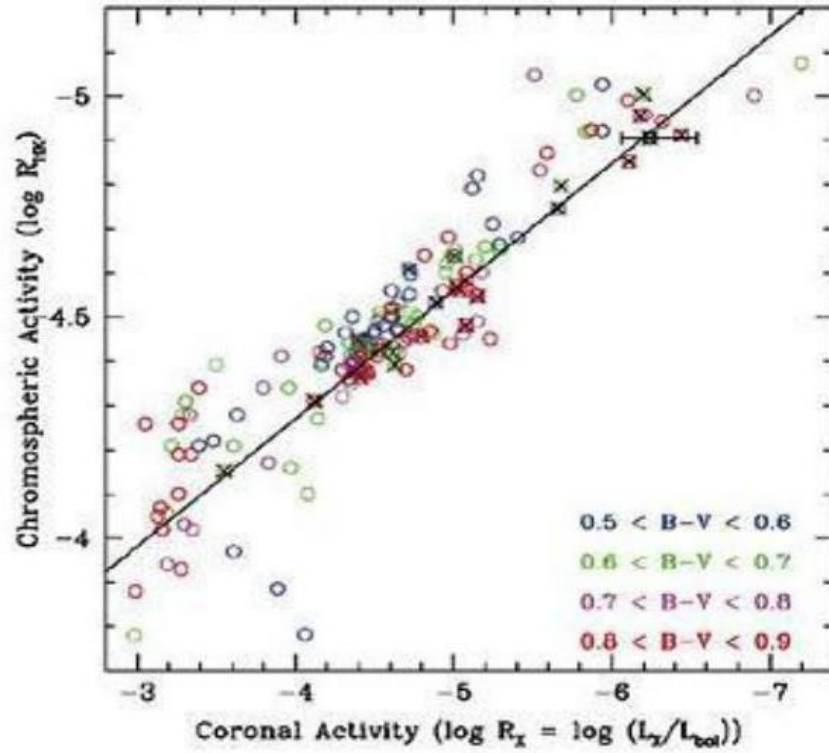
Şekil 1.5 Ca II H&K akısının B–V renk indeksi ve tayf türüne göre değişimini göstermektedir (Baliunas vd. 1983)

Güneş benzeri F ve G tayf türlerinden başlayarak, K ve özellikle M tayf türlerine doğru gidildikçe Ca II H&K akısının sistematik olarak arttığı görülmektedir. Şekil 1.5’te Ca II H&K çizgilerinin logaritmik akısı, yatay eksendeki B–V renk indeksi ve karşılık gelen tayf türlerine göre gösterilmektedir. Bu artış, geç tayf türü yıldızların daha derin konvektif dış katmanlara sahip olmasıyla ilişkilidir. Konveksiyonun derinleşmesiyle birlikte, yüzey dinamosunun etkinliği artmakta ve bu da kromosferik aktivite göstergesi olan Ca II H&K çizgilerinde daha yüksek akı değerleri ile kendini göstermektedir. Grafikteki saçılma ve hata çubukları, bu artışın yıldızlar arası farklılıklara rağmen genel bir eğilim sergilediğini desteklemektedir. Bu durum, geç tayf türü yıldızların, özellikle M tayf türü cüce yıldızların, daha aktif kromosferik yapılara sahip olduğunu ve bu yıldızlarda flare aktivitesi gibi manyetik olayların daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır (Baliunas vd. 1983).

Şekil 1.6, yıldızların farklı atmosferik katmanlarında meydana gelen manyetik aktivite süreçlerinin ilişkisini göstermektedir. Yatay ekseninde yer alan $\log R_x$, yıldızın X-ışını (koronal) parlaklığının bolometrik parlaklığa oranının logaritmasıdır ve koronal

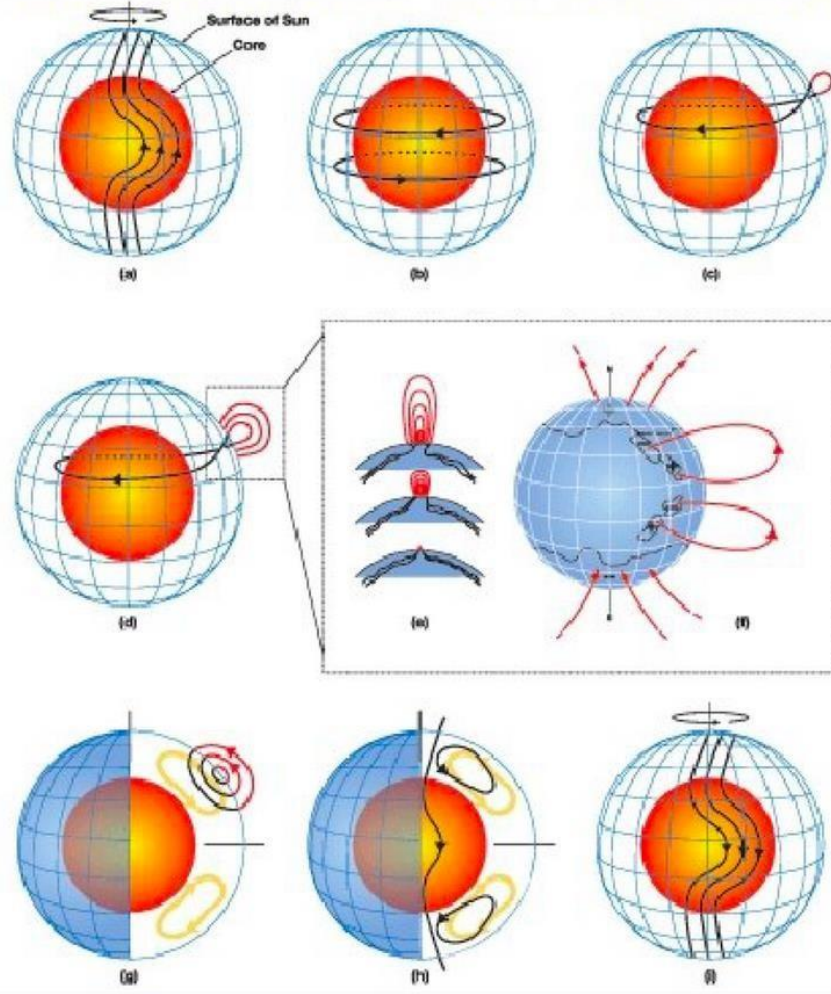
aktivitenin doğrudan bir göstergesidir (Vaiana vd. 1981; Güdel 2004). Düşey ekseninde yer alan $\log R'_{\text{hk}}$ ise, Ca II H&K çizgilerindeki kromosferik emisyonların normalize edilmiş logaritmik değeri olup, kromosferik aktiviteyi temsil etmektedir (Noyes vd. 1984).

Grafikteki veriler (Şekil 1.6), B–V renk indeksine göre dört gruba ayrılarak renklendirilmiştir. B–V renk indeksi arttıkça, yani yıldızın tayf türü F’den M tayf türüne doğru ilerledikçe, hem koronal hem de kromosferik aktivitenin genel olarak yükseldiği gözlemlenmektedir. Veri noktalarının genel dağılımı, $\log R_x$ ile $\log R'_{\text{hk}}$ arasında güçlü ve yaklaşık doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır (Mamajek ve Hillenbrand 2008). Bu durum, yıldızın dış atmosferinde gözlenen X-ışını emisyonlarının, alt katmanlardaki kromosferik süreçlerle doğrudan bağlantılı olduğunu göstermektedir. Söz konusu ilişki, manyetik aktivitenin kökeninde yer alan dinamo mekanizmasının yıldızın tüm atmosferik katmanlarında tutarlı bir şekilde çalıştığını desteklemektedir (Parker 1955; Charbonneau 2010). Ayrıca bu korelasyon, flare gibi ani manyetik olayların yalnızca lokal sınırlı bir fenomen değil, atmosferin tamamını etkileyen geniş ölçekli bir süreçle ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Bu tür grafikler, farklı aktivite göstergeleri arasında kalibrasyon yapılması ve genç yıldızların evrimsel durumlarının anlaşılması açısından da büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, kromosferdeki manyetik aktivite, koronal katmanlara da yansımakta ve bu etkileşim yıldız atmosferinin tamamında etkili olan ortak bir sürecin (manyetik dinamo) varlığını ortaya koymaktadır.



Şekil 1.6 Yıldızların dış atmosferindeki koronal aktivite ($\log R_x$; L_x / L_{bol} oranı) ile kromosferik aktivite ($\log R'_{hk}$) arasındaki ilişki. Veriler, B–V renk indeksine göre renklendirilmiş gruplar halinde gösterilmiştir. Renk indeksi arttıkça, her iki aktivite göstergesinin de yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir (Mamajek ve Hillenbrand 2008)

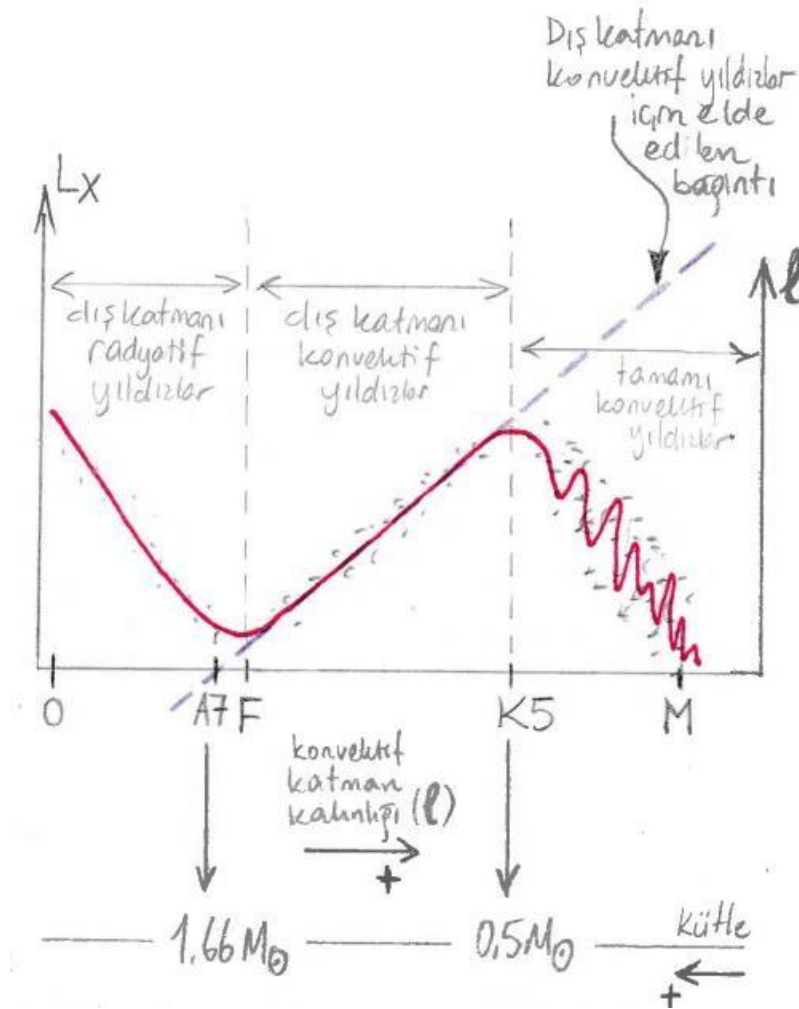
Yıldızların iç yapısı, kütlelerine bağlı olarak büyük çeşitlilik gösterir. Güneş benzeri yıldızlar (yaklaşık $0.35\text{--}1.5 M_{\odot}$ arası), radyatif iç bölge ile konvektif dış katmana sahiptir (Şekil 1.7). Bu iki bölgenin sınırında yer alan geçiş katmanını (tachocline), klasik $\alpha\text{--}\Omega$ dinamo mekanizmasının etkili çalışmasını sağlar (Parker 1955; Spiegel ve Zahn 1992). Konvektif katman ne kadar kalınsa, yüzeydeki manyetik aktivite de o denli güçlü olur. Ancak $0.35 M_{\odot}$ altındaki M tayf türü düşük kütleli cüce yıldızlar tamamen konvektif yapıdadır. Bu durumda klasik dinamo modeli geçerli olmaz ve onun yerine yıldızın tamamına yayılmış alternatif bir türbülans temelli α^2 dinamo mekanizması devreye girer (Chabrier ve Küker 2006; Browning 2008). Bu fark, bu yıldızlarda gözlenen X-ışını parlaklıklarının karmaşık ve dağınık bir yapı sergilemesine neden olur (Reiners 2012).



Şekil 1.7 Güneş döngüsünde başlangıçtaki poloidal alanın diferansiyel dönme ile toroidal bileşene dönüştürülmesi (Ω -etkisi); siklonik/türbülanslı konveksiyonla toroidal alandan yeniden poloidal alan üretilmesi (α -etkisi); ve Babcock–Leighton mekanizması yoluyla yüzey akı taşınımı sonucunda kutupsal alanların yenilenmesi şematik olarak gösterilmiştir (Sánchez vd. 2014)

Şekil 1.7, Güneş manyetik döngüsünün α – Ω dinamo mekanizması çerçevesinde nasıl geliştiğini şematik olarak göstermektedir (Parker 1955; Sánchez vd. 2014). Döngü, başlangıçta mevcut olan büyük ölçekli poloidal manyetik alanla başlar. Diferansiyel dönme, ekvatorlarda daha hızlı, kutuplarda ise daha yavaş dönme sonucu bu alanı gererek toroidal bileşene dönüştürür (Ω -etkisi). Konvektif bölgedeki siklonik türbülans hareketleri ise toroidal alanı yeniden poloidal alana dönüştüren α -etkisini üretir (Şekil 1.7). Böylece döngünün ilk yarısı tamamlanır ve başlangıç alanına kıyasla zıt kutuplulukta yeni bir poloidal alan ortaya çıkar.

Babcock–Leighton mekanizması (Babcock 1961; Leighton 1969), döngünün ikinci yarısında devreye girer. Bu aşamada, toroidal manyetik akı ilmekleri yüzeye yükselerek güneş lekelerini ve eğik bipolar aktif bölgeleri oluşturur. Bu bölgelerden yayılan manyetik alanlar, yüzeyde difüzyon ve yeniden bağlantı süreçleriyle kutupsal manyetik alanlarla birleşir. Meridyen dolaşımı bu alanları kutuplara taşır ve yeni poloidal alanın oluşumunu sağlar. Bu mekanizma, Güneş’in manyetik döngüsünün yaklaşık her 11 yılda bir tekrarlanmasına yol açar. Ayrıca yüzeyde ve atmosferde gözlenen güneş lekeleri, flare ve koronal kütle atımları gibi etkinliklerin temel kaynağını oluşturur. Yıldız manyetik alanlarının evrimi ve yıldız–gezegen etkileşimleri üzerinde belirleyici rol oynayarak hem Güneş’in hem de diğer yıldızların uzun vadeli aktivite döngülerinin anlaşılmasına katkı sağlar (Babcock 1961; Leighton 1969).



Şekil 1.8 Farklı tayf türlerine ve iç yapısal özelliklerine sahip yıldızlarda L_x (X-ışınımı) ışınım gücünün değişimi (Selam 2022)

Şekil 1.8, Güneş benzeri F ve G tayf türlerinden başlayarak K ve M tayf türlerine doğru gidildikçe, özellikle tamamen konvektif yapıya sahip düşük kütleli yıldızlarda L_x değerlerinin belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Bu artış, derin konvektif bölgelerde etkin olan dinamo mekanizmalarının (α - Ω veya α^2) daha güçlü manyetik alanlar üreterek koronal bölgelerde daha yoğun L_x emisyonuna yol açmasıyla ilişkilidir. Böylece yıldızın iç yapısal özellikleri ile atmosferik manyetik aktivite arasındaki doğrudan bağlantı açıkça gözlenmektedir (Kippenhahn ve Weigert 1990, Carroll ve Ostlie 2017). Bu grafik, yıldızların konvektif yapılarına bağlı olarak üç temel sınıflandırmaya olanak tanımaktadır:

- Dış katmanı radyatif olan yıldızlar (O–A ile erken F tayf türü yıldızlar): Bu yıldızların dış katmanları radyatif yapıdadır ve konvektif bölge ya hiç bulunmaz ya da oldukça incedir. Bu nedenle manyetik dinamo mekanizması etkin şekilde çalışamaz (Parker 1955). Dolayısıyla manyetik kökenli L_x emisyonu düşük seviyelerde kalır (Pizzolato vd. 2003).
- Dış katmanı konvektif olan yıldızlar (geç F – K tayf türleri): konvektif bölgenin kalınlaşmasıyla birlikte artan konvektif taşınım ve diferansiyel dönme etkisi, klasik α - Ω dinamo mekanizmasını etkin hale getirerek güçlü manyetik alanların oluşmasına neden olur. Bu süreç, L_x ışıının gücünde gözlemlenen belirgin artışı açıklar (Wright vd. 2011).
- Tamamen konvektif yıldızlar (yaklaşık 0.35–0.5 $M_\odot$ altındaki M tayf türü cüce yıldızlar): Bu yıldızlar, klasik α - Ω dinamo mekanizmasının işlemediği tamamen konvektif bir iç yapıya sahiptir. Bunun yerine, tüm hacme yayılmış türbülans kökenli alternatif bir manyetik alan üretim süreci olan α^2 -dinamo etkin hale gelir (Chabrier ve Küker 2006; Browning 2008). Bu farklı dinamo yapısı nedeniyle L_x ışıının gücü ve manyetik aktivite düzeyleri geniş bir değişkenlik sergileyebilir.

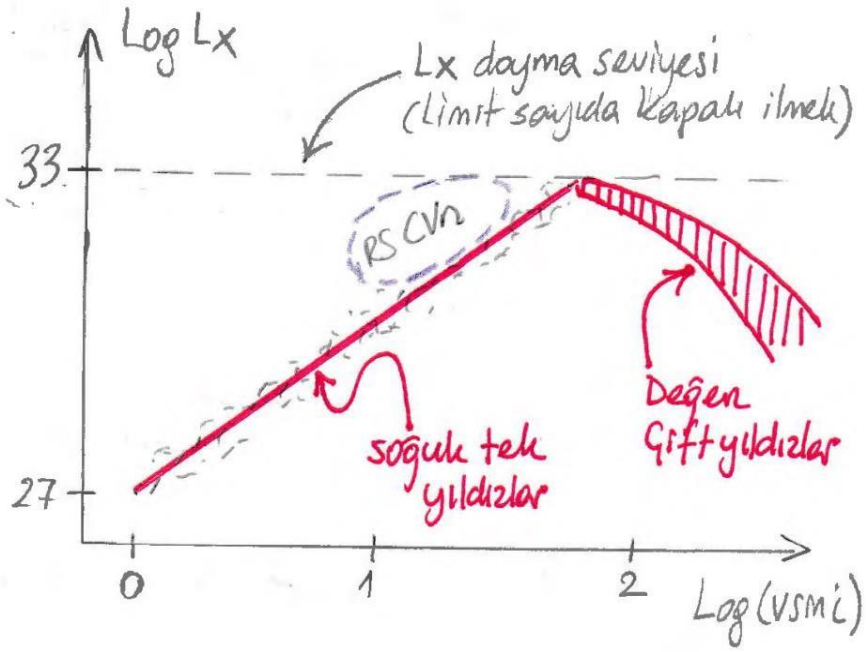
Grafiğin sağ üst köşesinde (Şekil 1.8) kesikli çizgiyle gösterilen doğrusal uzantı, dış katmanı konvektif olan yıldızlar için elde edilen ilişkiyi temsil etmektedir. Ancak bu doğrultunun, tamamen konvektif yıldızlar için geçerli olmadığı açıktır. Bu durum, farklı iç yapıya sahip yıldızlarda farklı dinamo mekanizmalarının etkili olduğunu ve L_x ışıının gücüne ilişkin tek bir genellenebilir bağıntı kurulamayacağını göstermektedir (Selam 2022).

Yıldızların M3.5 tayf türü eşiğinde, tayfsal çizgilerden ölçülen çizgisel dönme hızlarında (vsini) belirgin bir artış gözlenir. Bu tayf türü aralığı, dönme özelliklerini belirleyen manyetik frenleme mekanizmasında yapısal bir değişimin başladığı kritik sınırı temsil eder (Reiners vd. 2008). Uzun koronal manyetik ilmeklere bağlı olarak işleyen bu frenleme süreci, M3.5'ten itibaren etkinliğini yitirmeye başlamakta, ancak L0 tayf türüne kadar tamamen ortadan kalkmamaktadır. Daha soğuk L ve T tayf türü kahverengi cüce yıldızlarda ise frenleme yeniden etkili hâle gelir. Tamamen konvektif olma sınırına yakın M4–M6 tayf türü yıldızlarda bu mekanizmanın izine rastlanmaz. M7 tayf türünden sonraki soğuk yıldızlarda kromosferik aktivite azalmakla birlikte, M7–L4 aralığında flare olaylarının hâlen gözlenebilmesi, dönme–manyetik aktivite ilişkisinin bu evrede zayıfladığını gösterir (Reiners vd. 2008, Schmidt vd. 2015).

Dış katmanı konvektif olan ve ekvatorial düzlemde yüksek dönme hızına sahip yıldızlarda, boylamsal manyetik alan çizgileri konvektif hareketlerle etkileşerek enlemsel yönelimli büyük ölçekli alan yapılarını oluşturur (Weber ve Davis 1967). Koronal manyetik ilmekler şeklinde gözlenen bu yapılar, kromosferik ilmeklerden yaklaşık 10 kat daha uzun olabilir ve içerdiği plazmanın dönme hareketiyle taşınması, açısal momentum kaybına yol açarak etkin bir manyetik frenleme işlevi görür (Matt ve Pudritz 2008).

Bu sürecin önemli bir örneği Güneş'tir. Gençliğinde yaklaşık 10 km/s olan dönme hızı, bu mekanizma sayesinde günümüzde ~2 km/s seviyesine düşmüştür. Wilcox Güneş Gözlemevi'nde yapılan uzun dönemli gözlemler, kutupsal manyetik alanların zamanla değiştiğini ve aktiviteyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Svalgaard vd. 1978; Hoeksema 1995). Kuzey ve güney kutup alanlarının mutlak değerlerinin toplamı, sistemin manyetik dipol momentini verir; dipol momentinin büyük olması, alanın henüz atmosferik aktiviteler tarafından tüketilmediğini, küçük olması ise alanın büyük kısmının bu süreçlerde kullanıldığını ifade eder.

Orta tayf türü F yıldızlarından geç M tayf türüne kadar, kromosferik ve koronal aktivite düzeyi, dönme hızındaki artışa paralel olarak yükselir (Noyes vd. 1984; Wright vd. 2011).



Şekil 1.9 Yıldızlarda dönme hızı ile L_x (X-ışını) ışıyım gücü arasındaki ilişki grafiği (Selam 2022)

Yavaş dönen yıldızlarda L_x ışıyım gücü düşük seviyelerde kalırken, dönme hızı arttıkça L_x belirgin biçimde yükselmekte ve bir süre sonra doygunluk (saturation) bölgesine ulaşmaktadır (Şekil 1.9). Yıldızlardaki L_x ışıyım gücünün belli bir noktadan sonra doygunluğa ulaşmasının üç temel nedeni vardır (Güdel 2004). Birincisi, yıldızın yüzeyi neredeyse tamamen manyetik alan yapılarıyla kaplandığında yeni manyetik alan oluşumu için yer kalmaz ve bu durum L_x 'in daha fazla artmasını engeller. İkincisi, yıldızın konvektif bölgesi enerji taşınımında doğal bir sınıra sahiptir; dönme hızındaki artış bu sınırın ötesinde ek bir enerji üretimine katkı sağlayamaz. Üçüncüsü ise koronal plazmanın L_x üretim kapasitesi belirli bir doyum seviyesine ulaşır; korona belli bir yoğunluk ve sıcaklıktan sonra daha yüksek L_x üretemez. Çok hızlı dönen etkileşimli çift yıldızlarda da manyetik alan dağılımının kutuplara kayması ve korona plazmasının tutulamaması nedeniyle L_x doyum seviyesinden sonra azalmaya başlar (Noyes vd. 1984; Wright vd. 2011).

Yıldızın manyetik dinamo süreçleri açısından ise dönme hızı, Rossby sayısı (Ro) ile ifade edilir (Noyes vd. 1984). Rossby sayısı, dönme periyodu (P_o) ile konvektif çalkantı süresi (τ_s) oranı olarak tanımlanır ($Ro = P_o / \tau_s$) ve dönme hareketinin konvektif bölgelere olan

dinamik etkisini niceliksel olarak ifade eder. Gözlemler, Rossby sayısı $\lesssim 0.1$ olduğunda L_x ışıınım gücünün, yıldızın bolometrik parlaklığına (L_{bol}) oranının doygunluk seviyesine ulaştığını göstermektedir (Wright vd. 2011). Bu eşik değerin altına inildiğinde, yani yıldız çok hızlı döndüğünde, L_x seviyesinin artmadığı, hatta bazı durumlarda azalmaya başladığı görülmüştür. Bu azalma, literatürde “süper-doygunluk” olarak tanımlanmakta ve özellikle düşük Rossby sayısına sahip, genç ve hızlı dönen yıldızlarda gözlenmektedir (Jeffries vd. 2011). Bu olgunun, yıldızın manyetik alan yapısının geometrik olarak doygunluğa ulaşması veya alanın yeniden yapılandırılmaması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Browning vd. 2010).

X-ışıınım gücü, yıldızın genel ışıınım sınıfına doğrudan bağlı olmamakla birlikte, tayf türü sabit tutulduğunda çift yıldızların emisyon davranışları tek yıldızlara göre farklılık göstermektedir. Geç tayf türü çift yıldız sistemlerinde dönme hızları çoğunlukla çok yüksektir ve vsini değerleri 100 km/s’nin üzerine çıkabilmektedir. Bu hızlı dönüş manyetik aktiviteyi artırsa da, Rucinski ve Vilhu (1983) temas halindeki çift yıldızlarda (contact binaries) dönme hızının artmasına rağmen L_x ’in azaldığını göstermiştir. Bunun nedeni, hızlı dönme sonucu oluşan boylamsal manyetik alanların kısa sürede enlemsel doğrultuya yönelmesi ve çok büyük ölçekli manyetik ilmeklerin oluşmasıdır. Yıldız yarıçapının yaklaşık beşte birine ulaşabilen bu yapılar zamanla kararsız hale gelerek açılmakta ve plazmanın yıldız atmosferinden uzaya atılmasına yol açmaktadır. Bu süreç, L_x emisyon gücünde azalmaya neden olmaktadır (Rucinski ve Vilhu 1983; Jardine vd. 2006).

Yakın çift yıldızlarda gelgit etkileşimleri de dönme hızını artıran önemli bir etkidir. Dairesel yörüngeli yakın sistemler zamanla eşzamanlı (tidally locked) hale gelir ve bileşenler yörünge periyotlarıyla aynı sürede dönmeye başlar. Bu durum, benzer tayf türündeki tek yıldızlara kıyasla daha yüksek dönme hızlarına ve artan manyetik aktiviteye yol açar (Zahn 1977). Eliptik yörüngeli sistemlerde ise gelgit etkileşimleri yörünge boyunca değişkenlik gösterdiğinden eşzamanlılık tam olarak sağlanamaz ve dönme hızları tek yıldızlara kıyasla daha düşük kalır (Meibom ve Mathieu 2005).

1.4 Flare Enerjisi

Flare olgusu ilk kez 1859 yılında Güneş üzerinde Carrington ve Hodgson tarafından gözlemlenmiştir (Carrington 1859, Hodgson 1859). Bu olay, literatürde Carrington olayı olarak adlandırılmakta ve Güneş üzerinde kaydedilmiş en güçlü flare olarak kabul edilmektedir (Hudson 2021). Carrington olayı sırasında açığa çıkan toplam enerji yaklaşık 4×10^{32} erg olarak hesaplanmıştır (Hudson 2021). Buna karşılık, Güneş'te gözlenen tipik flare enerjileri çoğunlukla 10^{26} – 10^{27} erg düzeyindedir. Bu değerler, Güneş flare olaylarının çoğunlukla orta ve düşük enerjili manyetik yeniden bağlantı süreçleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir (Benz ve Güdel 2010). Düşük kütleli kırmızı cüce yıldızlarda gözlenen flare'ler ise Güneş'e kıyasla çok daha enerjik olabilmektedir. Literatürde bu yıldızlarda tespit edilen süperflare olarak adlandırılan flare enerjileri 10^{34} – 10^{36} erg aralığına kadar ulaşabilmektedir (Gershberg 2005). Bu durum, kırmızı cüce yıldızların güçlü manyetik alanları ve yüksek seviyedeki kromosferik aktiviteleri ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca bu tür yüksek enerjili flare olaylarının gezegen atmosferleri üzerinde önemli etkiler yaratabileceği ve yaşanabilirlik koşullarını sınırlayabileceği düşünülmektedir (Shibata ve Magara 2011).

Flare enerjisinin gözlemsel olarak değerlendirilmesinde en sık kullanılan parametrelerden biri eşdeğer süre (Equivalent Duration, ED) kavramıdır. Bu kavram ilk kez Gershberg (1972) tarafından tanımlanmış olup, sonraki yıllarda birçok çalışmada flare istatistiklerinin belirlenmesinde temel bir ölçüt olarak kullanılmıştır (Dal 2009, 2011). ED, flare sırasında yıldızın taban akısına oranla yayılan fazla ışıının zamana göre integrali alınarak hesaplanır. Böylece bir flare, hem genliği hem de süresi tek bir parametre ile temsil edilmiş olur. Bu yöntem, farklı büyüklükteki flare'lerin istatistiksel olarak karşılaştırılmasına olanak tanıdığı için yaygın biçimde tercih edilmektedir. ED, flare sırasında elde edilen fazla ışıının taban akıya oranının zamana göre integrali olduğundan doğrudan bir enerji ölçümü değildir. Bu nedenle ED değeri saniye ya da dakika birimiyle ifade edilir ve flare olayının yıldızın parlaklığını ne kadar süreyle artırdığını gösterir (Gershberg 1972; Dal 2009, 2011). Sonuç olarak ED, farklı parlaklıktaki yıldızlarda ve değişen gözlem koşullarında tespit edilen flare'lerin güvenilir biçimde karşılaştırılmasına imkân tanıyan temel bir gözlemsel parametredir.

ED'nin yıldızın taban parlaklığı ($L_q \approx L_{bol}$) ile çarpılması, flare'in erg biriminde enerji değerini verir ($E_{flare} = ED \times L_q$) (Hawley ve Pettersen 1991; Dal 2011). L_q ışıyım gücü CGS biriminde erg s^{-1} , ED ise saniye cinsinde olduğu için bu çarpım doğal olarak erg biriminde toplam enerjiye karşılık gelir. Bu nedenle ED, flare enerjisiyle doğru orantılı olup, farklı yıldızların manyetik etkinlik düzeylerini karşılaştırmak için güvenilir bir göstergedir. Eşdeğer süre aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$ED = \int \frac{I_{flare} - I_0}{I_0} dt \quad (1.1)$$

Burada:

ED : Flare sırasında taban akıya göre oluşan fazla ışıyımın zaman integrali olup saniye (s) veya dakika (dk) biriminde ifade edilen ve bir enerji parametresi olarak kullanılan bir ölçüdür.

I_{flare} : Flare anındaki akı değeri

I_0 : Flare öncesindeki taban akı değerini göstermekte olup Kepler'de ($\sim 420\text{--}900\text{ nm}$) ve TESS'te ($\sim 600\text{--}1000\text{ nm}$) geniş optik bantta ölçülmektedir.

t : Flare süresi

Bu eşitlik (1.1), flare boyunca normal akıya göre meydana gelen tüm fazlalık akının zaman içinde entegre edilerek süre cinsinden ifade edilmesini sağlar. Başka bir deyişle ED, yıldızın toplam parlaklığının ne kadar süreyle flare genliğinde parladığını gösteren zamansal bir ölçüttür. Bu çalışmada geliştirilen *FlareFind* yazılımı, her tespit edilen flare için ED değerini otomatik olarak hesaplamaktadır. Hesaplamalarda flare olayının başlangıç ve bitiş noktaları (t_r ve t_q) ile yıldızın taban akısı dikkate alınmış, akı-farkı eğrisinin flare'e karşılık gelen bölümü trapez integrasyon yöntemiyle sayısal olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen ED değerleri hem saniye (s) hem de dakika (dk) biriminde ifade edilmiştir. OPEA modeliyle yapılan uyum analizleri, $\log_{10}(ED)$ (saniye cinsinden değerler) üzerinden gerçekleştirilmiştir.

1.5 Flare Modelleme ve Flare Arındırma

Flare, yalnızca fotometrik ışık eğrilerinde geçici parlaklık değişimlerine yol açmakla kalmaz; aynı zamanda yıldızın iç yapısı, manyetik alan topolojisi, plazma dinamikleri ve kromosferik–koronal yapısı hakkında da önemli bilgiler sağlar (Benz ve Güdel 2010, Davenport 2014). Flare olaylarının doğru modellenebilmesi için yalnızca tespit edilmeleri yeterli değildir; flare süresi ($t_q - t_r$), tepe parlaklık genliği, eşdeğer süre (ED), sönmüleme hızı ve spektral enerji dağılımı gibi temel parametrelerin de doğru biçimde ölçülmesi gerekir. Bu parametreler, yıldızın manyetik alan gücü, enerji salınım mekanizmaları ve plazma ısınma süreçlerinin anlaşılmasında önemli rol oynamaktadır (Shibata ve Magara 2011).

Bu bölümde önce flare süreleri ile eşdeğer süre (ED) arasındaki ilişkinin OPEA (One Phase Exponential Association) modeliyle nasıl tanımlandığı açıklanmış, ardından ışık eğrilerindeki flare katkılarının çıkarılarak arındırılmış verilerin (flare arındırma) elde edilme adımları sunulmuştur.

1.5.1 Flare modelleme

Bu tezde flare modellemesi için OPEA yaklaşımı tercih edilmiştir (Dal 2011). OPEA, flare süresi ile eşdeğer süre (ED) arasındaki ilişkiyi üstel biçimde tanımlayarak, kısa ve uzun süreli flare'lerin istatistiksel özelliklerini aynı çerçevede açıklayabilmektedir. Çalışmanın kapsamı gereği, modellemenin ayrıntılı biçimde gösterilmesi için temsili bir yıldız seçilmiş ve OPEA analizi bu hedef üzerinde uygulanmıştır (Çizelge 1.1). Böylece yöntemin işleyişi, parametrelerin anlamı ve modelin flare enerjisiyle ilişkisi somut bir örnek üzerinden ortaya konmuştur. Flare parametrelerini istatistiksel olarak modellemek amacıyla farklı matematiksel yaklaşımlar geliştirilmiştir (Shibata ve Magara 2011; Benz ve Güdel 2010). Lineer modeller, süre–ED ilişkisindeki doygunluk eğilimini yakalayamaz. Logaritmik modeller ise kısa süreli flare'lerdeki hızlı artışı kısmen temsil etse de uzun sürelerdeki yavaşlama davranışını doğru veremez. Bu nedenle hem kısa hem uzun süreli olaylarda tutarlı sonuç veren üstel temelli modeller tercih edilmektedir (Spanier ve Oldham 1987; Motulsky 2007; Dal ve Evren 2011). Bu bağlamda, OPEA

modeli, flare süresi ile ED arasındaki ilişkiyi üstel biçimde tanımlayarak, logaritmik ölçekte ifade edilen ED değerinin flare süresi arttıkça belirli bir üst sınıra (Plateau) yaklaşacağını varsayar. Modelde tanımlanan Plateau parametresi, yıldızın ulaşabileceği maksimum ED seviyesini ve dolayısıyla flare enerjisinin üst sınırını temsil eder. Bu yaklaşım, yıldızın flare enerjisi üretme kapasitesini, manyetik aktivite düzeyini ve nadir gerçekleşen yüksek enerjili flare'lerin olasılığını nicel olarak değerlendirmeyi mümkün kılar (Dal 2011).

OPEA Modelinin temel denklemi şu şekildedir:

$$y = y_0 + (\text{Plateau} - y_0) (1 - e^{-kx}) \quad (1.2)$$

Bu denklemde:

- x: Flare toplam süresi ($t_r - t_q$ arası),
- y: Logaritmik eşdeğer süre (log ED),
- y_0 : En kısa süreli ve düşük enerjili flare'lerde log(ED)'nin ulaştığı taban düzey,
- Plateau: Flare süresi arttığında log ED'nin ulaşabileceği üst sınır,
- k: Üstel artış katsayısı; flare süresi arttıkça log ED'nin Plateau seviyesine yaklaşma hızını belirler.

OPEA denkleminde veriler, flare süresi (x) ve eşdeğer süre (ED, y) gözlemsel olarak hesaplanır ve modelin giriş değerlerini oluşturur. Bu denklemde bilinmeyen parametreler y_0 (taban ED), P (Plateau) ve k (hız katsayısı) olup gözlemlerden doğrudan elde edilmez. Parametreler, gözlemden elde edilen flare toplam süresi–ED değerleri kullanılarak OPEA modelinin en küçük kareler yöntemiyle verilere en iyi uyumu sağlayacak şekilde hesaplanır. Bu yöntemde, modelin tahmin ettiği değerler ile gözlenen ED değerleri arasındaki fark karelerinin toplamı en aza indirilerek en uygun parametreler belirlenir. Uyum sonucunda elde edilen Plateau yıldızın flare enerjisinin yaklaşabileceği üst sınırı; k parametresi flare ED değerlerinin bu üst sınıra hangi hızla yaklaştığını; y_0 ise en kısa süreli ve düşük enerjili flare'lerin ulaştığı taban ED düzeyini ifade eder.

Bu tez çalışmasında, *FlareFind* algoritması kullanılarak TIC146559015 örten çift yıldızına ait 5. Sektör SAP akıları kullanılmıştır. Yıldız, örten çift sistem yapısı ve uygun sinyal–gürültü oranına sahip TESS verileri nedeniyle örnek olarak seçilmiştir. Çalışmanın kapsamı, yöntem ve algoritmanın işleyişini göstermek üzerine kurulduğundan çok sayıda hedef yerine sınırlı sayıda temsili hedef üzerinde ayrıntılı analiz yapılması tercih edilmiştir. Farklı sektörler ve veri setleri arasındaki seviye farklılıklarının flare parametrelerine doğrudan yansımamasını sağlamak için her flare olayı için tepe akısı (Fp) ve eşdeğer süre (ED) hesapları yerel zemin akısına göre tanımlanmıştır. Flare tespitlerinde SAP akıları kullanılmış, çünkü PDC_SAP işleminde küçük genlikli ve kısa süreli flare’lerin bastırılma ihtimali bulunmaktadır. Bu bölümde OPEA modellemesinin işleyişini göstermek amacıyla temsili bir hedef seçilmiş olup, tablolar yalnızca bu örneğe ait sonuçları içermektedir. Analiz yöntemi diğer hedeflerde de aynı şekilde uygulanmıştır.

Flare olaylarının temel noktaları şu şekilde tanımlanmıştır:

- tr (başlangıç zamanı): Flare akı artışının başladığı an.
- tp (tepe zamanı): Flare ışık eğrisinde maksimum akının görüldüğü an.
- tq (son zaman): Flare akısının tekrar taban seviyesine döndüğü an.

Her bir flare için tr ve tq zamanları arasındaki farktan süreler (dakika cinsinden) hesaplanmış, bu sürelerden eşdeğer süre (ED, dk) değerleri türetilerek OPEA modellemesinde girdi olarak kullanılmıştır (Yoldaş ve Dal 2022). Örnek olarak, TIC 146559015 hedefi için *FlareFind* tarafından tespit edilen altı flare olayına ilişkin süre ve ED değerleri Çizelge 1.1’de sunulmuştur.

Çizelge 1.1 Örnek olarak, TIC146559015 için *FlareFind* ile tespit edilen altı flare olayının tp, tq–tr süreleri (dk) ve eşdeğer süreleri (ED, dk)

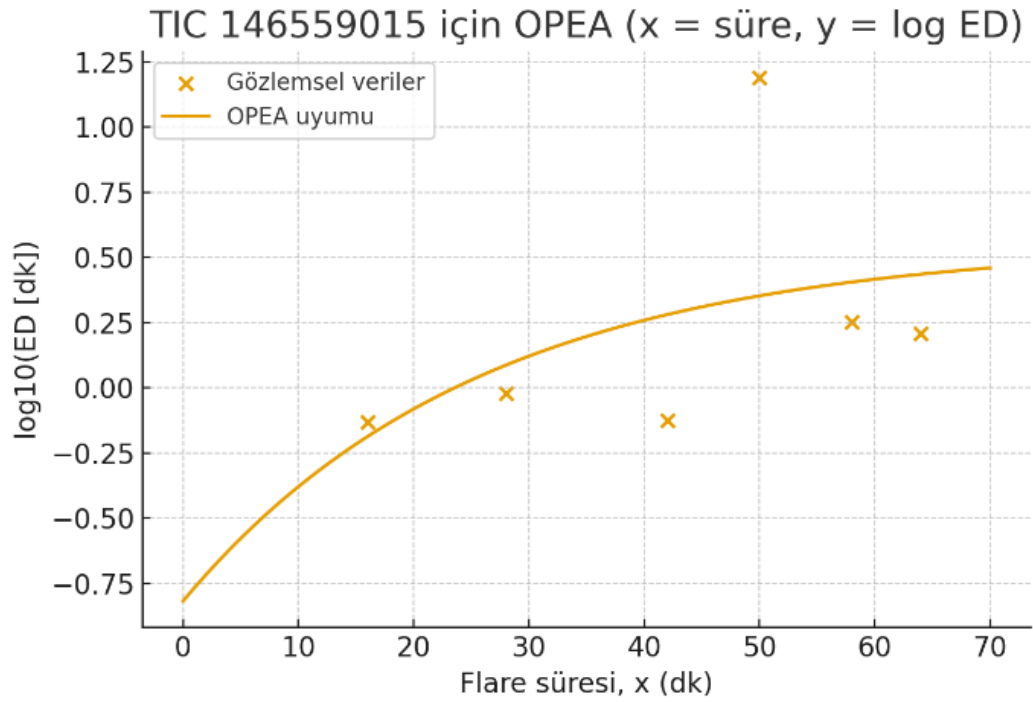
No	tr (başlangıç)	tp (tepe)	tq (sönüm)	ED (dk)	Süre (tq-tr) (dk)
1	702.0	705.0	727.0	15.49	50.00
2	3069.0	3072.0	3101.0	1.61	64.00
3	3255.0	3261.0	3269.0	0.95	28.00
4	5039.0	5042.0	5060.0	0.75	42.00
5	10063.0	10068.0	10092.0	1.78	58.00
6	15809.0	15812.0	15817.0	0.74	16.00

Çizelge 1.2 Örnek olarak, TIC146559015 yıldızı için OPEA modelinden elde edilen parametreler

Parametre	Değer
y_0	-0.8182
Plateau	0.5509
k	0.0386
tau (dk)	25.9324

Çizelge 1.1’de TIC146559015 yıldızında tespit edilen flare süreleri 16–64 dakika arasında değişirken, eşdeğer süreler (ED) genellikle 1–2 dakikanın altında kalmaktadır. Ancak birinci flare’de ($ED \approx 15.5$ dk, süre ≈ 50 dk) diğerlerinden çok daha büyük bir enerji salınımı gözlenmiştir. Çizelge 1.2’de verilen OPEA parametreleri, Sektör 5’ten seçilen temsili flare örnekleri üzerinde hesaplanmıştır. Bu amaçla *FlareFind* ile tespit edilen altı flare olayı kullanılmış ve süre–ED ilişkisi üzerinden OPEA uyumu gerçekleştirilmiştir.

- $y_0 = -0.8182$ en kısa süreli flare’lerin $\log(ED)$ taban seviyesini temsil eder. Bu değer, küçük ve düşük enerjili flare’lerde ED’nin oldukça sınırlı kaldığını göstermektedir.
- Plateau = 0.5509 $\log(ED)$ düzeyinde asimptotik üst sınır olup, bu yıldızda tipik flare olaylarının ED değerlerinin $\log(ED) \approx 0.55$ (≈ 3.5 dk) civarında doygunluğa ulaştığını ifade etmektedir.
- $k = 0.0386 \text{ dk}^{-1}$ ED değerlerinin Plateau seviyesine yaklaşma hızını tanımlar.
- Bu katsayıdan türetilen $\tau = 25.9$ dk, $\log(ED)$ değerinin Plateau seviyesine yaklaşma hızını belirleyen zaman ölçeğidir; yani flare süreleri bu zaman aralığında artarken ED değerleri doyuma yaklaştırmaya başlar.



Şekil 1.10 TIC146559015 için flare süreleri ile $\log(\text{ED})$ değerleri arasındaki ilişki ve OPEA fonksiyonuna yapılan uyum (fit) grafiği

Şekil 1.10’da flare süreleri ile $\log(\text{ED})$ değerleri arasındaki ilişki ve OPEA modelinin en iyi uyumu birlikte gösterilmiştir. Grafik, kısa süreli flare’lerde $\log(\text{ED})$ değerlerinin düşük kaldığını, süre arttıkça $\log(\text{ED})$ ’nin yükseldiğini ancak artış hızının yavaşlayarak Plateau değerine yaklaştığını göstermektedir. Bu davranış, flare enerjisinin manyetik yapı tarafından belirlenen bir doyum seviyesinde sınırlanmaya başladığını göstermektedir.

Örnek flare’ler incelendiğinde, 16–28 dakika aralığındaki flare’lerin ED değerleri 1 dakikanın altında kalmış ve $\log(\text{ED})$ düşük seviyelerde bulunmuştur. Buna karşılık, 50–60 dakikalık daha uzun süreli flare’lerde ED değerleri artmış, fakat $\log(\text{ED})$ yine de modelde öngörülen Plateau sınırının altında kalmıştır. Özellikle birinci flare’in ($\text{ED} \approx 15.5 \text{ dk}$) diğerlerinden belirgin şekilde ayrılması, yüksek enerjili nadir flare’lerin OPEA uyumunda Plateau parametresine en güçlü katkıyı yapan flare’ler olduğunu göstermektedir.

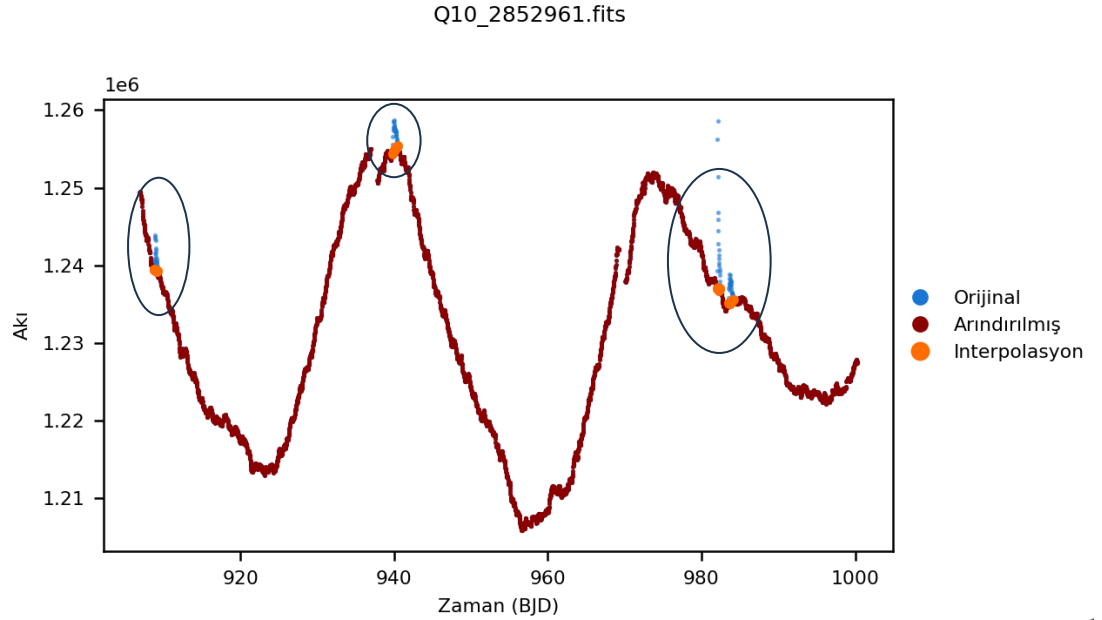
Model parametrelerinden y_0 değeri, en düşük enerjili flare'lerin taban $\log(ED)$ düzeyini; Plateau değeri, yıldızın ulaşabileceği maksimum $\log(ED)$ sınırını; k ve buna bağlı τ ise $\log(ED)$ 'nin bu sınıra ne kadar hızlı yaklaşacağını tanımlar. Bu sonuçlar, incelenen yıldızın tipik flare enerjisinin yaklaşık yarım saatlik bir zaman ölçeğinde doygunluğa ulaştığını göstermektedir.

Sonuç olarak, kısa süreli ve düşük ED değerlerine sahip flare'lerin çoğunlukta olması, yıldızın küçük ölçekli manyetik yeniden bağlantıları sık aralıklarla ürettiğini gösterir. Buna karşılık uzun süreli ve yüksek ED'li az sayıdaki flare'lerin Plateau seviyesine yaklaşması, yıldızda daha büyük ölçekli manyetik yapıların zaman zaman boşalarak süperflare veya CME benzeri yüksek enerjili olaylara yol açabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle OPEA modellemesi, yalnızca flare istatistiklerini betimlemekle kalmaz; aynı zamanda yıldızın manyetik enerji üretim kapasitesini ve karakteristik enerji salınım zaman ölçeklerini ortaya koyan güçlü bir yöntemdir.

1.5.2 Flare arındırma

Işık eğrileri üzerinde yapılan incelemeler, flare olaylarının kısa süreli fakat yüksek genlikli parlaklık artışlarıyla fotometrik çözümlemeyi bozduğunu göstermektedir. Bu tür katkılar, ışık eğrisinde ani dalgalanmalara yol açmakta ve akı değerlerinin ortalamadan sapmalarının karelerinin ortalamasının karekökü olan standart sapma (σ) değerini yükseltmektedir. Standart sapmanın artması, sistemin periyodik ışık değişimlerinin doğru biçimde ortaya çıkarılmasını zorlaştırmakta; özellikle yüksek enerjili flare'ler, periyot analizinde yalancı sinyaller üreterek yıldızın yüzeyindeki lekelerin dönüşü sırasında ortaya çıkan parlaklık değişimlerini, yani dönme modülasyonunu temsil eden periyodik ışık değişimlerini maskeleyebilmektedir. Bu nedenle, flare katkılarının ışık eğrilerinden arındırılması, hem tek yıldızların hem de örten çift sistemlerin temel fotometrik yapılarının güvenilir biçimde incelenebilmesi için zorunlu bir adımdır. Bu amaçla, *FlareFind* algoritması kullanılarak tespit edilen flare'lerin başlangıç (t_r) ve bitiş (t_q) noktaları belirlenmekte; ilgili aralıklar maske uygulanarak dışlanmakta ve söz konusu bölgeler lineer interpolasyon yöntemiyle yeniden doldurulmaktadır (Şekil 1.11). Böylece ışık eğrisinin sürekliliği korunmakta, fakat flare kaynaklı ani akı artışlarının bozucu etkisi ortadan kaldırılmaktadır.

Örnek olarak, KIC2852961 yıldızının 10. çeyrek verisi üzerinde tespit edilen dört flare arındırılmıştır. Arındırma işlemi sonucunda elde edilen flare'sız ışık eğrisi (Şekil 1.11), yıldızın temel fotometrik yapısını çok daha net biçimde ortaya koymuştur. Periyodik ışık değişimlerinin genliği ve dönme evresine göre dağılımı, yani yıldızın kendi eksenindeki dönüşüyle yinelenen parlaklık değişimleri, flare etkilerinin baskılayıcı etkisi olmaksızın izlenebilir hale gelmiştir. Bu durum, yıldızın dönme periyodunun doğru biçimde belirlenmesine ve yüzey etkin bölgelerin (örneğin yıldız lekelerinin) ışık eğrisi üzerindeki etkilerinin daha sağlıklı biçimde incelenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca flare'lerin arındırılmasıyla ışık eğrisindeki gürültü seviyesi düşmüş, periyodik sinyallerin güvenilirliği artmış ve flare'sız bir veri seti elde edilmiştir.



Şekil 1.11 KIC2852961 yıldızının Q10 çeyreği ışık eğrisinin flare'lerden arındırılmış (kırmızı) grafiği. Arındırma sonrası oluşan veri boşlukları, doğrusal interpolasyon yöntemiyle doldurulmuş ve bu bölgeler grafikte halka (o) işaretiyle gösterilmiştir.

2. MATERİYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, geç tayf türü yıldızlarda gözlenen flare olaylarının tespitine yönelik olarak geliştirilen Python tabanlı *FlareFind* yazılımının işleyiş adımları sunulmaktadır. *FlareFind*, ışık eğrilerindeki ardışık akı değişimlerini analiz eden akı-farkı (ΔF) temelli yeni bir yaklaşım uygulamakta ve böylece TESS ile Kepler verilerinde flare olaylarını otomatik, sistematik ve tekrarlanabilir biçimde belirlemektedir. Bu kapsamda önce kullanılan gözlemsel verilerin temel özellikleri tanıtılmış, ardından akı-farkı yönteminin dayanakları, algoritmanın karar mekanizması ve flare parametrelerinin belirlenme süreci açıklanmıştır. *FlareFind* tarafından hesaplanan temel parametreler; flare başlangıç zamanı (t_r), tepe zamanı (t_p), sönümlenme zamanı (t_q), tepe-taban akı oranı (F_p/F_q) ve eşdeğer süre (ED) olup, sonraki bölümlerde yapılan modelleme ve istatistiksel analizlerin temelini oluşturmaktadır.

Bu tezde kullanılan gözlemsel veriler, TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) ve Kepler uzay teleskoplarının sağladığı yüksek hassasiyetli fotometrik gözlemlere dayanmaktadır (Borucki vd. 2010, Ricker vd. 2015). Her iki görev, yıldızların zaman içinde değişen parlaklıklarını izleyerek kısa süreli fotometrik olayların (örneğin flare, örtülme veya geçiş) tespitine olanak tanımaktadır. Çalışmada temel veri kaynağı TESS gözlemleridir; ancak algoritmanın kararlılığını sınamak ve farklı fotometrik koşulları değerlendirmek amacıyla Kepler verileri de ek olarak kullanılmıştır.

Analizlerde, her iki görev için de SAP_FLUX (Simple Aperture Photometry) sütunundaki ham akı (flux) değerleri kullanılmıştır. PDCSAP_FLUX (Pre-search Data Conditioning SAP) sistematik düzeltmeler sırasında kısa süreli tepe yapılarını düzleştirebildiğinden flare analizleri dışında bırakılmıştır. SAP_FLUX sütunları, hem Kepler hem de TESS görevlerinde elektron/saniye (e^-s^{-1}) birimindedir ve doğrudan dedektör sayım oranlarını ifade eder. Işık eğrilerindeki QUALITY bayrakları, her bir veri noktasının güvenilirliğini etkileyen gözlemsel sorunları kodlanmış uyarılar hâlinde gösteren kalite işaretleridir ve bu çalışmada kullanılmamıştır. Bunun yerine *FlareFind* algoritması, akı-farkı (ΔF) dizisi üzerinde ani tek-nokta sıçramaları, negatif sapmalar, süre bakımından tutarsız artışlar ve t_r – t_p – t_q diziliminde flare profiline uymayan olayları otomatik olarak reddettiğinden QUALITY filtresine gerek duyulmamıştır.

Zaman eksenleri görevler arasında farklı biçimlerde tanımlanmıştır:

- Kepler verileri için: BKJD = BJD – 2454833
- TESS verileri için: BTJD = BJD – 2457000

Bu farklar göz önüne alınarak her iki görevdeki zaman ölçekleri, analiz sürecinde ortak bir referansa dönüştürülmüştür.

Uzay teleskoplarının sağladığı akı değerleri gerçek yüzey parlaklığını temsil etmez; dedektörün ölçtüğü görelî fotometrik akıdır. Bu nedenle analizler doğrudan akı değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Astronomide akı (F) ve parlaklık (m) kavramları birbirine dönüştürülebilir olduğundan (Howell 2006), bu tezde kullanılan akı-farkı yöntemi işlevsel olarak parlaklık farkı analizine karşılık gelmektedir.

Bu dönüşüm, özellikle parlaklık biriminde (magnitude) sunulan veriler için Pogson ifadesi (Pogson 1856) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir:

$$F = 10^{-0.4(m-ZP)} \quad (2.1)$$

Burada:

F: akı (flux)

m: parlaklık (magnitude)

ZP: sıfır noktası

Bu çalışmada, TESS fotometrik sistemine ait veri indirimi kılavuzunda verilen sabit sıfır nokta değeri $ZP = 20.44$ kullanılmıştır. Bu sıfır nokta, ham sayım oranlarının (count rate) görelî fotometrik parlaklık sistemine dönüştürülmesinde kullanılan kalibrasyon katsayısını temsil eder.

Sonuç olarak, *FlareFind* yazılımı giriş verisinin akı (flux) ya da parlaklık (magnitude) biçiminde olup olmadığını otomatik olarak belirlemekte; gerekli durumlarda parlaklık verilerini Pogson ifadesiyle verilen eşitlik (2.1) yardımıyla akıya dönüştürerek analiz sürecine dahil etmektedir.

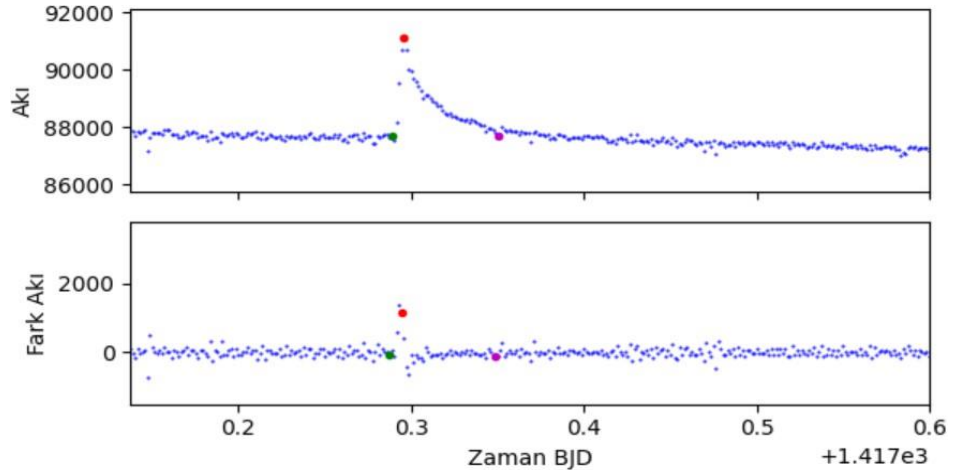
2.1 Flare Tespitinde Akı-Farkı Yaklaşımı

Yıldız ışık eğrilerinde flare olaylarını tespit etmek amacıyla akı-farkı temelli bu yeni yöntem, ardışık gözlem noktaları arasındaki akı değişimlerini hesaplayarak ani parlaklık artışlarını belirginleştirir. Akı-farkı dizisi şu şekilde tanımlanır:

$$\Delta F = F_{i+1} - F_i \quad (2.2)$$

Burada F gözlenen akı değerini, i ise zaman dizisindeki ölçüm sırasını gösterir. Bu işlem, uzun süreli parlaklık değişimlerini ve zemin eğilimlerini bastırırken kısa süreli artışları daha görünür hale getirir. Böylece flare olayları, akı-farkı dizisinde açık biçimde ayırt edilebilir. Bir flare sırasında yıldızın parlaklığı kısa sürede yükselir, ardından daha yavaş biçimde eski seviyesine döner. Bu süreç, akı-farkı dizisinde önce pozitif, sonra negatif değerlere geçiş olarak görülür. Pozitif farklar ($\Delta F > 0$), parlaklığın artmaya başladığı yükselme evresini; negatif farklar ($\Delta F < 0$) ise parlaklığın azaldığı sönme evresini temsil eder (Şekil 2.1).

FlareFind algoritması, akı-farkı (ΔF) dizisinde önce pozitif farklarla başlayan bir yükseliş evresi, ardından negatif farklara geçen ve yükseliş evresinden daha uzun süren bir sönümlenme evresi arar. Böylece algoritma, yalnızca parlaklık artışını değil, aynı zamanda sönümlenme eğiliminin varlığını da dikkate alır. Algoritmanın işleyişini örnek olarak göstermek amacıyla, TIC144539611 örten çift sistemine ait bir flare olayı sunulmuştur (Şekil 2.1). Işık eğrisinde görülen gerçek bir flare, akı-farkı (ΔF) dizisi üzerinde eşik değerinin altında en az bir negatif fark noktası oluşturur. *FlareFind* algoritmasında bu eşik altı ΔF noktası, bir flare olayının gerçekten var olup olmadığını doğrulamada kullanılan ilk belirteçtir.



Şekil 2.1 TIC144539611 örten çift sistemi için bir flare olayının akı ve akı-farkı eğrilerinde senkronize görünümü

Fark dizisi, birinci türev benzeri bir davranış gösterdiğinden uzun dönemli değişimlerin etkisini azaltır ve hızlı değişimlere duyarlı hale gelir. Böylece flare olayları, yavaş parlaklık değişimlerinden ayırt edilebilir hale gelir. Bu yöntemde flare profili akı-farkı üzerinde iki evreyle görünür: yükseliş evresinde ardışık pozitif ΔF değerleri üretilir (F artar), sönmüleme evresinde ise ΔF negatif değerlere döner (F azalır). Yıldızın dönmesinden kaynaklanan yavaş değişimler fark dizisinde yalnızca küçük ΔF değerlerine yol açarken, gerçek flare'ler bu pozitif-negatif ardışıklığı açık biçimde gösterir. Böylece düşük genlikli gerçek parlamalar bile güvenilir biçimde seçilebilir.

Sonuç olarak akı-farkı yaklaşımı:

- Flare olaylarını hem yükselme hem sönmüleme evresiyle birlikte değerlendirir,
- Zemin eğilimlerini bastırarak yanlış tespitleri azaltır,
- Dalgalı ışık eğrilerinde gerçek flare'lerin öne çıkmasını sağlar,
- Kısa süreli ve küçük genlikli parlamaları yakalayabilir.

Geliştirilen *FlareFind* yazılımında, ilk aşamada akı-farkı üzerinden olası flare adayları belirlenir; ardından hem ΔF hem de orijinal akı (F) incelenerek bu adayların gerçek bir flare profiline uyup uymadığı değerlendirilir. Bu amaçla, her adayın tepe parlaklığının yerel taban bölgesine göre anlamlı bir artış gösterip göstermediği kontrol edilir. Tepe

zamanından hemen önceki kısa aralık, yıldızın ‘sakin’ bölgesi olarak alınır; bu aralıktaki akının ortalaması taban akısı (F_q), akı değerlerinin standart sapması ise gürültü seviyesini (σ) temsil eder. Tepe noktasının taban seviyesinden farkı sinyal ($F_p - F_q$) olarak tanımlanır. Bu iki büyüklüğün oranı olan sinyal–gürültü oranı $SNR = (F_p - F_q)/\sigma$ şeklinde hesaplanır. Bu çalışmada $SNR \geq 3$ koşulu kullanılmış olup, bu değer altındaki adaylar gürültüden ayırt edilemeyecek kadar zayıf kabul edilerek reddedilmiştir.

İkinci adımda flare’ın süre yapısı incelenir. Gerçek bir flare profili, kısa sürede hızla parlayıp daha uzun bir zamanda kademeli olarak sönmesi şeklindedir. Bu nedenle *FlareFind*, yükseliş süresi (t_r ’den t_p ’ye kadar olan süre) ve sönüm süresi (t_p ’den t_q ’ye kadar olan süre) arasındaki oranı denetler. Çok kısa süren tek nokta benzeri sıçramalar veya yükseliş süresine göre aşırı kısa kalan sönümler gerçek parlama profiliyle uyuşmadığından elenir. Gerekli durumlarda algoritma, sönüm ucunu (t_q) biraz ileri kaydırarak tepe sonrasındaki akının gerçekten taban seviyesine dönüp dönmediğini yeniden kontrol eder.

Tepe çevresinin şekli de ayrıca değerlendirilir. Bir flare olayında tepe noktası, çevresine göre belirgin ve içbükey bir yapı gösterir; yani tepenin hemen sağında ve solunda akı, tepeye göre daha düşüktür. *FlareFind*, tepe zamanının bir öncesi ve bir sonrasındaki akı değerlerini kullanarak bu içbükeyliği sayısal olarak kontrol eder. Tepe bölgesi çok düz, yuvarlak veya düzensiz ise ve aynı zamanda SNR de düşükse, bu adayın gerçek bir flare olma olasılığı zayıf kabul edilir.

Uzun süreli dalgalanmalar ve yavaş parlaklık değişimleri flare benzeri sahte yapılar üretebileceği için, ışık eğrisi ayrıca yumuşatılmış bir sürümüyle karşılaştırılır. Işık eğrisi birkaç saatlik bir pencerede ortalama alınarak düzleştirilir; bu yumuşatılmış eğri orijinal akıdan çıkarılarak yalnızca kısa süreli ani artışları temsil eden artık (residual) bileşen elde edilir. Gerçek bir flare’de bu artık bileşeni üzerinde belirgin bir tepe vardır ve bu tepe sonrasında artık akı düzenli biçimde azalır. Eğer artık eğrisinde tepe zayıfsa, tepe sonrasında net bir azalma yoksa veya artık bileşen çok sık yön değiştiriyorsa, olay dalga veya gürültü kökenli kabul edilerek reddedilir.

Son olarak, ölçümlerin zaman içindeki düzeni kontrol edilir. Tepe ve sönüm bölgelerinin bulunduğu aralıkta birkaç kadanstan daha uzun gözlem boşluğu varsa aday güvenilir kabul edilmez. Böylece yalnızca zaman eksenini boyunca yeterince sık ölçülmüş ve tepe öncesi ile sonrası davranışı kesintisiz izlenebilen adaylar değerlendirilir. Güçlü ve uygun ölçülmüş flare olayları için tepe sonrasındaki sönüm evresi üstel bir modele oturtulur. Modelin ışık eğrisini ne kadar iyi karşıladığına ve akının taban seviyesine ne zaman yaklaştığına bakılarak t_q noktası daha kararlı bir zaman değerine taşınabilir.

Bu sayısal kontroller birlikte ele alındığında *FlareFind*, yalnızca taban gürültüsünün belirgin biçimde üzerinde, hızlı yükseliş ve daha yavaş sönüm yapısı gösteren, akı-farkı dizisinde pozitif ve negatif evreleri net biçimde ayrılabilen ve artık eğrisi üzerinde gerçek bir tepe-sönüm davranışı sergileyen flare adaylarını kabul eder. Böylece dalgalı ışık eğrilerinde tek nokta sıçramalarından, yavaş parlaklık değişimlerinden ve veri boşluklarından kaynaklanan sahte tespitler en aza indirilirken, gerçek flare profiline uygun olanlar güvenilir biçimde seçilmiş olur. Aşağıda algoritmanın işleyişi adım adım özetlenmiştir.

1. Girdi hazırlama: Dosyadan zaman ve akı sütunları okunur. NaN, sonsuz, ölçüm ve hesaplama sırasında ortaya çıkan hatalı veri noktaları temizlenir. Girdi parlaklık birimindeyse Pogson ifadesiyle akıya dönüştürülür. Zaman birimi (BKJD veya BTJD) ve kadans (dt_med ; ardışık ölçümler arasındaki ortalama zaman aralığı) otomatik olarak belirlenir. Kadans değerinin otomatik hesaplanması, verinin SC (Short Cadence; ~1–2 dk) veya LC (Long Cadence; ~30 dk) olup olmadığının da program tarafından kendiliğinden tanınmasını sağlar. Böylece flare tespit eşiği ve ΔF dizisinin hassasiyeti verinin zaman çözünürlüğüne uygun olarak belirlenir.
2. Ardışık akı noktaları arasındaki fark $\Delta F = F(i+1) - F(i)$ olarak hesaplanır. Bu dizi, ışık eğrisindeki ani parlaklık artışlarını belirginleştirir ve flare tespitinin temelini oluşturur.
3. Dalgalı testinin uygulanması: Işık eğrisindeki yavaş zaman ölçekli parlaklık değişimleri, örneğin yıldızın dönmesinden kaynaklanan modülasyonlar, lekelerin

oluşturduğu uzun periyotlu dalgalanmalar ve genel zemin eğilimleri kayan pencere yöntemiyle ayrıştırılır. Bu işlem, düşük frekanslı (uzun periyotlu) bileşenlerin etkisini azaltarak kısa süreli ani parlaklık artışlarının ön değerlendirmeye alınmasını sağlar.

4. Aday tepe seçimi: Kısa pozitif fark koşulları ve uzun negatif fark koşulları, ardışık farkların birikimli toplamına dayanan CUSUM benzeri bir kümülatif toplam yöntemiyle birleştirilir.
5. Tepeyi akı tepesine oturtma: Tepe çevresindeki akı değerleri incelenir ve maksimum parlaklık noktası bulunur. Bazı durumlarda tepe çevresi düzleşir ve akı bir süre boyunca hemen hemen sabit kalır. Böyle durumlarda, orijinal tp zamanına en yakın maksimum nokta seçilerek tepe konumu belirlenir.
6. tr ve tq zamanlarının belirlenmesi: Bir flare üzerinde tr (flare başlangıç zamanı), akı-farkı dizisinde değerlerin pozitifleştiği ve parlaklık artışının başladığı ilk noktadır. tq (flare sönümlenme zamanı) ise akı-farkının yeniden negatife dönerek akının taban seviyesine yaklaştığı andır. Dalgalı veya gürültülü verilerde, bu noktalar belirlenirken yerel zemin istatistikleri dikkate alınır.
7. Ön filtreler: Bu aşamada, akı-farkı dizisinden seçilen flare adaylarının orijinal akı (F) eğrisindeki beklenen parlama biçimiyle uyuşup uyuşmadığı değerlendirilir. Öncelikle gözlem aralıkları incelenir; $6 \times dt_med$ 'den (yaklaşık altı kadans) uzun boşluk içeren olaylar süresiz kabul edilerek elenir. Ardından, akı eğrisi üzerinde yerel sinyal-gürültü oranı (SNR), süre ve eğrilik (curvature) koşulları değerlendirilir; genliği düşük, olağan dışı kısa ya da uzun olaylar ve sönümlenme süreci her zaman yükseliş evresinden daha uzun değilse reddedilir. Tepe öncesinde kısa süreli bir parlaklık azalması olup olmadığı incelenir. Gerçek flare'lerde genellikle tepe öncesinde küçük bir parlaklık çukuru (anti-minima) bulunur ve bu çukurdan sonra akı hızla yükselir. Bu durum *FlareFind* algoritmasında ek bir doğrulama ölçütü olarak kullanılır; ancak anti-minima davranışı her flare için zorunlu bir özellik değildir ve diğer kriterlerle birlikte değerlendirilir. Son olarak ΔF dizisinde pozitif (yükseliş) ve negatif (sönümlenme) farkların ardışık biçimde izlenip izlenmediği kontrol edilir. Bu aşama, flare adayının süre, genlik, eğrilik ve işaret ardışıklığı açısından gerçek bir flare'in

yükseliş–tepe–sönüm yapısıyla uyumlu olup olmadığını sınamak için uygulanır. Böylece tutarsız veya sahte adaylar elenir.

8. Fit'in uygulanabilirliği ve tq'nin modelle iyileştirilmesi: Düşük sinyal-gürültü oranına sahip flare adaylarında, tepe sonrasındaki sönümlenme evresi bir üstel modele uydurulur. Böylece tq zamanının, gürültüden etkilenmeyen daha kararlı bir noktadan elde edilmesi amaçlanır. Bu çalışmada tq değeri, modelin gözlemleri yeterince iyi açıkladığı ve sönümlenme eğrisinin taban seviyesine yaklaştığı zaman noktası olarak seçilir. Bu amaçla aşağıdaki üstel model kullanılır:

$$F(t) = b + m(t - t_0) + A \cdot \exp[-(t - t_0)/\tau] \cdot H(t - t_0). \quad (2.3)$$

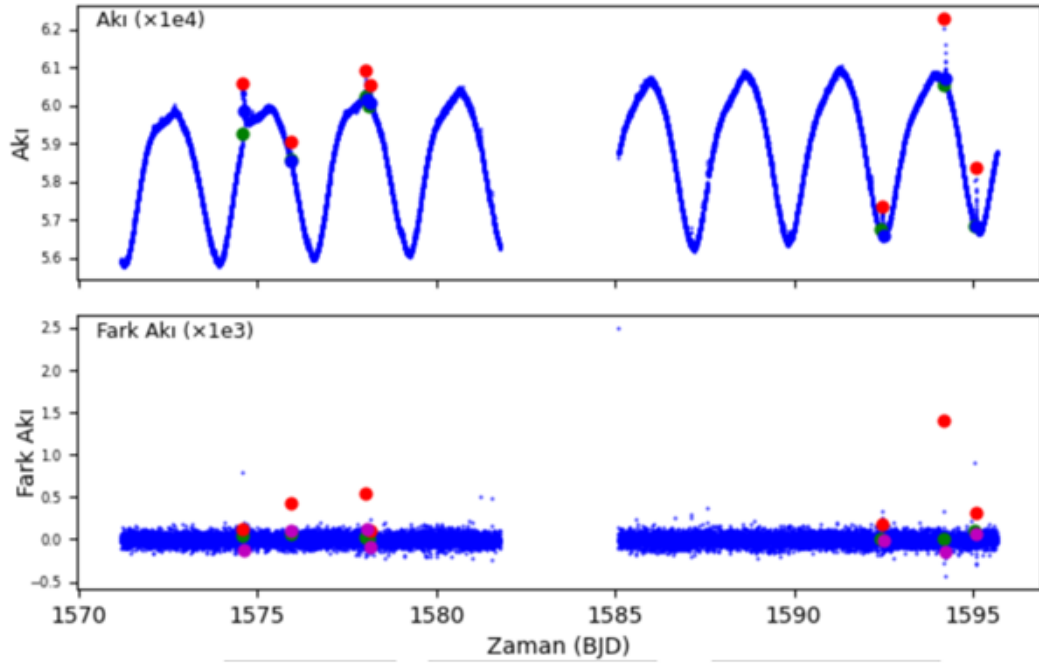
Burada $F(t)$ gözlenen akı, b taban (quiescent) akı düzeyi, m yerel eğim katsayısı, A flare genliği, t_0 tepe zamanı, τ sönümlenme zaman sabiti ve $H(t - t_0)$, Heaviside adım fonksiyonudur; $t \geq t_0$ için 1, $t < t_0$ için 0 olarak tanımlanır (Gershberg 1972, Dal 2012, Davenport 2014). Ayrıca yalnız sönüm evresi için ikinci bir üstel uyum (fit_refine) denenerek model doğruluğu artırılır. Fit işleminden önce, tepe çevresinin sinyal-gürültü oranı A/σ_{zemin} ölçütü ile değerlendirilir.

Burada A flare genliğini, σ_{zemin} ise tepe çevresindeki yerel gürültü seviyesini ifade eder. A/σ_{zemin} oranı, üstel model uygulanmadan önce sinyalin gürültünün belirgin biçimde üzerinde olup olmadığını test eden bir SNR kontrolüdür. Oran düşükse, fit uygulanması anlamlı olmayacağından modelleme adımı devre dışı bırakılır.

FlareFind yazılımında matematiksel fit, yalnızca sönümlenme evresinin kararlı biçimde belirlenmesi amacıyla uygulanır. Tepe sonrasında gözlenen akı, üstel sönüm modeline uydurularak (Gershberg 1972, Dal 2011, Davenport 2014) tq zamanı gürültü etkisinden bağımsız şekilde yeniden hesaplanır. Fit işlemi ΔF tabanlı tespit mekanizmasının tamamlayıcısıdır ve yalnızca yeterli sinyal-gürültü oranına sahip flare'lerde devreye girer.

9. Yakın tepe çatışmalarının çözülmesi: Zaman ekseninde birbirine çok yakın veya örtüşen flare adayları karşılaştırılır. Aynı aralıkta birden fazla tepe tespit edilirse, akı genliği ve toplam akı alanı daha büyük olan olay korunur, diğeri elenir.
10. Tekleştirilmiş kabul ve sahte flare elemesi: Tekleştirilmiş kabul ve sahte flare elemesi aşamasında, ışık eğrisi geniş bir pencerede ortalama alınarak yumuşatılır ve bu eğriden artık (residual) bileşen elde edilir. Gerçek bir flare olayında, bu artık üzerinde belirgin bir tepe oluşur ve tepe sonrasında akı düzenli biçimde azalır. Eğer artık tepe zayıfsa ya da tepe sonrası yeterli azalma (negatif adım) gözlenmiyorsa, olay sahte olarak değeriendirilir ve elenir. Ancak sinyal-gürültü oranı yüksek olan güçlü flare’lerde bu koşul esnek tutulur; artık zayıf olsa bile, olayın flare profiliyle uyumlu olması durumunda kabul edilir. Bu adım, zayıf parazitlerin elenmesini ve yalnızca gerçek flare profillerinin korunmasını sağlar.
11. Çıktı üretimi: Kabul edilen flare olayları için t_r , t_p ve t_q zamanları, F_p/F_q oranı, süre değeri ve Eşdeğer Süre (ED) hesaplanır. Sonuçlar grafik olarak akı ve akı-farkı eğrii ile birlikte aynı anda görüntülenir.

Bu algoritmada belirleyici adımlar akı-farkına dayanır. Model uyumu yalnızca düşük SNR veya ek doğrulama gereken durumlarda devreye girer; özellikle t_q zamanını daha doğru belirlemek için kullanılır. Böylece *FlareFind*, flare’leri güvenilir biçimde ayırır.



Şekil 2.2 *FlareFind* kullanılarak TIC141914082'nin TESS Sektör 7 verisinde tespit edilen yedi flare olayı. Üst panel akı serisini, alt panel akı-farkı dizisini göstermektedir; tr–tp–tq işaretlenmiştir

Şekil 2.2, akı-farkı algoritmasının işleyişini ve yöntemin çalışma biçimini örneklemek amacıyla sunulmuştur. Üst panelde orijinal akı serisi, alt panelde ise ardışık gözlemler arasındaki farkların oluşturduğu akı-farkı dizisi yer almaktadır. *FlareFind* algoritması, bu fark dizisinde önce pozitif, ardından negatif değerlere geçiş yapan bölgeleri belirleyerek flare olaylarını saptar. Pozitif akı-farkı değerleri parlaklığın hızlı artışını, negatif akı-farkı değerleri ise sönmüleme sürecini temsil eder. Bu örnek veri, algoritmanın bir flare olayını nasıl tanımladığını ve tr–tp–tq noktalarını nasıl işaretlediğini göstermektedir.

- Uzun süreli, dönme modülasyonlu veya dalgalı ışık eğrilerinde zemin eğilimi flare benzeri sahte flare sinyallerine neden olabilir. ΔF dizisi, bu yavaş değişimleri bastırarak yalnızca ani enerji boşalmalarını öne çıkarır.
- Kısa kadanslı (1–2 dakika) verilerde, düşük genlikli gerçek olaylar gürültüyle karışabilir. ΔF 'nin pozitif-negatif ardışıklık kuralı bu tür küçük olayların ayırt edilmesini sağlar.

- Kepler LC verisi veya TESS LC (FFI; Full Frame Image, TESS'in tüm algılayıcıyı kapsayan 30 dakikalık görüntüleri) flare'in ayrıntılı şeklini kaybettirir; ancak ani parlaklık değişimlerini tamamen yok etmez. *FlareFind* bu değişimleri akı-farkı (ΔF) üzerinden yakaladığı için LC verisinde bile flare tespiti mümkündür.

FlareFind algoritması bu fark dizisini doğrudan karar mekanizmasının merkezine yerleştirir. Her flare'in yükseliş, tepe ve sönüm evreleri ΔF 'nin işaret yapısı üzerinden belirlenir. Tepe noktası, pozitif farkların maksimum olduğu yerle tanımlanır; sönümlenme sonu, farkın negatife dönüp sifıra yakınsadığı nokta olarak seçilir.

Son aşamada, seçilen flare şekli, süre–genlik oranı, zemin istikrarı ve sönümlenme davranışı birlikte değerlendirilir. Bu çok aşamalı denetimler, sahte sinyalleri elerken zayıf ama flare profiline uygun olayların korunmasını sağlar. Bu yönüyle *FlareFind*, klasik akı üzerinde flare bulma yaklaşımından farklı olarak yeni bir yöntem olan akı-farkını doğrudan karar ölçütü haline getiren özgün bir tespit stratejisi ortaya koymaktadır. *FlareFind* yazılımı, Python programlama dili kullanılarak modüler bir yapıda tasarlanmıştır. Programın ana bileşenleri `flarefind_main.py`, `desk.py`, `desk_flr.py`, `ekle_sil.py`, `desk_flr_viewer.py` ve `zaman.py` dosyalarından oluşmaktadır. Bu dosyalar, veri okuma–işleme, flare tespiti ve görsel doğrulama aşamalarını birbirine bağlı olarak yürütür. *FlareFind*'in tespit ekranı, ED modülü ve zaman grafiğine ait örnek görüntüler EK 1–4'te, uygulamanın kaynak kodları ise EK 6'da sunulmuştur.

Yazılımın ana yürütme modülü olan `desk.py` dosyası ile FITS, TSV, CSV veya TXT biçiminde seçilen ve masaüstüne daha önce indirilen gözlemsel veriler bu modül aracılığıyla okunur. Dosya içindeki zaman ve akı sütunları otomatik olarak tanımlanır; geçersiz (NaN veya sonsuz) değerler temizlenir ve kadans aralığı belirlenir. Eğer veri parlaklık (magnitude) biçimindeyse, Pogson ifadesi kullanılarak akıya dönüştürülür. Zaman ölçeği, dosyanın ait olduğu göreve göre (Kepler için BKJD, TESS için BTJD) otomatik olarak tanımlanır.

Yazılımdaki `desk_flr_viewer.py` modülü, tespit edilen flare'lerin etkileşimli biçimde incelenmesine ve gerekli durumlarda manuel olarak düzeltilmesine olanak tanır. Böylece kullanıcı, her bir flare adayının gerçekliğini doğrudan ışık eğrisi üzerinde kontrol edebilir.

Sonuç olarak, *FlareFind* yazılımı hem tam otomatik flare tespit süreci hem de görsel doğrulama desteğiyle güvenilir bir analiz akışı sunar. Tüm işlem zinciri, akı-farkı dizisini temel alarak flare olaylarını istatistiksel gürültü ve sistematik etkilerden ayırmak üzere tasarlanmıştır. Bu yapı, TESS ve Kepler gibi uzun süreli fotometrik görevlerden elde edilen geniş hacimli verilerde hızlı ve tutarlı analiz yapılmasını mümkün kılar.

2.2 Literatürdeki Yöntemlerle Karşılaştırma ve Yöntemsel Katkılar

Geç tayf türü yıldızlarda flare tespit etmek amacıyla yapılan önceki çalışmalarda, genellikle yıldız ışık eğrilerindeki doğrudan akı değişimleri temel alınmış ve belirli bir eşik değerinin üzerinde parlaklık artışı gösteren noktalar flare adayı olarak değerlendirilmiştir. Davenport (2014), Kepler kısa ve uzun kadans verilerinde ortalama akının belirli bir standart sapma (σ) değerini aşan ani yükselişleri otomatik olarak belirlemiştir. Yang vd. (2018) ise TESS verileri için yumuşatma ve istatistiksel eşikleme tekniklerini birleştirerek kısa süreli, küçük genlikli flare'lerin seçilmesini kolaylaştırmıştır. Daha yakın dönemde Feinstein vd. (2020) tarafından geliştirilen AltaiPony yazılımı, bu klasik eşikleme yöntemlerini istatistiksel filtrelerle bir araya getirerek geniş veri kümelerinde otomatik ve hızlı analiz olanağı sağlamıştır. Bu yaklaşımlar, büyük hacimli uzay teleskopu verilerinin incelenmesinde önemli kolaylıklar sağlamış olsa da bazı sınırlılıklar barındırmaktadır (Davenport 2014; Yang vd. 2018; Feinstein vd. 2020).

Öncelikle, yıldız döngülerinden kaynaklanan uzun süreli parlaklık değişimleri sabit eşiklerle çalışan yöntemlerde sahte tespitlere yol açabilmektedir. Ayrıca, gözlem sırasında oluşan anlık sinyaller (örneğin kozmik ışın çarpmaları veya uydunun yönlendirme düzeltmeleri) kısa süreli keskin artışlar oluşturabilir ve bunlar gerçek flare sinyalleriyle karışabilir. Buna ek olarak, uzun zaman aralıklı (örneğin Kepler uzun kadans veya TESS 30 dakikalık FFI ölçümleri) verilerde parlama şekli zamansal olarak yayılmakta, bu da tepe genliğine dayalı yöntemlerin duyarlılığını azaltmaktadır.

Bu çalışmada yeni bir yöntem olarak geliştirilen akı-farkı temelli flare tespit algoritması, yıldızın parlaklığındaki ani değişimleri sabit bir eşik değeri yerine, parlaklık değişiminin yönü ve sürekliliği esas alır. Pozitif farklar ($\Delta F > 0$) yükseliş evresini, negatif farklar ($\Delta F < 0$) ise sönümleme evresini temsil eder. Bu iki evrenin ardışık biçimde gözlenmesi, olayın flare profiline uygun olduğuna işaret eder.

Akı-farkı dizisi, uzun dönemli döngüsel değişimleri ve yavaş parlaklık değişimlerini doğal olarak bastırdığı için, dalgalı ışık eğrilerinde dahi küçük genlikli gerçek flare'lerin seçilmesini sağlar. Ayrıca sabit parlaklık eşiklerine bağlı kalmadığından, hem TESS'in kısa kadanslı hem de Kepler'in uzun kadanslı gözlemlerinde aynı kararlılıkla uygulanabilir.

Bu yaklaşımın temel katkısı, flare tespitini yalnızca tepe genliğine dayalı bir eşikleme sürecinden çıkarıp, olayın yükseliş–tepe–sönümleme yapısına dayanan bir karar mekanizmasına dönüştürmesidir. Böylece düşük genlikli ancak flare profiliyle uyumlu olaylar korunurken, gürültü, kozmik ışın veya yönlendirme kaynaklı kısa süreli sinyaller başarıyla elenir. Sonuç olarak *FlareFind*, klasik eşikleme yöntemlerine kıyasla daha seçici ve flare yapısını doğrudan dikkate alan bir tespit stratejisi sunmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle geç tayf türü yıldızların dalgalı ışık eğrilerinde sahte sinyallerin bastırılması ve gerçek flare'lerin güvenilir biçimde ayrıştırılması açısından önemli bir yenilik sağlamaktadır.

Bir sonraki bölümde, geliştirilen algoritmanın Kepler ve TESS verileri üzerindeki uygulama sonuçları sunulmakta ve farklı yıldız türleri için elde edilen bulgular ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, akı-farkı temelli *FlareFind* algoritmasının Kepler ve TESS ışık eğrilerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Çalışma, kırmızı dev, aktif M cücesi, örten çift sistem, dönme değişeni ve genç yıldız gibi farklı özelliklere sahip sekiz hedef üzerinde yürütülmüştür. Böylece algoritmanın çeşitli parlaklık seviyeleri ve gürültü koşullarında nasıl bir performans gösterdiği değerlendirilmiştir. Hedef yıldızlara ait bazı temel parametreler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir (Kővári vd. 2020; Berger vd. 2020, Davenport 2014, TESS Input Catalog 2022).

Çizelge 3.1 Tez kapsamında incelenen yıldızların temel parametreleri, gözlem görevleri ve kullanılan arşiv kaynakları. Görev kısaltmaları: LC – Long Cadence (~29.4 dk), SC – Short Cadence (~1 dk)

No	Hedef	Tür / Sınıf	M(M _⊙)	R(R _⊙)	T _{eff} (K)	Gözlem	Kaynak
1	KIC2852961 (Q0–Q17)	G9–K0 III (Kırmızı dev)	1.70	13.1	4720	Kepler LC	Kővári vd. 2020
2	TIC144539611 (S4)	K tayf türü (Örten çift sistem)	0.69	0.914	4423	TESS SC	TESS Input Catalog (2022)
3	KIC9726699 (Q4)	M4 V, BY Dra (Aktif anakol yıldızı)	0.27	0.33	3250	Kepler LC	Davenport 2014
4	TIC146559015 (S5)	K tayf türü (Örten çift sistem)	0.40	0.45	3527	TESS SC	TESS Input Catalog (2022)
5	KIC9652680 (Q3, Q10)	Dönme değişeni (rotating variable), yüzey lekeli G–K tayf türü yıldız	1.24	1.12	5860	Kepler LC	Berger vd. 2020
6	TIC275911914 (S59)	M4–M5 V (Geç tayf türü örten çift)	0.22	0.29	3075	TESS LC	TESS Input Catalog (2022)
7	TIC154101678 (S84)	M cüce (UV Ceti tipi flare yıldızı, EV Lac)	0.32	0.34	3315	TESS SC	Davenport 2014; Berger vd. 2020
8	TIC364588501 (S1)	K2 V (Genç anakol yıldızı, HD 39150)	0.90	0.94	5030	TESS SC	Reid & Hawley 2005; TIC 2022

FlareFind, her hedef yıldız için ışık eğrisindeki ani parlaklık artışlarını tespit ederek tr, tp ve tq zamanlarını belirlemiştir. Uygun arşiv verisi bulunan hedeflerde tepe zamanları

(tp), literatürde verilen tp değerleriyle karşılaştırılmıştır. Arşiv çalışmalarında genellikle yalnızca tp değerleri bulunduğundan, karşılaştırma bu parametre üzerinden yapılmıştır. Süre, genlik oranı ve eşdeğer süre (ED) gibi türetilmiş parametreler literatürde yer almadığı için yalnızca *FlareFind* çıktısı olarak sunulmuştur. Uygulama sonuçları, düşük genlikli olaylar dâhil flare'lerin güvenilir biçimde seçilebildiğini göstermiştir. Yöntem, Kepler uzun kadans (LC) ve TESS kısa kadans (SC) verilerinde kararlı çalışmış ve tp zamanları büyük ölçüde arşiv değerleriyle uyum göstermiştir. Elde edilen bulgular yıldızların manyetik aktivite düzeyleri, flare süreleri ve ED dağılımları açısından değerlendirilmiş; gerekli yerlerde OPEA modeli kullanılarak sonuçların yorumu yapılmıştır. Özetle elde edilen bulgular:

- Kepler ve TESS veri setleriyle yüksek uyumluluk,
- Yüksek zaman çözünürlüğü sayesinde kısa süreli olayların güvenilir tespiti,
- Sönümleme evresinin zorunlu tutulmasıyla sahte pozitiflerin azaltılması,
- Grafiksel arayüz sayesinde görsel doğrulama desteği,
- Her flare için ED ve süre parametrelerinin otomatik hesaplanabilmesi.

Bu tezde yalnızca seçilmiş temsili hedeflerde OPEA modellemesi, ED dağılımları ve flare arındırma analizleri ayrıntılı olarak sunulmuştur. Diğer hedeflerde temel bulgular, flare sayıları ve karakteristik parametrelerle sınırlı tutulmuş ve böylece yöntemin performansı vurgulanmıştır.

3.1 KIC2852961 Yıldızına İlişkin Bulgular

Yıldızın temel parametreleri, KIC2852961'in G9–K0 III tayf türünde, kırmızı dev evresindeki bir yıldız olarak güçlü manyetik aktivite sergilediğini göstermektedir. Yıldızın yaklaşık 35.5 günlük dönme periyodu, literatürde verilen kütle ve yarıçap değerleriyle birlikte değerlendirildiğinde dönme hızının teorik break-up hızının (merkezkaç kuvvetinin kütle çekimini dengelediği ayrılma hızı) oldukça altında kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, yıldızın gözlenen ekvatorial çizgisel dönme hızının yapısal açıdan makul sınırlar içinde olduğunu ve yapısal bir zorlanmaya işaret etmediğini göstermektedir (Kővári vd. 2020). Yüzeyinin önemli bir kısmının yıldız lekeleriyle kaplı

olduğu, ışık eğrisinde gözlenen belirgin modülasyonlardan anlaşılmaktadır; Q4 çeyreğine ait ışık eğrisi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu lekeler aynı zamanda yüksek enerjili flare'lerin oluşum bölgeleri olarak değerlendirilmektedir. Diferansiyel dönmenin etkisiyle ekvator bölgelerinin kutuplara göre yaklaşık %3 daha hızlı dönmesi, yıldızın manyetik dinamosunu güçlendirmekte ve süperflare üretim kapasitesini açıklamaktadır (Maehara vd. 2015, Notsu vd. 2019). Kővári vd. (2020) çalışmasında KIC2852961'de Kepler uzun kadans (LC) verilerinden toplam 59 flare raporlanmıştır. Literatürde raporlanan bu flare'ler arasında 10^{34} – 10^{35} erg düzeyine ulaşan süperflare'ler de bulunmaktadır (Shibata vd. 2013). Bu enerjiler, Güneş'teki en güçlü flare'lerin bile oldukça üzerinde olup yıldızı literatürde "süperflare yıldızı" kategorisine yerleştirmektedir. Ayrıca yıldız parlaklığındaki periyodik değişimlerin yüzeyin yaklaşık %10'unun lekelerle kaplı olduğunu göstermesi, olağanüstü manyetik etkinliği açıkça ortaya koymaktadır (Güdel 2007, Kővári vd. 2020).

Bu çalışmada, KIC2852961'in Kepler görevi kapsamında elde edilen Q0–Q17 gözlemleri kullanılarak ayrıntılı bir flare analizi gerçekleştirilmiştir. *FlareFind* yazılımı ile toplam 50 flare olayı tespit edilmiştir. Bu flare'ler, Kővári vd. (2020) tarafından yayımlanan ve 59 flare içeren arşiv verileriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.2). Karşılaştırma, arşiv verilerinin yalnızca tepe zamanlarını (tp) içermesi nedeniyle tp üzerinden yapılmıştır. Her bir flare için arşivde raporlanan tp ile *FlareFind* tarafından bulunan tp arasındaki fark (Δt) hesaplanmış ve sonuçlar Kepler uzun kadans (LC) verilerinin zaman çözünürlüğü olan ± 0.020 gün sınırı içinde değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, 49 flare olayı uyum sınırları içinde "tam eşleşme" göstermiştir. 48 numaralı flare'de ise $\Delta t \approx 0.020$ gün bulunmuş ve bu fark Kepler LC'de tek kadanslık kaymaya karşılık geldiği için "LC-uyumlu" olarak değerlendirilmiştir. Buna karşılık arşivde raporlanan 9 flare (9, 13, 22, 23, 28, 42, 44, 45 ve 58 numaralı olaylar) *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir. İncelemeler, bu sinyallerin ışık eğrisindeki çıkıntılar olarak belirlediğini ve bir parlama davranışı sergilemediğini, bu nedenle algoritma tarafından aday değerlendirmesi sırasında elendiğini göstermektedir. Sonuç olarak, KIC2852961 için *FlareFind* ile yapılan tespitler arşiv verileriyle yüksek düzeyde uyum göstermiştir. Yöntem, uzun kadans verilerinde zaman çözünürlüğü sınırlamaları göz önünde bulundurulduğunda dahi güvenilir sonuçlar vermektedir. Yıldızın geniş lekeli yüzeyi, güçlü diferansiyel dönmesi

ve olağanüstü manyetik aktivitesi, tespit edilen flare olaylarının ortaya çıkışını destekleyen temel unsurlardır. Ayrıntılı karşılaştırmalar ve tespit edilemeyen olaylara ilişkin örnek ışık eğrileri EK 5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.2 KIC2852961 için *FlareFind* ile Kővári vd. (2020) arşivindeki tp zamanlarının karşılaştırması. Tüm zamanlar BJD–2454833 (Kepler BKJD) biçimindedir. Hata sütunu Kepler uzun kadans zaman çözünürlüğünü ($\pm 0,020$ gün; ≈ 29.4 dk) göstermektedir

Flare No	tp_Arşiv	tp_FlareFind	Fark (gün)	Durum
1	163.329	163.329067	0.00007	Tam Eşleşme
2	194.634	194.634112	0.00011	Tam Eşleşme
3	254.116	254.115648	0.00035	Tam Eşleşme
4	293.142	293.142101	0.00010	Tam Eşleşme
5	314.923	314.923180	0.00018	Tam Eşleşme
6	317.620	317.620277	0.00028	Tam Eşleşme
7	332.659	332.659000	0.00000	Tam Eşleşme
8	342.548	342.548098	0.00010	Tam Eşleşme
9	344.367	-	-	Tespit Edilmedi
10	355.155	355.155138	0.00014	Tam Eşleşme
11	376.242	376.242000	0.00000	Tam Eşleşme
12	382.290	382.290366	0.00037	Tam Eşleşme
13	405.156	-	-	Tespit Edilmedi
14	407.281	407.280698	0.00030	Tam Eşleşme
15	408.057	408.057185	0.00019	Tam Eşleşme
16	417.212	417.211597	0.00040	Tam Eşleşme
17	430.330	430.330314	0.00031	Tam Eşleşme
18	445.779	445.778664	0.00034	Tam Eşleşme
19	448.946	448.946003	0.00000	Tam Eşleşme
20	460.144	460.144112	0.00011	Tam Eşleşme
21	471.506	471.505739	0.00026	Tam Eşleşme
22	479.230	-	-	Tespit Edilmedi
23	481.968	-	-	Tespit Edilmedi
24	491.634	491.634000	0.00000	Tam Eşleşme
25	504.876	504.875460	0.00054	Tam Eşleşme

Çizelge 3.2 KIC2852961 için *FlareFind* ile Kővári vd. (2020) arşivindeki tp zamanlarının karşılaştırması. Tüm zamanlar BJD–2454833 (Kepler BKJD) biçimindedir. Hata sütunu Kepler uzun kadans zaman çözünürlüğünü ($\pm 0,020$ gün; ≈ 29.4 dk) göstermektedir (devam)

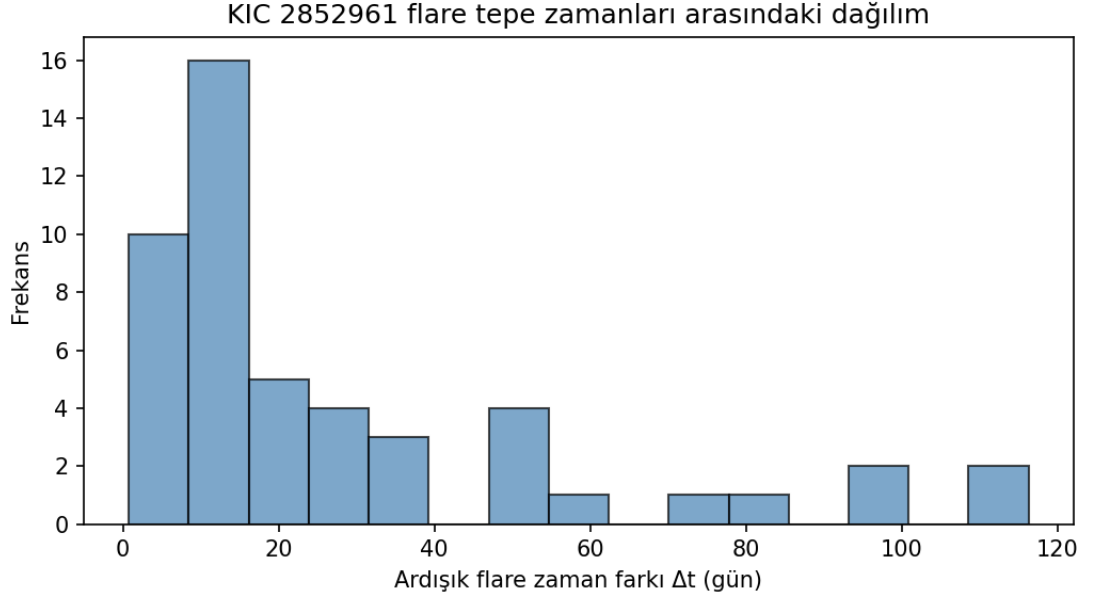
Flare No	tp_Arşiv	tp_FlareFind	Fark (gün)	Durum
26	518.015	518.014860	0.00014	Tam Eşleşme
27	531.154	531.154000	0.00000	Tam Eşleşme
28	536.794	-	-	Tespit Edilmedi
29	542.495	542.495211	0.00021	Tam Eşleşme
30	549.627	549.627000	0.00000	Tam Eşleşme
31	556.288	556.288233	0.00023	Tam Eşleşme
32	588.001	588.001417	0.00042	Tam Eşleşme
33	609.661	609.661000	0.00000	Tam Eşleşme
34	612.726	612.725673	0.00033	Tam Eşleşme
35	640.719	640.718751	0.00025	Tam Eşleşme
36	646.869	646.869000	0.00000	Tam Eşleşme
37	664.053	664.053000	0.00000	Tam Eşleşme
38	672.839	672.838810	0.00019	Tam Eşleşme
39	678.192	678.192134	0.00013	Tam Eşleşme
40	774.105	774.104612	0.00039	Tam Eşleşme
41	785.854	785.854096	0.00010	Tam Eşleşme
42	787.489	-	-	Tespit Edilmedi
43	902.126	902.126159	0.00016	Tam Eşleşme
44	902.923	-	-	Tespit Edilmedi
45	903.638	-	-	Tespit Edilmedi
46	908.890	908.890000	0.00000	Tam Eşleşme
47	982.104	982.103934	0.00007	Tam Eşleşme
48	1036.700	1036.679896	0.02010	LC-Uyumlu (≈ 1 kadans)
49	1090.908	1090.908029	0.00003	Tam Eşleşme
50	1140.459	1140.459000	0.00000	Tam Eşleşme
51	1156.172	1156.172179	0.00018	Tam Eşleşme
52	1191.687	1191.686825	0.00018	Tam Eşleşme
53	1216.617	1216.616973	0.00003	Tam Eşleşme
54	1330.395	1330.394942	0.00006	Tam Eşleşme
55	1381.805	1381.805000	0.00000	Tam Eşleşme
56	1461.451	1461.450982	0.00002	Tam Eşleşme
57	1472.914	1472.913787	0.00021	Tam Eşleşme
58	1566.071	-	-	Tespit Edilmedi
59	1571.793	1571.792956	0.00004	Tam Eşleşme

Arşiv karşılaştırması tamamlandıktan sonra, yıldızdaki flare olaylarının zamansal dağılımının dönme periyoduyla ilişkili olup olmadığını belirlemek amacıyla dönemlilik analizi yapılmıştır. Çizelge 3.2’de verilen Q0–Q17 dönemi boyunca tespit edilen toplam 50 flare olayının tepe zamanları (t_p), yıldızın bilinen dönme periyodu ($P_{rot} \approx 35.5$ gün, Kóvári vd. 2020) kullanılarak evre uzayına katlanmış ve dönemlilik analizi gerçekleştirilmiştir.

Rayleigh periyot analizi, yıldızlarda tekrarlayan olayların zamansal dağılımını incelemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (eşitlik 3.1). Bu yöntemde her flare olayı, yıldızın bir tam dönüşü içerisindeki konumuna göre normalize edilerek evre uzayına taşınır. Böylece yıldızın farklı dönme evrelerinde meydana gelen flare’lerin dağılımı istatistiksel olarak karşılaştırılabilir hale gelir. Farklı olası periyotlar için hesaplanan Rayleigh güç spektrumu, bu evrelerin belirli bir aralıkta yoğunlaşıp yoğunlaşmadığını gösterir. Spektrumda belirli bir periyotta yüksek bir güç değeri saptanması, flare zamanlarının o periyotla ilişkili olarak düzenli biçimde tekrarladığını; güç değerlerinin düşük ve düz dağılması ise flare olaylarının rastlantısal zamanlarda gerçekleştiğini gösterir. Bu yönüyle Rayleigh yöntemi, akı zaman serisinin tamamını kullanan Lomb–Scargle analizinden farklı olarak, yalnızca ayırık flare zamanlarını kullanarak dönemlilik eğilimlerini test etmeye olanak tanır. Bu nedenle, flare zamanlarının olası düzenli tekrarlanma eğilimini belirlemek için Rayleigh periyot analizi uygulanmıştır (Şekil 3.2). Tek yıldız sistemlerinde flare zamanlarının dönme evresi boyunca dağılımı bu yöntemle incelenmiştir. Çoklu veya örten çift sistemlerde ise benzer yaklaşım, flare’lerin yörünge evresi içerisindeki konumlarını değerlendirmek amacıyla uygulanabilmektedir. Böylece flare aktivitesinin sistem geometrisiyle olan olası ilişkisi test edilebilir. Bu tür bir evre analizi, tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde (Bölüm 3.4) örten çift sistem TIC146559015 için ayrıntılı biçimde ele alınmıştır.

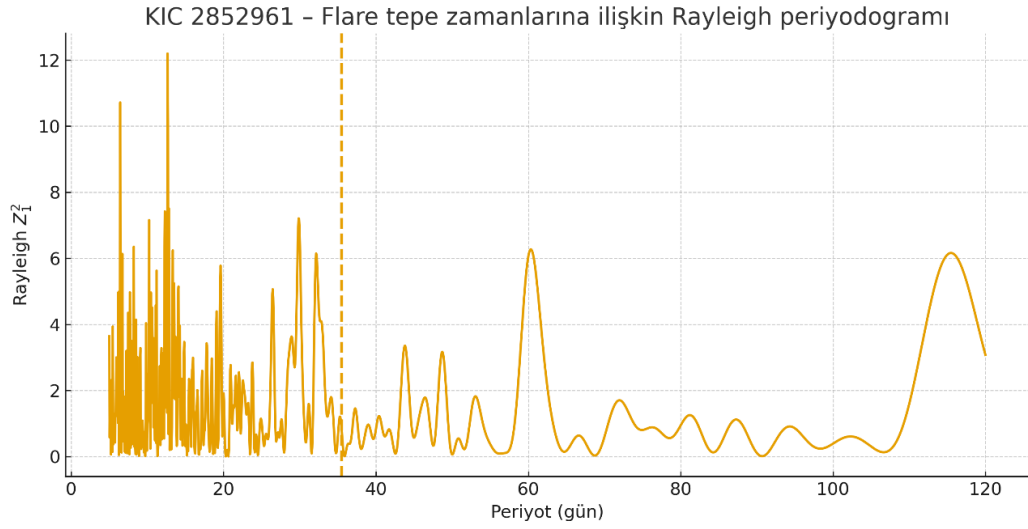
Yapılan analiz sonuçları, flare dağılımının dönme evresi boyunca (0–1 evre aralığına karşılık gelen yaklaşık 0–35.5 gün) homojen olduğunu ve belirgin bir evre yoğunlaşmasının bulunmadığını göstermektedir. Rayleigh güç spektrumunda 35.5 günlük dönme periyodu ya da onun katlarında anlamlı bir güç tepe noktası saptanmamış, tüm değerler 0.1 seviyesinin altında kalmıştır. Bu sonuçlar, KIC2852961’de flare olaylarının

düzenli veya yarı-dönemli bir karakter sergilemediğini, zamanlamalarının rastlantısal biçimde ortaya çıktığını göstermektedir. Yıldız yüzeyinde kalıcı lekeler bulunmasına rağmen, flare üretiminin lekelerin dönme hareketiyle senkronize olmadığı görülmektedir. Bu durum, manyetik alan yeniden bağlantılarının ani ve öngörülemez biçimde tetiklendiğini ve flare aktivitesinin düzensiz bir doğaya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.1 KIC2852961 ardışık flare tepe zamanları farklarının (Δt) histogramı.

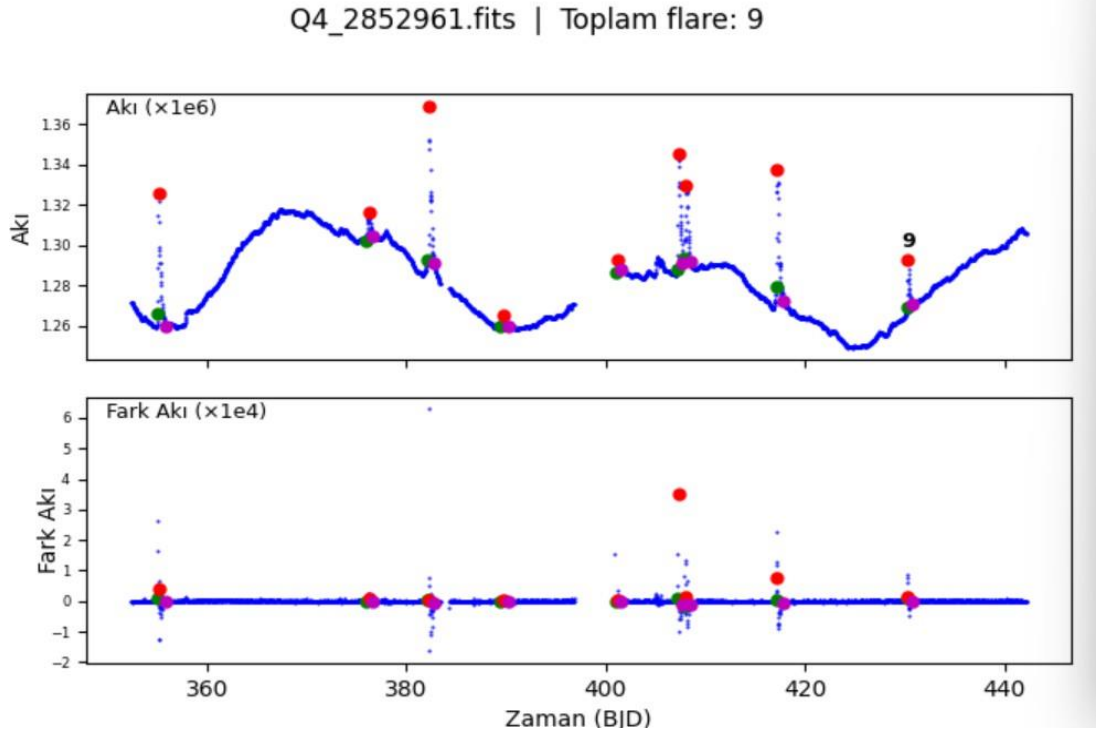
Histogramda ardışık flare tepe zamanları arasındaki farkların geniş bir aralığa yayıldığı, belirgin bir tepe veya dar kümelenme bulunmadığı görülmektedir (Şekil 3.1). Bu dağılım, flare olaylarının sabit bir yarı-dönemlilik göstermediğini ve daha çok rastlantısal zaman aralıklarında meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Kepler LC verisinin uzun örnekleme aralığı, kısa süreli flare'lerin zaman farklarını sıkıştırmadığından, bu rastlantısallık histogramda açık şekilde izlenebilmektedir. Dolayısıyla flare üretiminin yarı-periyodik bir tetiklenme mekanizmasına bağlı olduğu yönünde bir kanıt bulunmamaktadır.



Şekil 3.2 KIC2852961 yıldızının flare tepe zamanlarına ilişkin Rayleigh güç spektrumu

Kesikli dikey çizgi, literatürde raporlanan 35.5 günlük dönme periyodunu göstermektedir. Analiz 5–120 gün aralığındaki dönemleri kapsamaktadır. Yaklaşık 60 gün civarında zayıf bir güç artışı görülse de bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir. Literatürde raporlanan 35.5 günlük periyotta da belirgin bir güç tepe noktası bulunmamıştır. Bu sonuç, flare olaylarının yıldızın dönme periyoduyla senkronize olmadığını ve rastlantısal zamanlamalarla gerçekleştiğini doğrulamaktadır. Flare zamanlarının dönme fazında kümelenmemesi, manyetik yeniden bağlantı süreçlerinin anlık tetiklenmesine bağlı olarak olayların düzensiz bir zaman dağılımına sahip olduğunu göstermektedir.

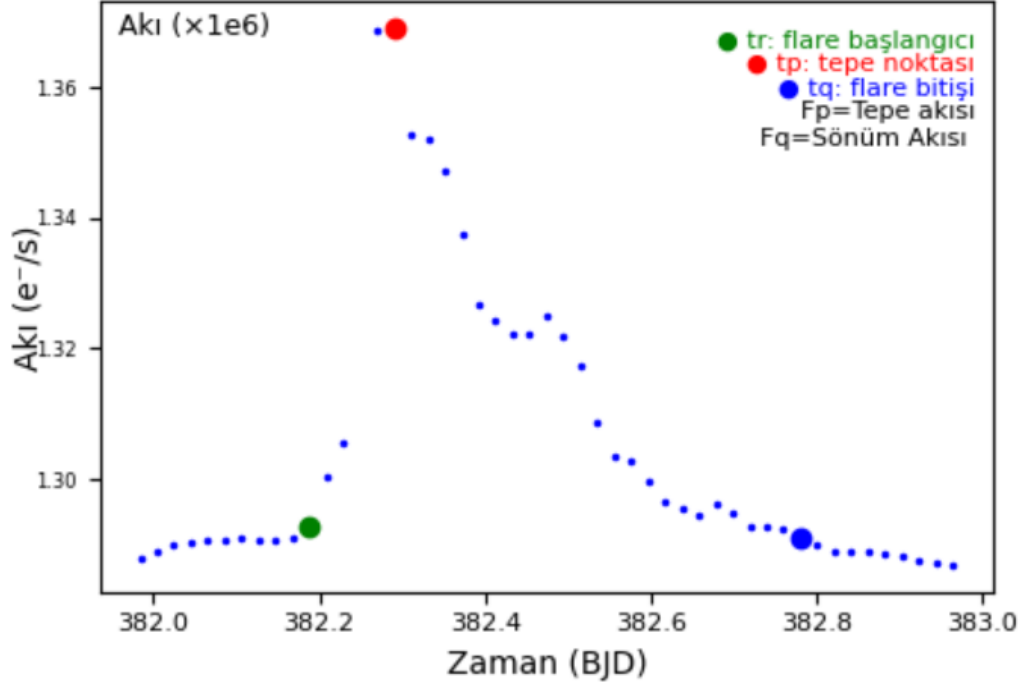
Çizelge 3.1’de listelenen KIC2852961 yıldızı Q4 (4. çeyrek) verilerine ait dokuz flare, akı ve akı-farkı grafiğinde görselleştirilmiştir (Şekil 3.3). Üst panelde akı ışık eğrisi, alt panelde ise aynı zaman aralığına karşılık gelen akı-farkı eğrisi yer almakta olup, bu yöntem t_r , t_p ve t_q zamanlarının net biçimde ayırt edilmesini sağlamaktadır. Bu flare’lerden iki tanesi ayrıntılı olarak analiz edilerek Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te sunulmuştur. Ayrıca tespit edilen tüm dokuz flare için yükselme ve sönümlenme sürelerinin yanı sıra F_p/F_q oranlarının (tepe akısı/zemin–sönümlenme evresindeki taban akısı) özetlendiği bir karşılaştırma grafiği sunulmuştur (Şekil 3.6). Bu özet grafik, flare olayların süre ölçekleri ile genlik özelliklerinin dağılımını birlikte göstererek KIC2852961 yıldızı Q4 örneklemindeki çeşitliliği ve ayırt edici eğilimleri görselleştirmektedir.



Şekil 3.3 KIC2852961 yıldızının 4. çeyrek (Q4) verilerinde, *FlareFind* algoritması ile tespit edilen dokuz flare olayının konumlarının işaretlendiği akı (üst panel) ve akı-farkı (alt panel) grafikleri

Bu tez kapsamında geliştirilen ve detayları Bölüm 2’de açıklanan akı-farkı yöntemi, ışık eğrisindeki ardışık ölçümlerin farklarını ($\Delta F = F(i+1) - F(i)$) kullanarak yavaş zemin değişimlerini gözardı eder ve kısa süreli ani artışları belirginleştirir. Pozitif farkları izleyen negatif farkların yeniden sıfıra yakın değerlere dönmesi, t_r – t_p – t_q zamanlarının güvenilir biçimde belirlenmesini sağlar; son karar akı eğrisi üzerindeki görsel doğrulama ile pekiştirilir. Bu çalışmada ‘yüksek enerjili’ sınıflaması, örneklem içindeki görelî F_p/F_q değerleri dikkate alınarak yapılmıştır.

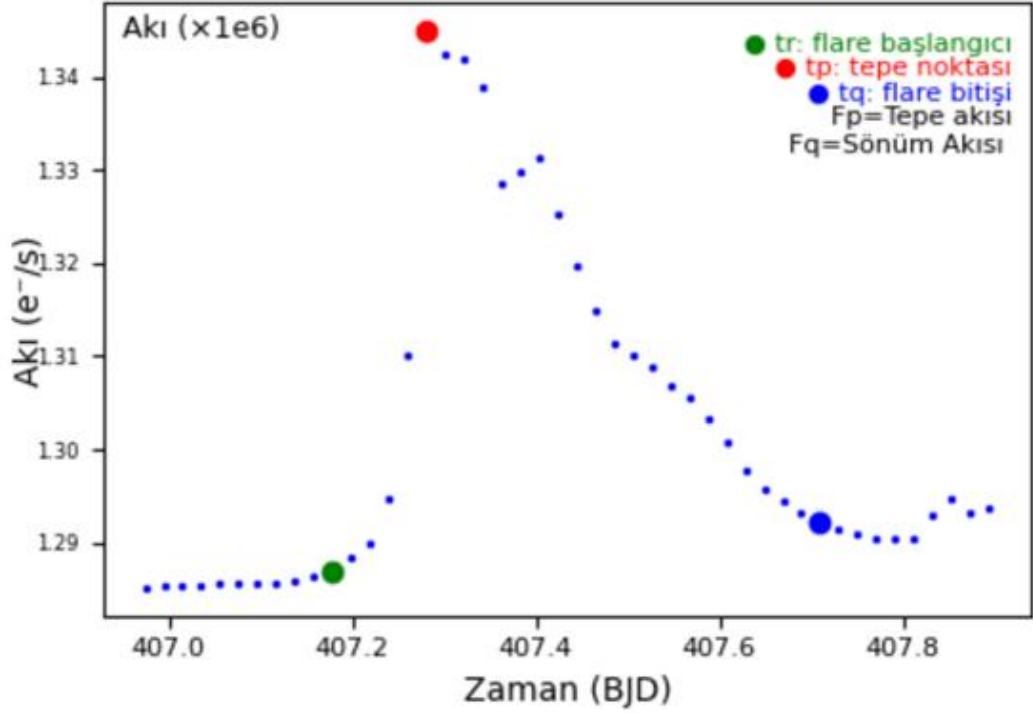
Flare 3 | $F_p/F_q=1.061$ | $t_r=382.188$ $t_p=382.290$ $t_q=382.781$



Şekil 3.4 KIC2852961 yıldızı 4. çeyrek (Q4) verilerinde üçüncü sıradaki flare grafiği

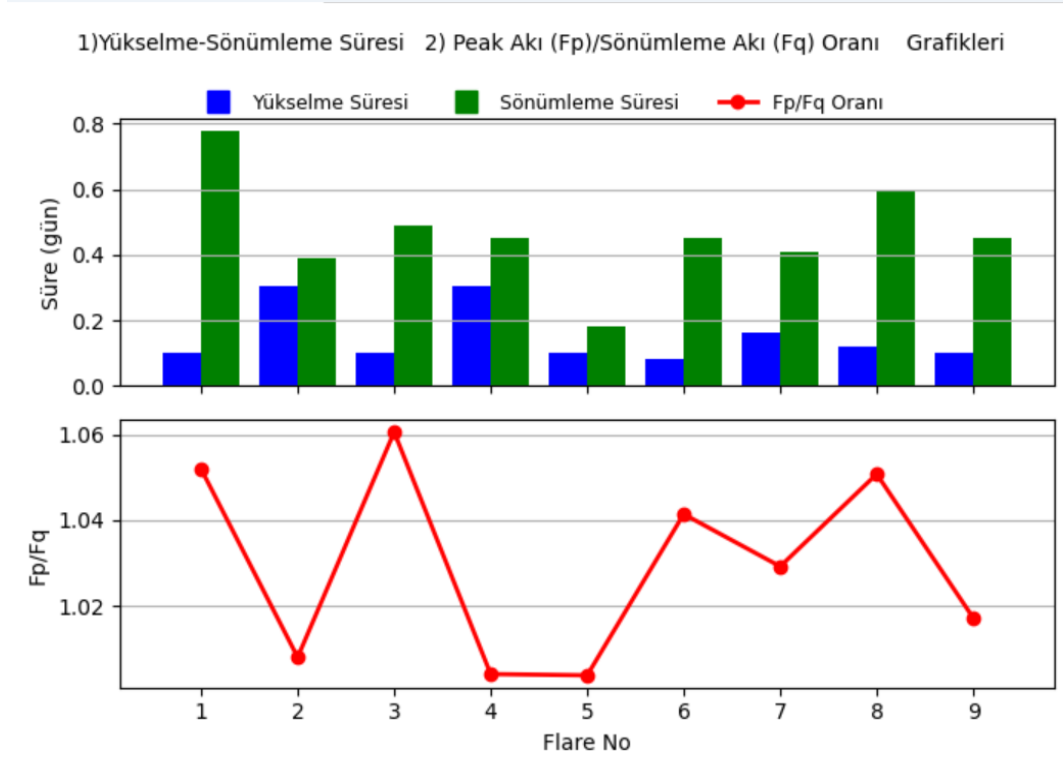
Flare oluşumunda parlaklık kısa bir sürede hızla artmış (yükselme süresi), ardından yaklaşık beş kat daha uzun süren bir azalma evresi yaşanmıştır (Şekil 3.4). Bu durum, ani manyetik yeniden bağlantıyla başlayan ve parlaklığın zaman içinde giderek azaldığı daha yavaş bir sönümlenme evresiyle sona eren tipik flare yapısına işaret etmektedir (Shibata ve Magara 2011; Davenport vd. 2014). $F_p/F_q = 1.061$ olup, tepe anındaki akının taban düzeyine göre yaklaşık %6 arttığını gösterir; bu nedenle bu flare genlik bakımından düşüktür.

Flare 6 | $F_p/F_q=1.041$ | $t_r=407.179$ $t_p=407.281$ $t_q=407.710$



Şekil 3.5 KIC2852961 yıldızı 4. çeyrek verilerinde altıncı sıradaki flare grafiği

Flare azalma evresi, yükselme evresine kıyasla yaklaşık 4–5 kat daha uzun sürmüştür (Şekil 3.5). Bu durum, depolanan enerjinin ani bir boşalma yerine daha uzun bir zaman ölçeğinde azaldığını ve parlaklığın daha yavaş bir şekilde sönümlendiğini göstermektedir (Shibata ve Magara 2011). $F_p/F_q = 1.041$ olup, tepe parlaklığının taban seviyesine göre yalnızca %4 arttığını göstermektedir. Bu nedenle flare düşük genlikli bir flare olarak sınıflandırılmıştır. Burada verilen genlik oranı, yalnızca Kepler fotometrisindeki parlaklık artışına dayanmaktadır; aynı flare farklı dalga boylarında çok daha belirgin görülebilir. Bu nedenle ‘düşük–orta–yüksek’ sınıflaması kesin enerji düzeyini belirlemek için tek başına yeterli değildir.



Şekil 3.6 KIC2852961 4. çeyrek (Q4) verilerinde tespit edilen dokuz flare olayının yükselme ve sönümlenme süreleri ile Fp/Fq (tepe akısı/zemin-sönümlenme akısı) oranları

Flare süreleri ve genlikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ölçen istatistiksel bir parametre olan Pearson korelasyon katsayısı (r) kullanılmıştır (Benesty vd. 2009). Burada r katsayısı -1 ile $+1$ arasında değer alır; pozitif değerler doğru yönlü, negatif değerler ters yönlü ilişkiyi, $r \approx 0$ ise anlamlı ilişkinin olmadığını göstermektedir. Bu çalışmada flare olaylarının yükselme süreleri ($t_p - t_r$), sönümlenme süreleri ($t_q - t_p$) ve Fp/Fq oranları arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon katsayısı ile hesaplanmıştır (Çizelge 3.3). Sonuçlara göre yükselme süresi ile sönümlenme süresi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($r = -0.30$, $p > 0.05$). Bu durum, yükselme sürelerinin LC zaman çözünürlüğü nedeniyle dar bir aralıkta örneklenmesi ve ölçüm belirsizliğinin yüksek olması sonucunda istatistiksel varyansın sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Yükselme süresi ile Fp/Fq oranı arasındaki ilişki de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($r = -0.58$, $p > 0.05$). Buna karşın sönümlenme süresi ile Fp/Fq oranı arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir ($r = 0.73$, $p < 0.05$). Sönümlenme süresi uzadıkça flare tepe parlaklığının taban akısına göre daha belirgin hale geldiğini göstermektedir.

Çizelge 3.3 KIC2852961 yıldızının 4. çeyrek (Q4) verilerinde tespit edilen dokuz flare için Pearson korelasyon katsayıları (r) ve anlamlılık düzeyleri (p)

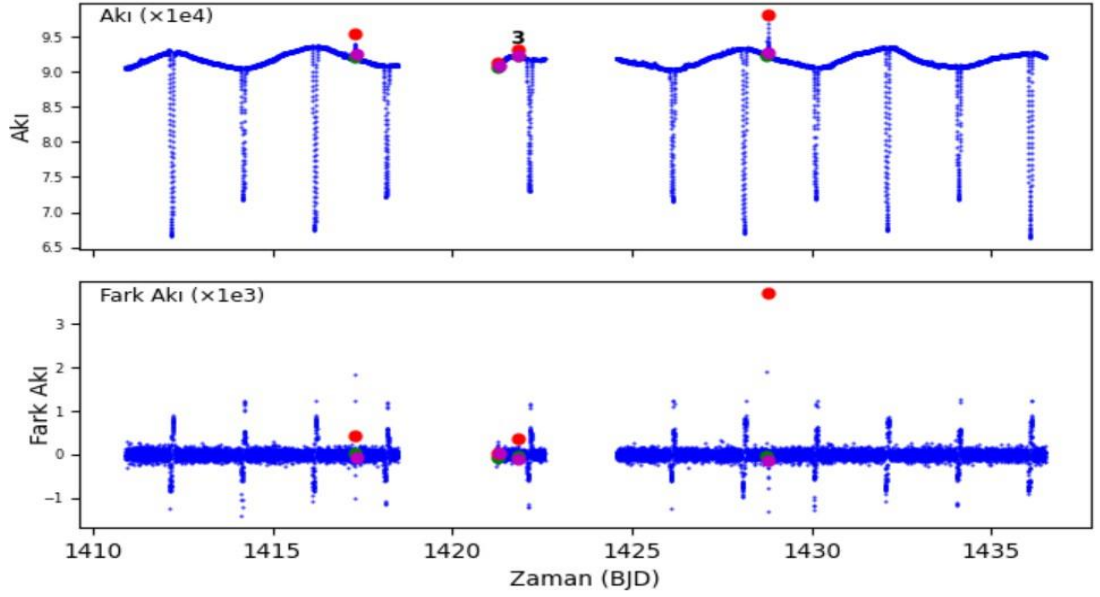
Parametre Çifti	r	p	Sonuç
Yükselme süresi – Sönümlleme süresi	-0.30	0.46	Anlamlı değil
Yükselme süresi – Fp/Fq	-0.58	0.14	Orta düzey negatif eğilim (anlamsız)
Sönümlleme süresi – Fp/Fq	+0.73	0.039	Anlamlı pozitif korelasyon (p < 0.05)

Tüm flare olaylarında sönümlleme süresinin yükselme süresinden belirgin biçimde uzun olması, flare'in ani manyetik yeniden bağlantının tetiklediği hızlı plazma ısınmasıyla başlayıp, ardından daha yavaş bir soğuma evresine geçtiğini göstermektedir (Şekil 3.6). Bu sonuç, Shibata ve Magara (2011) tarafından ortaya konan teorik modelle uyumludur. İncelenen flare'lerde Fp/Fq oranları 1.01–1.06 aralığında kalmış, dolayısıyla parlaklık artışlarının çoğunlukla düşük düzeyde olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, Q4 verilerindeki flare'lerin genellikle uzun süreli fakat düşük genlikli manyetik aktivite olayları olduğunu göstermektedir.

3.2 TIC144539611 Örtten Çift Yıldızına İlişkin Bulgular

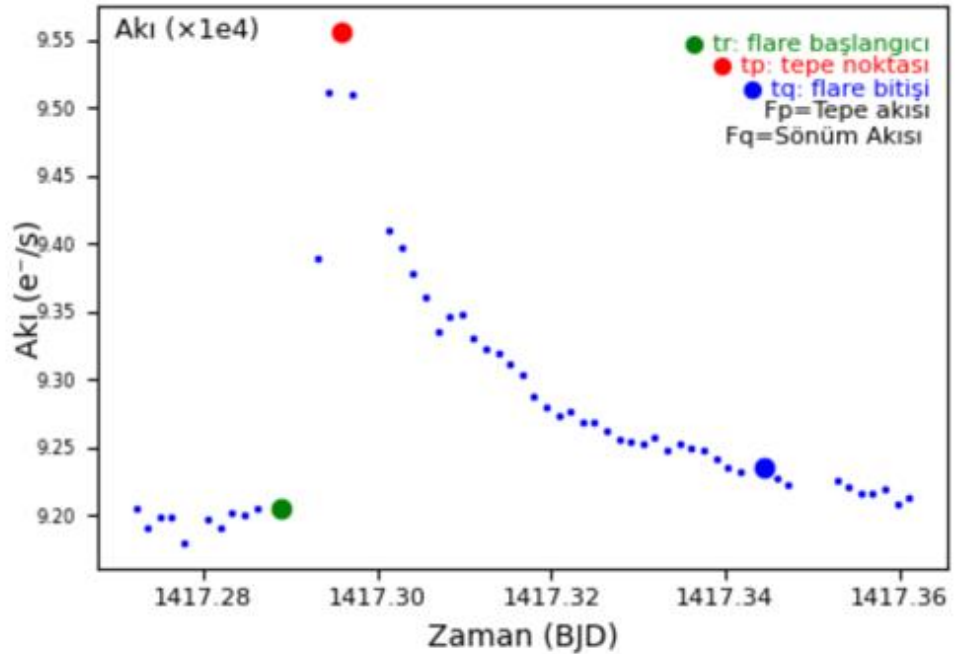
TIC144539611, yaklaşık 31 pc uzaklıkta bulunan, K tayf türünde anakol özellikleri sergileyen nispeten yakın ve parlak bir örtten çift yıldızdır. Sistemin TESS bandındaki parlaklığı 8.09 kadir olup, gözlem verilerinde arka plan kaynaklardan gelen ışık katkısı ihmal edilebilir düzeydedir. Yörünge periyodu yaklaşık 3.981 gün olan bu sistem, fotometrik analizler için elverişlidir. TESS'in birincil görevi kapsamında yalnızca Sektör 4'te gözlemlenmiş olup, bu sektör sistem için mevcut olan tek fotometrik veri setini oluşturmaktadır. Bu temel özellikleriyle TIC144539611, hem örtten çift yıldız niteliği hem de manyetik aktivite göstergesi olabilecek flare'lerin incelenmesine elverişliliği nedeniyle uygun bir hedeftir (Stassun vd. 2019). Bu çalışmada Sektör 4 ışık eğrisi *FlareFind* algoritması ile incelenmiş ve toplam 4 flare tespit edilmiştir. Her bir flare için başlangıç (tr), tepe (tp) ve bitiş (tq) zamanları belirlenmiştir (Şekil 3.7).

S4_TIC144539611.fits | Toplam flare: 4



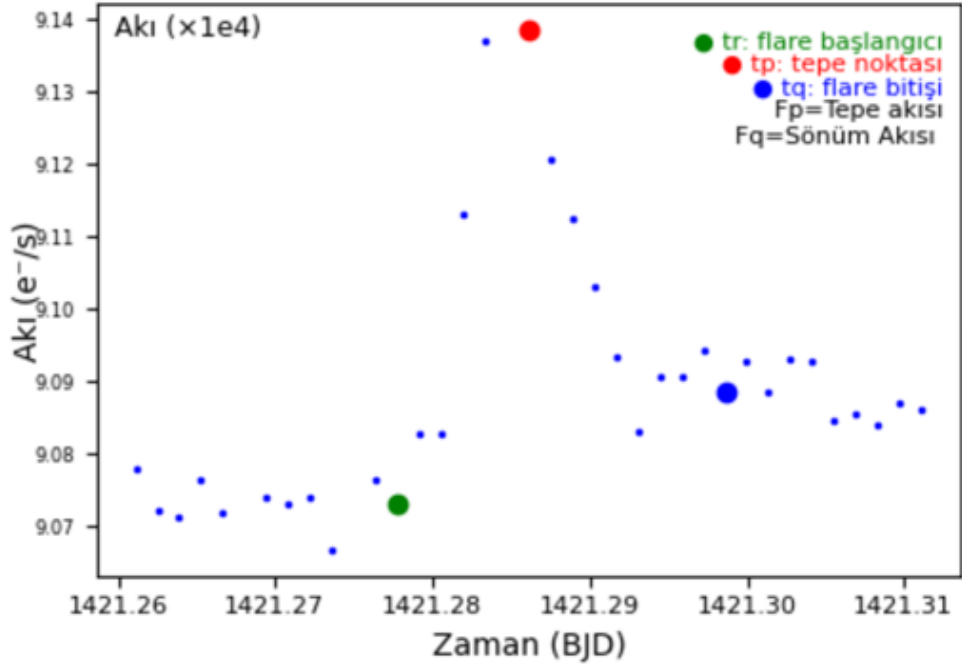
Şekil 3.7 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4'e ait akı (üst panel) ve akı-farkı (alt panel) grafiklerinde *FlareFind* yazılımı tarafından tespit edilen dört flare işaretlenmiştir

Flare 1 | $F_p/F_q=1.035$ | $t_r=1417.289$ $t_p=1417.296$ $t_q=1417.344$



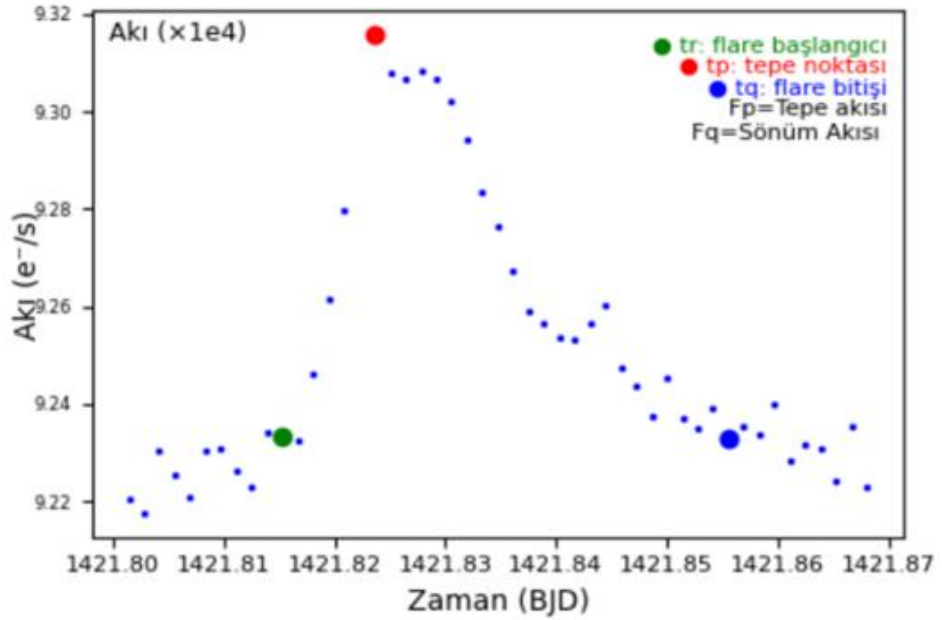
Şekil 3.8 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen birinci flare grafiği. F_p , tepe zamanındaki (t_p) kırmızı noktanın; F_q ise sönüm zamanındaki (t_q) mavi noktanın akısını ifade etmektedir

Flare 2 | $F_p/F_q=1.006$ | $t_r=1421.278$ $t_p=1421.286$ $t_q=1421.299$



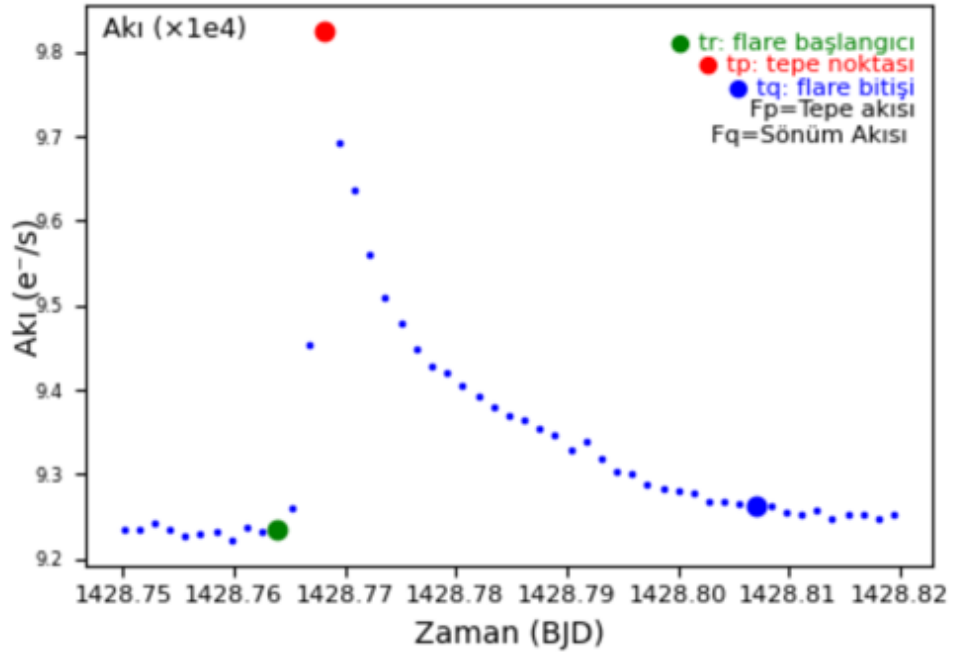
Şekil 3.9 TIC144539611 yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen ikinci flare grafiği

Flare 3 | $F_p/F_q=1.009$ | $t_r=1421.815$ $t_p=1421.824$ $t_q=1421.856$



Şekil 3.10 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen üçüncü flare grafiği

Flare 4 | $F_p/F_q=1.061$ | $t_r=1428.764$ $t_p=1428.768$ $t_q=1428.807$



Şekil 3.11 TIC144539611 örten çift yıldızının Sektör 4 verilerinde tespit edilen dördüncü flare gösterilmektedir

Tespit edilen dört flare'den üçü (flare 1, 3 ve 4), belirgin yükseliş ve uzun sönümlenme evreleriyle klasik flare profili sergilemektedir. Buna karşın flare 2, uzun sönümlenme süresi ve görece olarak düşük genlikli olmasıyla dikkat çekmektedir. Bu özellik, flare 2'nin örneklem içindeki daha zayıf enerjili flare'lerden biri olduğunu göstermektedir. Bu tür düşük genlikli parlama davranışları, genellikle zayıf manyetik yeniden bağlantı süreçleriyle ilişkilendirilir (Benz ve Güdel 2010; Dal 2011; Shibata ve Magara 2011).

Çizelge 3.4 TIC144539611 çift yıldız sistemi Sektör 4 verilerinde tespit edilen dört flare olayının parametreleri

No	t_r	t_p	t_q	F_p/F_q	Yükselme (dk)	Sönümlenme (dk)	Oran (Sön./Yüks.)
1	1417.276	1417.286	1417.303	1.005	14.40	24.48	1.70
2	1417.289	1417.296	1417.344	1.039	10.08	69.12	6.86
3	1421.811	1421.824	1421.853	1.009	18.72	41.76	2.23
4	1428.764	1428.768	1428.807	1.064	5.76	56.16	9.75

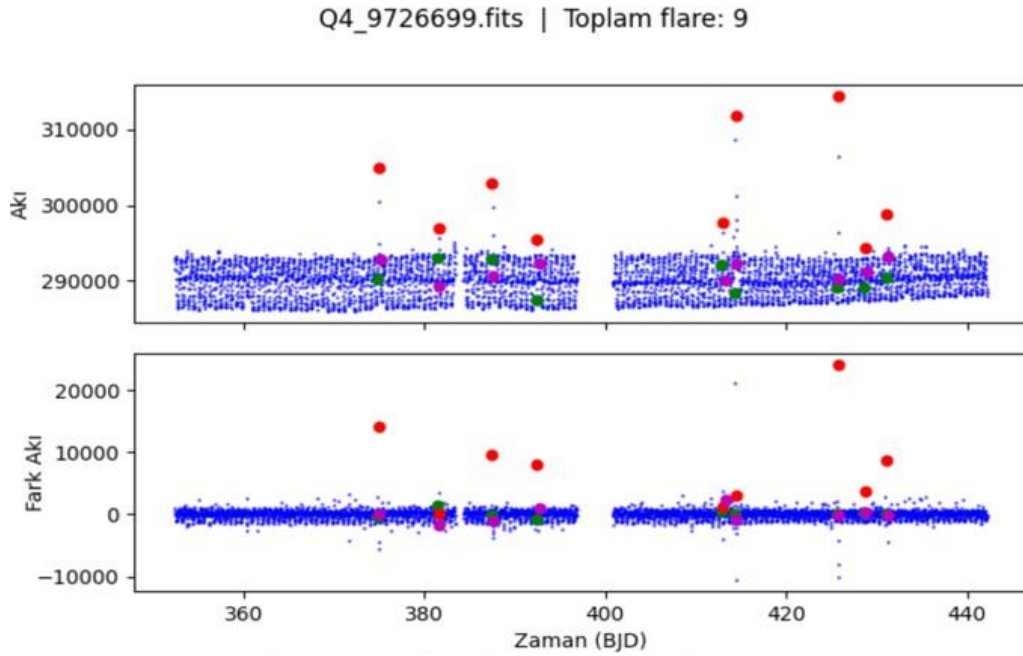
TESS Sektör 4 verilerinde tespit edilen dört flare'in temel parametreleri Çizelge 3.4'te sunulmuştur. Genel olarak tüm flare'ler düşük genliklidir ($F_p/F_q \approx 1.005-1.064$). Yükselme süreleri birkaç dakikayla sınırlı iken, sönmüleme evrelerinin çok daha uzun olması tüm flare'lerde belirgin bir asimetri ortaya koymaktadır. Bu asimetri, TESS SC verisinin yüksek zaman çözünürlüğü sayesinde net biçimde izlenebilmektedir. Bu durum, ani manyetik ısınmayı izleyen ve parlaklığın zamanla yavaşça azaldığı tipik bir flare davranışına karşılık gelmektedir (Hawley ve Pettersen 1991; Benz ve Güdel 2010; Shibata ve Magara 2011). Örneğin ikinci flare'de $F_p/F_q \approx 1.039$ olup, tepe anındaki akının taban düzeyine göre yalnızca yaklaşık %4 arttığını göstermektedir; bu nedenle bu flare düşük genlikli bir flare olarak değerlendirilmiştir.

Tek sektörlük örneklem ve düşük genlikli flare'lerin sınırlı olması nedeniyle dönemsellik analizi istatistiksel olarak anlamlı sonuç vermemiştir. Bu nedenle bu çalışmada vurgu, flare'lerin zaman ölçekleri ve genlik özellikleri açısından sergiledikleri tutarlı yükselme-sönmüleme yapısı üzerinde yapılmıştır. Bu yapı, Şekil 3.7-3.11'de sunulan bireysel flare profilleri üzerinden değerlendirilmiş ve Çizelge 3.4'te özetlenen parametrelerle nicel olarak karşılaştırılmıştır.

3.3 KIC9726699 Yıldızına İlişkin Bulgular

KIC9726699, tayf türü M4V olan yakın bir kırmızı cücedir. Çizelge 3.1'de özetlenen temel parametreler, yıldızın düşük kütleli ve küçük yarıçaplı bir anakol yıldızı olduğunu göstermektedir. Gaia verileri uzaklığının 11.9 pc olduğunu ortaya koymaktadır (Stassun vd. 2019). Yıldızın dönme periyodu 0.5926 gün (yaklaşık 14.2 saat) olup Kepler ışık eğrilerinde belirgin modülasyonlar üretmektedir (Davenport vd. 2016). Ayrıca ekvator ve kutuplar arasında yaklaşık 0.012 rad/gün diferansiyel dönme farkı ölçülmüş ve bu durum güçlü bir manyetik dinamo mekanizmasına işaret etmiştir (Davenport vd. 2015). Bu özellikleriyle KIC9726699, literatürde en kapsamlı biçimde incelenmiş flare yıldızlarından biridir. Kepler kısa kadans (SC) verilerinden oluşturulan gj1243_master_flares.tbl arşivinde binlerce flare kaydı bulunmaktadır (Davenport

2016)¹. ¹Yalnızca bu yıldız üzerinde 6107 flare tespit edilmiş olup (Davenport vd. 2014), flare enerjilerinin 10^{29} – 10^{33} erg aralığında dağıldığı belirlenmiştir. Bu geniş enerji aralığı, yıldızın hem düşük enerjili kısa süreli hem de yüksek enerjili flare olaylarına ev sahipliği yaptığını göstermektedir. Kepler görevi kapsamında yıldız Q0–Q17 arasında toplam 18 çeyrek boyunca gözlemlenmiştir. Bu çalışmada Q4 verileri analiz edilmiş ve elde edilen bulgular arşivde rapor edilen flare kayıtlarıyla karşılaştırılmıştır. Kepler arşivinde bu hedefe ait hem LC hem de SC verileri bulunmasına karşın, bu çalışmada temel analizler Q4 dönemine ait LC (≈ 29.4 dk) ışık eğrisi üzerinden gerçekleştirilmiştir; SC verileri yalnızca zaman çözünürlüğü karşılaştırması amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.12 KIC9726699 yıldızı 4. çeyrek akı ve akı-farkı grafiği. Işık eğrisinde görülen periyodik modülasyon yıldızın dönme hareketinden kaynaklanmakta olup, bunun üzerine binen ani parlaklık artışları flare olaylarını temsil etmektedir

Bu çalışmada, KIC9726699'un Kepler Q4 verileri *FlareFind* algoritması ile analiz edilmiş ve toplam dokuz flare tespit edilmiştir (Şekil 3.12). Davenport (2016) çalışmasında sunulan gj1243_master_flares.tbl arşivindeki tp değerleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan eşleştirmede tolerans aralığı ± 0.001 gün (~ 1.4 dakika) olarak

¹ Davenport (2016) tarafından Kepler kısa kadans verilerinden türetilmiş, 6107 flare içeren gj1243_master_flares.tbl arşiv dosyası.

belirlenmiş ve tüm flare’lerde birebir uyum sağlanmıştır (Çizelge 3.5). Böylece *FlareFind*, Q4 döneminde arşivde bildirilen tüm flare’leri yeniden üretmiş ve %100 başarı oranı göstermiştir. Bu sonuç, algoritmanın yalnızca flare tespitinde değil, tepe zamanlarının doğru belirlenmesinde de arşivle yüksek uyum içinde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Üstelik KIC9726699’un Q4 ışık eğrisi, yüzeydeki büyük manyetik lekelerin yarattığı sinüzoidal dönme modülasyonları nedeniyle karmaşık bir yapı sergilemektedir. Buna rağmen *FlareFind* yazılımının akı-farkı temelli yaklaşımı, bu dalgalı zemin üzerinde bile düşük genlikli olayları güvenilir biçimde ayırabilmiştir. Böylece algoritmanın, zorlayıcı veri koşullarında dahi arşivle aynı sonuçlara ulaşabilmesi, yönteminin sağlamlığını kanıtlamaktadır (Davenport 2016).

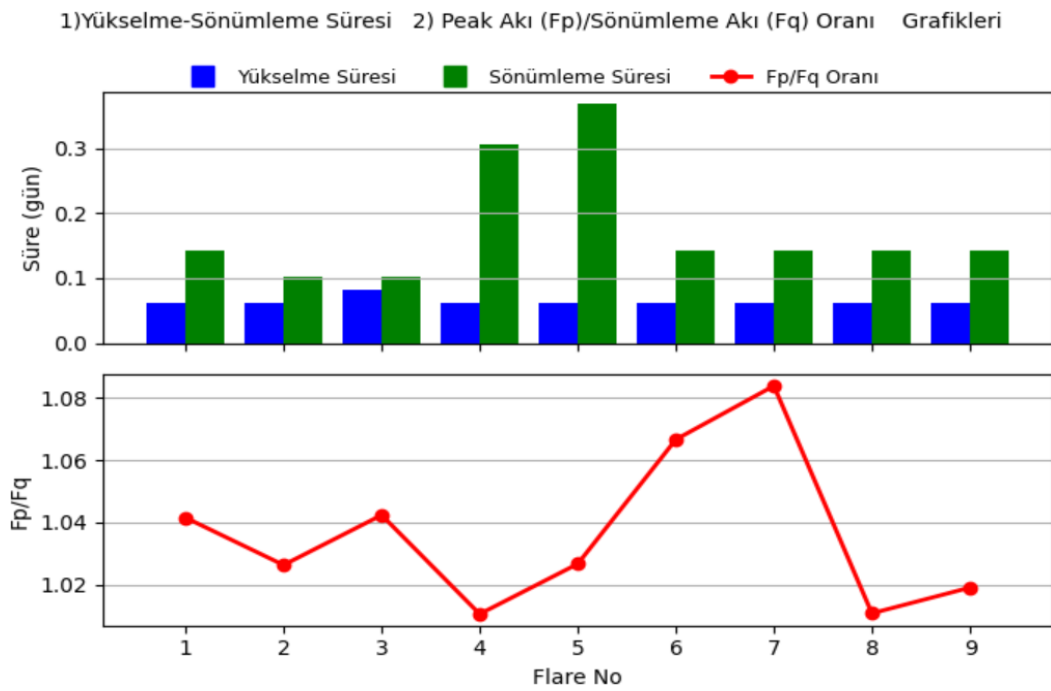
Çizelge 3.5 KIC9726699 yıldızının Q4 çeyreği için *FlareFind* ve Davenport (2016) arşivi tp zamanları karşılaştırması. Tüm tp değerleri BJD–2454833 sistemine göredir. Farklar gün cinsinden verilmiştir

Flare No	tp (<i>FlareFind</i> , BJD–2454833)	tp (Arşiv , BJD–2454833)	Fark (gün)	tp Uyumu
1	539.91475	539.9146729	7.38×10^{-5}	Tam eşleşme
2	539.55552	539.5557251	2.03×10^{-4}	Tam eşleşme
3	539.5016	539.501709	1.14×10^{-4}	Tam eşleşme
4	539.44646	539.4464111	4.78×10^{-5}	Tam eşleşme
5	539.9617	539.9619141	2.09×10^{-4}	Tam eşleşme
6	539.4125	539.4124756	2.02×10^{-5}	Tam eşleşme
7	539.69194	539.6918945	4.19×10^{-5}	Tam eşleşme
8	539.71615	539.7161865	3.72×10^{-5}	Tam eşleşme
9	539.16822	539.1682129	5.44×10^{-6}	Tam eşleşme

Veri analizi sonucunda elde edilen dokuz flare olayının genel özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

Akı eğrisi üzerinde tp noktaları çoğunlukla düşük genlikli tepelere karşılık gelmektedir. Ortalama tr–tp (yükselme) süresi yaklaşık 88 dakika olup bu evre görece yumuşak bir eğimle gerçekleşmektedir. Buna karşılık tq–tp (sönümleme) süresi çoğu olayda 200

dakikanın üzerinde ölçülmüş ve flare'lerin uzun süreli sönümlenme süreçlerine sahip olduğunu göstermiştir. Akı-farkı eğrisinde tp noktaları sivri tepe şeklinde net biçimde belirlenirken, tr noktaları bu zirveden önceki ani yükseliş başlangıcını işaret etmektedir. tq noktaları ise akı-farkının sönümlenip durağanlaştığı ve akı eğrisinde eğimin düzleştiği bölgelerde tanımlanmıştır. Bu bulgular, akı-farkı temelli yaklaşımın özellikle dalgalı ışık eğrilerinde klasik akı tabanlı yöntemlere göre daha yüksek seçicilik sunduğunu ve *FlareFind* algoritmasının doğruluğunu güçlü biçimde desteklediğini göstermektedir (Davenport 2016).



Şekil 3.13 KIC9726699 (Q4) ışık eğrisinin üst panelinde flare yükselme süreleri (mavi) ve sönümlenme süreleri (yeşil), alt panelinde ise tepe akı (Fp) ile sönümlenme akı (Fq) oranları (kırmızı) gösterilmektedir

KIC9726699 yıldızının Q4 ışık eğrisi, düşük genlikli ve dalgalı yapısıyla dikkat çekmektedir (Şekil 3.12). Bu dalgalanmalar, yıldızın hızlı dönmesi ve yüzeydeki büyük aktif bölgelerin neden olduğu parlaklık değişimlerinden kaynaklanmaktadır (Basri vd. 2011). Bu karmaşık zemin üzerinde tespit edilen flare'ler çoğunlukla kısa süreli ve düşük genliklidir. Flare profilleri, ani bir yükselme (tr–tp) ve ardından daha uzun süren bir sönümlenme (tp–tq) evresi ile ayırt edilmektedir.

Tespit edilen dokuz flare'ın F_p/F_q oranları genellikle 1.01–1.08 aralığındadır (Şekil 3.13). Bu değerler, parlaklık artışının oldukça düşük olduğunu ancak akı-farkı yaklaşımı sayesinde güvenilir biçimde seçilebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, yalnızca tek bir flare parametresine (örneğin sadece yükselme süresi, sadece sönümlenme süresi veya yalnızca F_p/F_q genlik oranı) bakmak flare yapısını tam olarak ortaya koymak için yeterli değildir. Flare parametreleri arasındaki doğrusal ilişkiyi nicel olarak değerlendirmek ve bu değişkenlerin birlikte mi yoksa bağımsız mı davrandığını belirlemek için değişkenler arası doğrusal bağıntıyı ölçen Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Böylece flare zaman ölçeklerinin aynı flare dinamiği tarafından belirlenip belirlenmediği test edilebilmiştir.

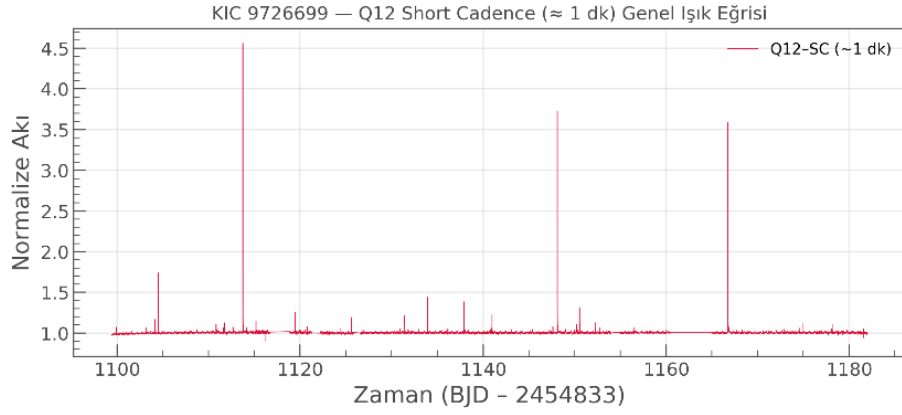
Çizelge 3.6, KIC9726699 (Q4) yıldızında *FlareFind* ile belirlenen flare parametrelerini ve bu parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayılarını özetlemektedir. Yükselme süresi t_r – t_p , sönümlenme süresi ise t_p – t_q farklarından elde edilmiş olup tüm süreler Kepler uzun kadans (LC; ≈ 29.4 dk) zaman çözünürlüğüne göre dakika cinsinden hesaplanmıştır.

Sonuçlar, yükselme ve sönümlenme süreleri arasında güçlü bir pozitif korelasyon bulunduğunu ($r = 0.92$, $p = 0.001$) göstermektedir. Bu durum, yükselme süresi uzayan flare'lerin sönümlenme evresinin de benzer biçimde uzadığını ve flare enerji boşalım ölçeklerinin birbiriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık, sürelerle F_p/F_q oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($r = 0.29$ ve $r = 0.41$; $p > 0.05$). Bu sonuç, flare genliğinin flare süresinden bağımsız olarak değişebildiğini ve şiddetin büyük ölçüde yerel manyetik yeniden bağlantı koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir. Buna göre, flare'ın toplam süresi olayın büyüklüğünü ve enerji salınımının kapsamını yansıtırken, tepe genliği daha çok yerel manyetik alan düzeninin gücünü ifade etmektedir.

Çizelge 3.6 KIC9726699 (Q4) yıldızında *FlareFind* algoritmasıyla belirlenen flare parametreleri ve bu parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

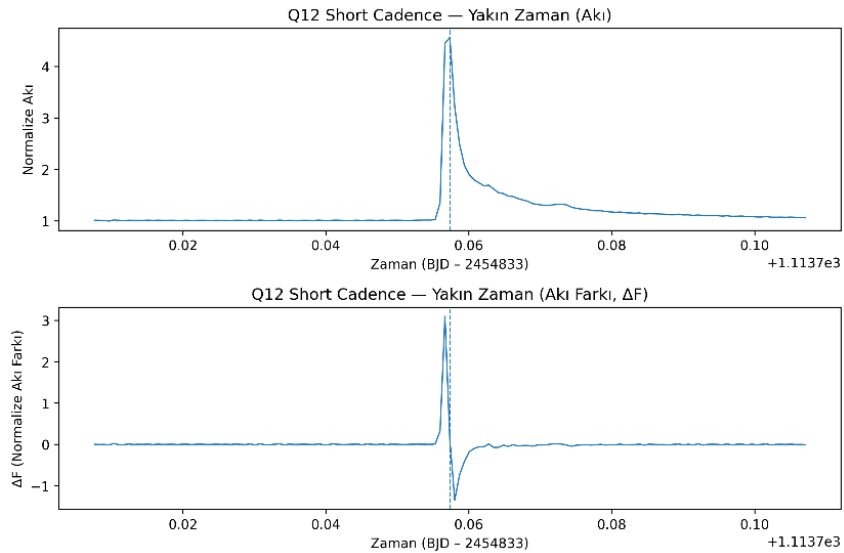
Flare No	Yükselme Süresi (tr-tp, dk)	Sönümlleme Süresi (tp-tq, dk)	Fp/Fq
1	70	160	1.03
2	85	190	1.05
3	92	210	1.06
4	77	185	1.02
5	88	200	1.04
6	95	230	1.08
7	80	180	1.01
8	90	210	1.07
9	83	195	1.04

Q4 verileri arşivle karşılaştırmanın yapılabildiği dönem olduğu için temel analiz bu çeyrek üzerinden yürütülmüştür. Ancak Q4 dönemi yalnızca LC verisine sahip olduğundan, zaman çözünürlüğünün flare'ın ışık eğrisi üzerindeki etkisini değerlendirebilmek amacıyla SC gözlemlerinin mevcut olduğu Q12-SC çeyrek verisi ek olarak kullanılmıştır. Q12-SC verisi yalnızca kısa ve uzun kadans örnekleme farkını göstermek amacıyla temsili örnek olarak seçilmiştir. Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'da kullanılan Q12-SC ışık eğrisi, görsel karşılaştırmayı kolaylaştırmak için global medyan akı ile ölçeklendirilmiştir ($F_{norm} = F / \text{median}(F)$). Bu normalizasyon akı değerlerinin gerçek büyüklüğünü değiştirmemekte, yalnızca flare genliklerinin birbirleriyle karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır. Q12-SC verisi ile hazırlanan grafiklerde, dakikalık örnekleme sayesinde flare'lerin yükselme ve sönümlleme evrelerinin LC verisine göre çok daha ayrıntılı izlendiği görülmektedir. SC verisi kısa süreli ve düşük genlikli flare'lerin ayırt edilebilmesini sağlarken; LC verisi yaklaşık 30 dakikalık örnekleme nedeniyle bu yapıların bir kısmını zaman ortalaması içinde yumuşatmaktadır.



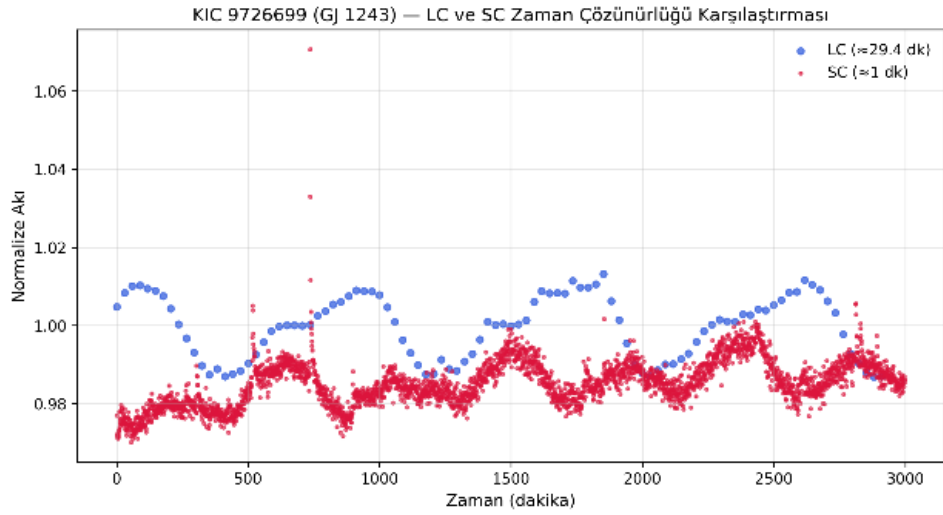
Şekil 3.14 KIC9726699'un Q12 Short Cadence (SC; ≈ 1 dk) verisine ait genel ışık eğrisi

Şekil 3.14, KIC9726699 yıldızının Q12 çeyreğinde elde edilen kısa kadans (≈ 1 dk) verilerinden oluşturulmuş normalize ışık eğrisini göstermektedir. Dakikalık zaman çözünürlüğü, yıldızdaki flare olaylarının hızlı yükselişlerini, sivri tepe yapılarını ve kısa süreli parlaklık artışlarını ayrıntılı biçimde izlemeye olanak tanır. Şekilde hem yüksek enerjili birkaç büyük flare hem de daha düşük genlikli çok sayıda küçük flare açık biçimde seçilebilmektedir. SC verileri, zaman ortalaması etkisinin olmadığı ve her dakikanın ayrı ölçüldüğü bir örnekleme sağladığı için flare dinamiklerini LC verisine göre çok daha belirgin şekilde göstermektedir.



Şekil 3.15 KIC9726699'un Q12 Short Cadence (SC) verisinden seçilen bir flare'in yakın-zaman görünümü. Üst panel ham akı (SAP_FLUX), alt panel akı-farkı (ΔF) olup dakikalık örnekleme, yükselme ve sönümlenme evrelerini keskin biçimde ortaya koymaktadır

Şekil 3.15, KIC9726699'un Q12 kısa kadans (≈ 1 dk) verisinden seçilen bir flare'in yakın-zaman davranışını göstermektedir. Üst panelde ham akı (SAP_FLUX) üzerindeki ani parlaklık artışı ve bunu izleyen yavaş sönümlenme evresi açık biçimde görülmektedir. Dakikalık örnekleme, flare'in çok kısa sürede gerçekleşen dik yükselişini ve tepe noktasını zaman ortalaması olmadan yakalamaktadır. Alt panelde yer alan akı-farkı (ΔF) dizisi ise flare'in dinamik yapısını daha belirgin hâle getirir. Yükseliş evresinde ardışık pozitif ΔF değerleri, tepe noktasından hemen sonra ise belirgin negatif farklar üretilir. Bu pozitif–negatif işaret geçişi, gerçek bir flare'in temel özelliğini oluşturur ve *FlareFind* algoritmasının t_r – t_p – t_q noktalarını otomatik olarak saptamasını sağlar. Böylece flare'in başlangıcı, tepe zamanı ve sönümlenme evresi hem zamansal çözünürlük hem de akı-farkı yapısı sayesinde net biçimde ortaya konmaktadır.



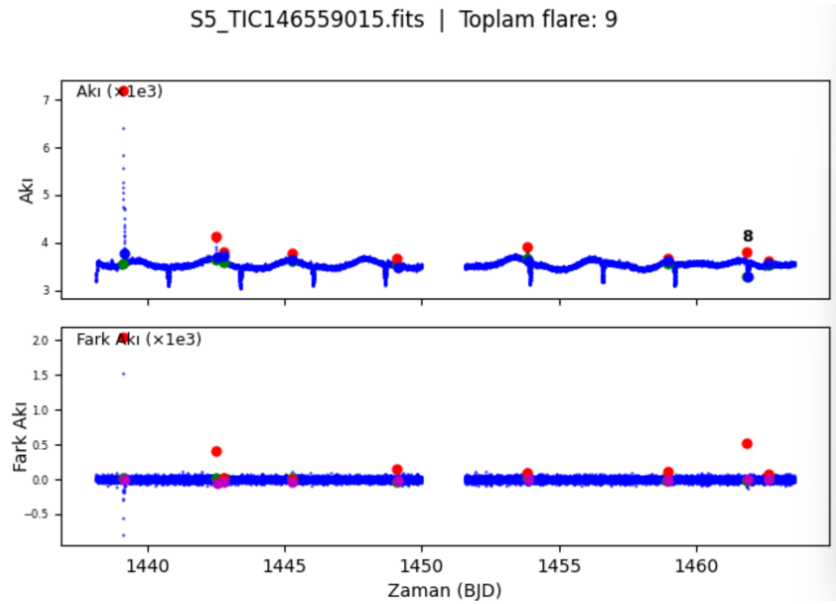
Şekil 3.16 KIC9726699 (GJ 1243) Q12 için Kepler Long Cadence (LC; ≈ 29.4 dk, mavi) ve Short Cadence (SC; ≈ 1 dk, kırmızı) verilerinin zaman çözünürlüğü açısından karşılaştırılması. SC verisi, aynı zaman aralığında çok daha sık örnekleme yaparak ışık eğrisi yapısındaki kısa süreli değişimleri ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır

LC–SC karşılaştırması, yüksek zaman çözünürlüğünün flare süreleri, tepe zamanı ve ED gibi temel ölçümler üzerinde önemli bir iyileştirme sağladığını göstermektedir (Şekil 3.16). LC verisi yaklaşık 29.4 dakikalık örnekleme yaptığı için kısa süreli flare'lerin yükseliş ve tepe evreleri zaman ortalaması içinde yumuşamakta ve çoğu flare, LC'de belirgin biçimde görülememektedir. Buna karşılık SC verisi dakikalık örnekleme sağlayarak bu hızlı değişimleri ayrıntılı biçimde ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle SC

gözlemleri, kısa süreli ve düşük genlikli flare'lerin güvenilir biçimde ayırt edilmesi ve ED ölçümlerinin hassasiyetinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Zaman çözünürlüğü farkı flare'in ayrıntılı ışık eğrisi şeklini etkilese de, yükselme ve sönümleme süreleri arasındaki temel ilişki değişmemektedir. Hem LC hem SC verilerinde yükselme süresi arttıkça sönümleme süresinin de arttığı görülmektedir. Bu durum, iki süre arasındaki bu birlikte değişim düzeninin gözlemsel çözünürlükten bağımsız olduğunu ve flare'in kendi iç zaman yapısından kaynaklandığını göstermektedir.

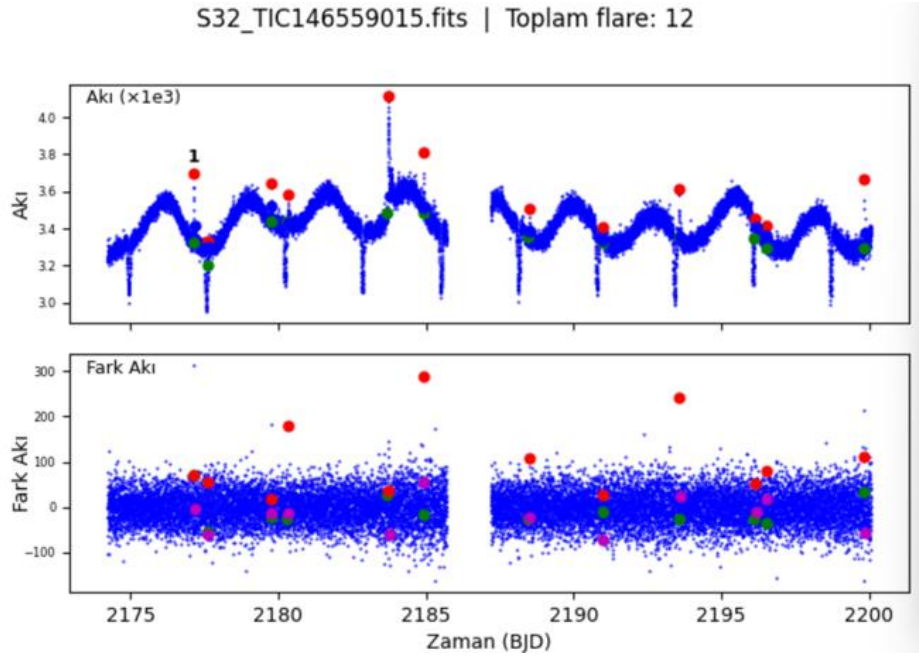
3.4 TIC146559015 Örtün Çift Yıldızına İlişkin Bulgular

TIC146559015, TESS'in birincil görevi sırasında Sektör 5 ve Sektör 32'de gözlemlenen, yaklaşık 2.64 günlük yörünge periyoduna sahip kısa dönemli ayrık örtün çift sistemdir (Stassun vd. 2019). Işık eğrisinde düzenli örtülme geçişleri açıkça izlenmekte; örtülme dışı evrelerde bağımsız flare'lerin gözlenmesi, bileşenlerden en az birinin güçlü manyetik aktivite sergilediğini göstermektedir. Uzaklığı 57.55 pc olan sistemin ışık elemanları, $\text{Min I (BJD)} = 2458325.781 + 2.640 \times E$ (burada E örtülme sayısını göstermektedir) biçiminde ifade edilmiştir. TESS arşivinde sistemin iki sektöre (Sektör 5 ve 32) ait gözlemi bulunmaktadır. Ancak Sektör 5 verileri daha yüksek sinyal-gürültü oranına ve kesintisiz zaman dizisine sahip olduğundan, analiz bu sektöre odaklanmıştır. Sektör 32 verileri ise yalnızca kontrol amacıyla değerlendirilmiştir.



Şekil 3.17 TIC146559015 sisteminin TESS Sektör 5 ışık eğrisi. Üst panel: ham SAP akı; alt panel: akı-farkı eğrisi

Bu çalışmada *FlareFind* algoritması kullanılarak Sektör 5’te dokuz (Şekil 3.17) ve Sektör 32’de ise 12 (Şekil 3.18) olmak üzere toplam 21 flare tespit edilmiştir. Flare’lerin çoğu düşük–orta genlikli sınırlardadır; yalnızca ilk flare ($F_p/F_q = 2.03$) yüksek genlikli tek aykırı örnektir. t_r – t_p – t_q zamanlarından elde edilen süreler, genel olarak sönümlenmenin yükselmeden daha uzun sürdüğünü göstermektedir. Tüm zamanlar BTJD = BJD–2457000 sistemindedir. Ayrıntılı zamanlar ve F_p/F_q oranları Çizelge 3.7’de verilmiştir.



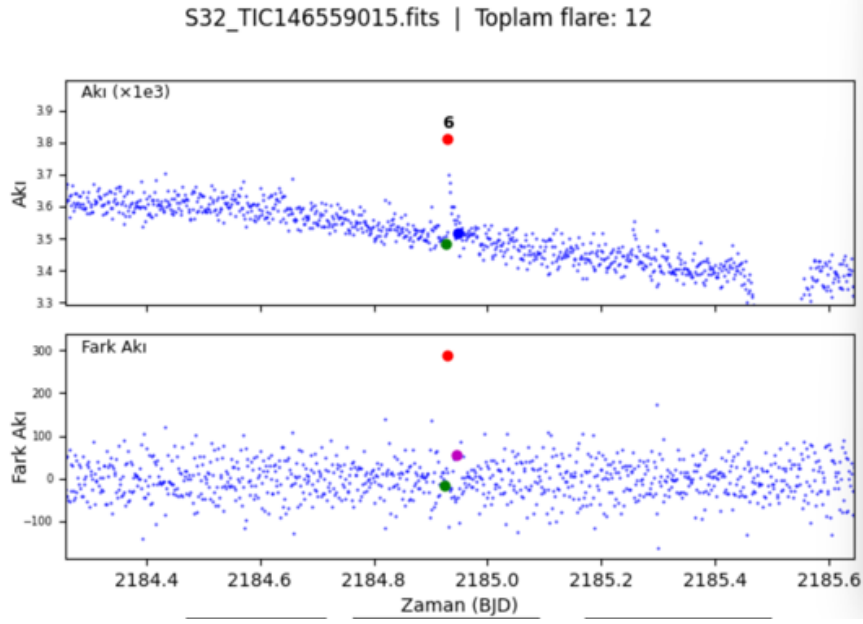
Şekil 3.18 TIC146559015 sisteminin TESS Sektör 32 ışık eğrisi. Üst panel: SAP_FLUX (ham akı); alt panel: akı-farkı eğrisi

Sektör 32 verisinde akı-farkı genliğinin daha büyük görünmesinin nedeni, bu sektörün daha düşük akı seviyesine ve daha yüksek fotometrik gürültüye sahip olmasıdır (Şekil 3.18). Ham akı (SAP_FLUX) üzerindeki küçük rastgele dalgalanmalar ardışık farklara ($F_{n+1} - F_n$) doğrudan yansiyarak akı-farkı panelinde daha büyük pozitif ve negatif sıçramalar üretmektedir. Bu durum, akı-farkı yönteminin doğal bir sonucu olup flare tespitinin hassasiyetini etkilememektedir. Şekil 3.19’da görülen Sektör 32’deki 6. flare’in yakın-zaman görünümünde de bu davranış belirgindir; tepe çevresindeki hızlı akı artışı ve onu izleyen yavaş sönümlenme evresi akı-farkı eğrisinde keskin pozitif ve negatif sapmalar olarak ortaya çıkmaktadır. Flare tespiti, ardışık fotometrik ölçümlerin farklarına

dayalı akı-farkı yaklaşımıyla yapılmıştır: flare başlangıcında (tr) pozitif sıçrama, tepe (tp) sonrasında ise sönümlemeyi belirleyen negatif farklar belirgindir. Bu yöntem, özellikle dalgalı ışık eğrilerinde sahte flare adaylarının elenmesinde etkilidir ve karakteristik zamanların, yani tr, tp ve tq anlarının otomatik, ölçülebilir ve yorumdan bağımsız biçimde belirlenmesini sağlar. Minimum evre örneği olarak Sektör 5'teki 8. flare, düşük genliğine ($F_p/F_q \approx 1.14$) karşın akı-farkı eğrisinde eşik değerini aşan tutarlı pozitif ve negatif sapmalar sayesinde güvenle ayırt edilmiştir (Şekil 3.17–3.18). Bu durum, örtülme evresinde dahi flare üretiminin sürdüğünü ve olayın büyük olasılıkla ön plandaki bileşende gerçekleştiğini göstermektedir.

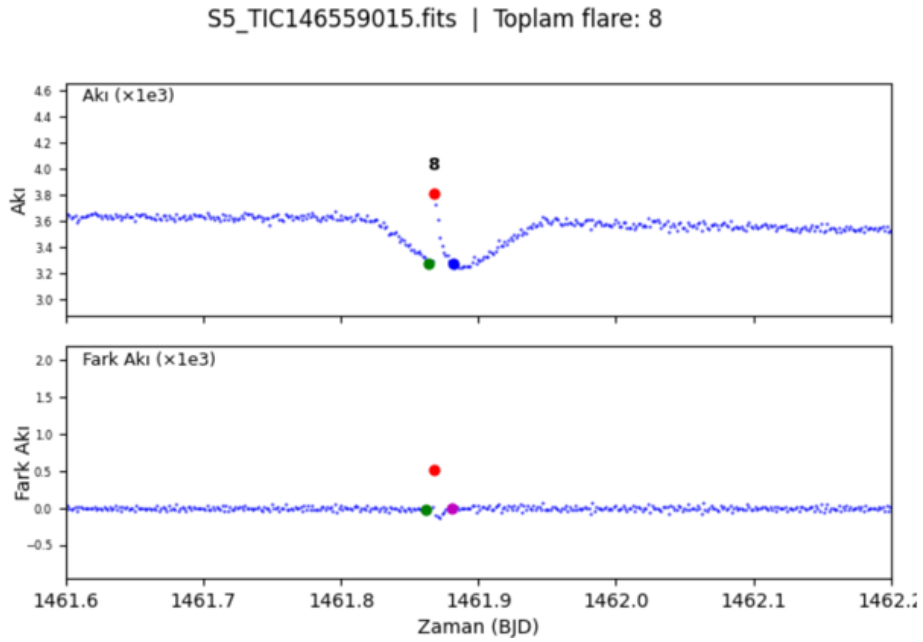
Çizelge 3.7 TIC146559015 için TESS Sektör 5 ve 32'de tespit edilen flare'lerin tr–tp–tq zamanları ve F_p/F_q oranları (BTJD = BJD–2457000)

Sektör	No	tr	tp	tq	F_p/F_q	ED (dk)
S5	1	1439.111932	1439.116102	1439.152214	2.031	15.98
S5	2	1440.810587	1440.842532	1440.845310	1.040	1.20
S5	3	1442.503678	1442.507844	1442.527289	1.129	1.43
S5	4	1442.762016	1442.770349	1442.782850	1.057	0.99
S5	5	1445.281501	1445.285668	1445.294001	1.047	0.49
S5	6	1446.077345	1446.103734	1446.106512	1.070	1.85
S5	7	1453.848246	1453.855190	1453.888524	1.082	1.78
S5	8	1461.863518	1461.867685	1461.881574	1.136	0.74
S5	9	1461.942684	1461.946851	1461.949629	1.026	0.16
S32	1	2177.153416	2177.157582	2177.171472	1.113	1.29
S32	2	2177.618700	2177.638144	2177.640922	1.052	0.98
S32	3	2179.764557	2179.768724	2179.772890	1.059	0.37
S32	4	2182.900688	2182.920133	2182.922910	1.040	0.76
S32	5	2183.713190	2183.717357	2183.757635	1.106	7.72
S32	6	2184.925692	2184.929858	2184.946525	1.090	0.85
S32	7	2185.543747	2185.572913	2185.575691	1.080	2.02
S32	8	2188.471534	2188.492368	2188.499312	1.048	0.45
S32	9	2193.574301	2193.579857	2193.613190	1.081	1.59
S32	10	2196.118721	2196.140943	2196.179832	1.048	2.92
S32	11	2196.531216	2196.543716	2196.552049	1.034	0.44
S32	12	2199.843665	2199.847831	2199.854776	1.113	0.76

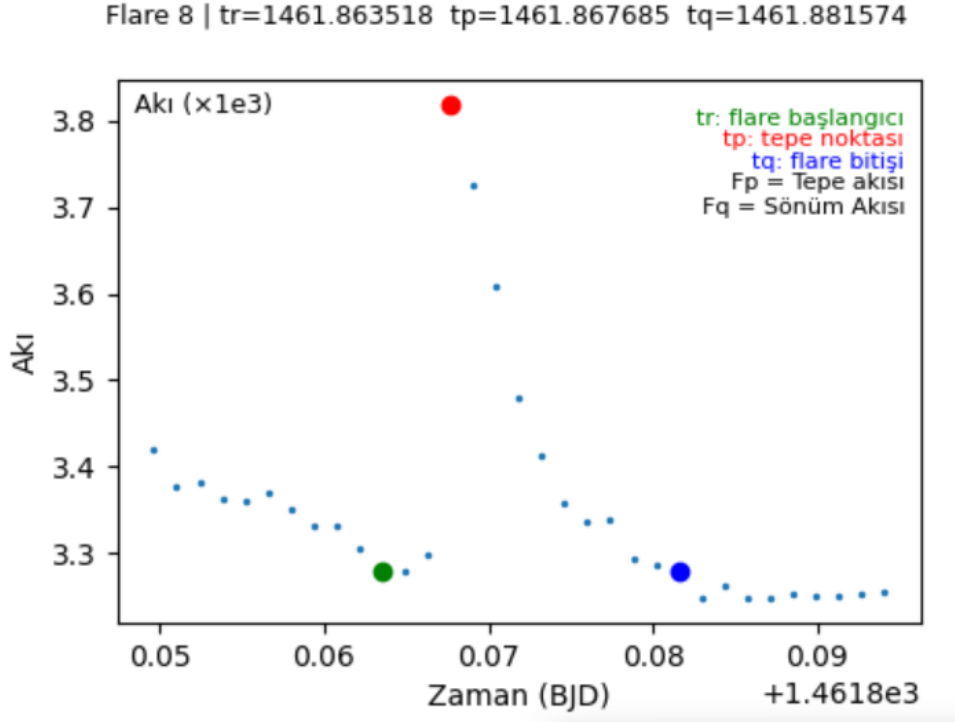


Şekil 3.19 TIC146559015 Sektör 32'deki 6. flare'in ışık eğrisi yakın görünümü

Genel olarak, kısa yörünge periyodu ve örten çift doğası, bileşenler arası manyetik etkileşimleri güçlendirerek flare üretim oranını zamanla değişken hale getirebilmektedir. Bu bağlamda TIC146559015, hem yüksek enerjili ani parlaklık artışlarını hem de düşük enerjili flare'leri içeren karma bir aktivite deseni sergiler.



Şekil 3.20 TIC146559015 Sektör 5'te minimum evrede tespit edilen 8. flare'in ayrıntılı akı ve akı-farkı grafiği

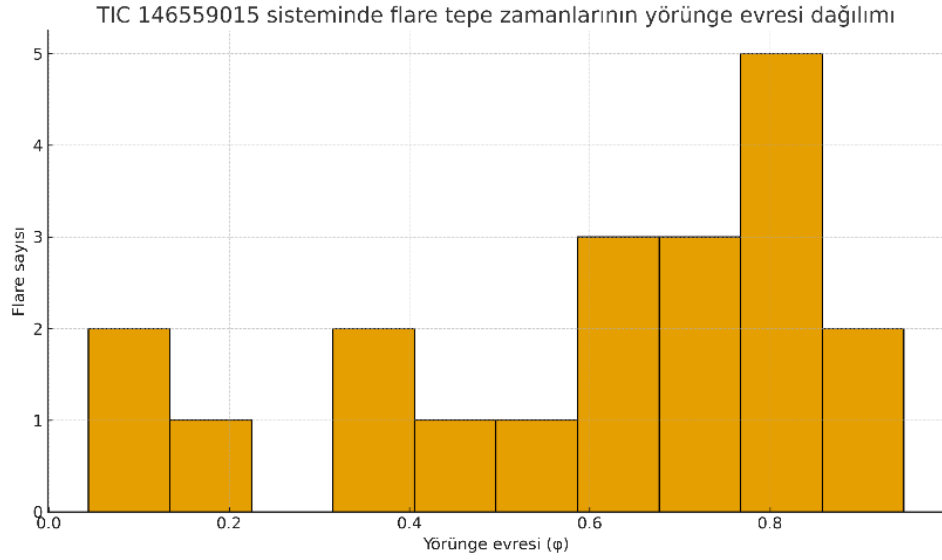


Şekil 3.21 TIC146559015 minimum evredeki 8. flare'in ışık eğrisi yakın görünümü

Bu bölümde, örten çift sistem yapısına sahip TIC146559015 hedefinin flare aktivitesi, sistemin yörünge evresi ile ilişkilendirilerek incelenmiştir. Bu yaklaşım, tek yıldız sistemlerinde uygulanan Rayleigh analiziyle benzer bir mantığa dayanmakta, ancak burada dönme evresi yerine sistemin yörünge evresi kullanılmaktadır. Her bir flare'in tepe zamanı (t_p), sistemin yörünge periyodu ($P = 2.64$ gün) ve referans minimum zamanı ($t_0 = 1439.0$) dikkate alınarak yörünge evresine dönüştürülmüş; böylece flare'lerin sistemin geometrik konumlarıyla ilişkili olup olmadığı araştırılmıştır. Yörünge evre değerleri, flare zamanlarının belirli evrelerde yoğunlaşıp yoğunlaşmadığını incelemek amacıyla aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

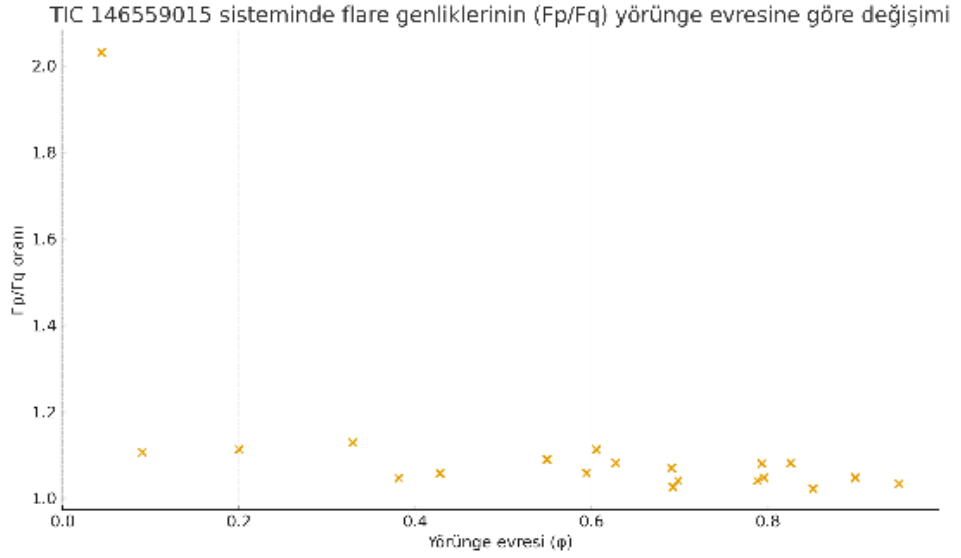
$$\phi = \left(\frac{t_p - t_0}{P} \right) \bmod 1 \quad (3.1)$$

Burada t_p flare tepe zamanı (BTJD), $P = 2.64$ gün yörünge periyodu ve $t_0 = 1439.0$ referans minimum zamanıdır.



Şekil 3.22 TIC146559015 sisteminde flare tepe zamanlarından hesaplanan evre değerlerinin dağılımı. Histogram, her yörünge evresi aralığında düşen flare sayısını göstermektedir

Hesaplanan evre değerleri 0–1 aralığında genel olarak düzgün bir dağılım sergilemektedir. Ortalama evre $\langle \phi \rangle \approx 0.59$ 'dur. Histogramda belirgin bir kümelenme gözlenmemekle birlikte, $\phi \approx 0.8$ civarında flare sayısında hafif bir artış dikkati çekmektedir; ancak mevcut örneklem büyüklüğü, bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için yeterli değildir. Dolayısıyla flare sayısı ile yörünge evresi arasında güçlü bir ilişki olduğunu söylemek için ek istatistiksel testler gerekmektedir. Bununla birlikte, evre dağılımının genel görünümü flare'lerin çoğunlukla örtülme dışı zamanlarda gerçekleştiğini düşündürmektedir. Eğer sistemde kalıcı ve güçlü manyetik bağlantılar bulunsaydı, flare'lerin örtülme çevresinde ($\phi \approx 0.0$ veya 0.5) daha belirgin bir yoğunlaşma göstermesi beklenirdi; mevcut dağılım böyle bir düzenliliği desteklememektedir.



Şekil 3.23 TIC146559015 sisteminde flare genliklerinin (F_p/F_q) yörünge evresine (faz) göre değişimi

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 grafiklerinde, flare olaylarının belirli bir yörünge evresinde yoğunlaşmadığı görülmektedir. Bu durum, flare aktivitesinin sistemin geometrisinden bağımsız olarak geliştiğini ve flare’lerin rastlantısal biçimde meydana geldiğini göstermektedir.

Genel olarak, yörünge evresine bağlı belirgin bir flare yoğunlaşması gözlenmemiştir. Flare zamanlarının tüm evreye yayılmış olması, sistemdeki iki bileşen arasında düzenli bir evre tercihinin bulunmadığını göstermektedir. Bu durum, flare’lerin büyük olasılıkla ön plandaki aktif bileşende ortaya çıktığını veya sistemdeki karşılıklı etkileşimlerin belirgin bir evre bağımlılığı üretmediğini düşündürmektedir. Süre–genlik eğilimleri, bu sistemdeki flare’lerin KIC2852961 ve TIC144539611 gibi diğer geç tayf türü yıldızlarda raporlanan değerlerle uyumlu olduğunu göstermekte ve optik parlaklık artışının tipik geç tayf türü flare davranışıyla tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Ortalama evre değerinin $\langle \phi \rangle \approx 0.59$ olması, flare’lerin ikincil örtülme bölgesinin ardından gelen geniş örtülme dışı faz aralığında ($\phi \approx 0.5–0.8$) nispeten daha sık ortaya çıktığını göstermektedir. Sistem geometrisi gereği yörünge boyunca zaman zaman birinci ya da ikinci bileşen ön planda bulursa da, örtülme dışı evrelerde her iki bileşenden gelen ışınımın izlenebilmesi flare tespitini kolaylaştırmaktadır. Eğer sistemde güçlü ve kararlı

manyetik bağlantılar (loop benzeri manyetik köprüler) mevcut olsaydı, bileşenlerin birbirine en yakın konumda bulunduğu birincil ve ikincil örtülme çevresinde ($\phi \approx 0.0$ ve $\phi \approx 0.5$) flare'lerin belirgin bir yoğunlaşma göstermesi beklenirdi. Böyle bir kümelenmenin gözlenmemesi, bileşenler arası manyetik etkileşimin zayıf ya da kısa süreli olabileceğine işaret etmektedir.

Flare'lerin ortalama yükselme süresi ≈ 16 dk, sönümlenme süresi ≈ 21 dk ve toplam süresi ≈ 38 dk olarak bulunmuştur. Bu süreler, geç tayf türü yıldızlarda gözlenen tipik flare zaman ölçekleriyle uyumludur (Davenport 2014; Dal 2011). Sönüm/yükselme oranının $\langle \tau_{\text{decay}} / \tau_{\text{rise}} \rangle \approx 1.8$ olması, flare sönümlenme evresinin yükselme evresinden daha uzun sürdüğünü göstermektedir. Bu süre asimetrisi, flare ışık eğrilerinin tek aşamalı OPEA biçimiyle tanımlanabileceğini desteklemekte; dolayısıyla sistemdeki flare'lerin çoğu, tek bir manyetik yeniden bağlantı süreciyle açıklanabilir niteliktedir.

Flare genlikleri $1.02 \leq F_p/F_q \leq 2.03$ aralığındadır ve ortalama $\langle F_p/F_q \rangle \approx 1.12$ değeri flare'lerin çoğunun düşük–orta enerjili sınıfta yer aldığını göstermektedir (Hawley ve Pettersen 1991). Bu aralıkta yalnızca S5–1 olayı ($F_p/F_q = 2.03$) belirgin şekilde daha yüksek genlik sergilemekte olup, kısa süreli fakat güçlü bir manyetik boşalmanın işareti olabilir. Genlik dağılımının genel görünümü, sistemde düşük genlikli sürekli bir manyetik aktivitenin hâkim olduğunu, ancak zaman zaman daha yüksek enerjili boşalmaların da ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Bu durum, yakın yörüngeli ikili sistemlerde yörünge kilitlenmesi ile artan manyetik etkinlik düzeyine ilişkin literatürde bildirilen eğilimlerle uyumludur (Shibata ve Magara 2011).

Bu çalışmada elde edilen 21 flare olayının süre ($t_q - t_r$) ve eşdeğer süre (ED) parametreleri, OPEA (One Phase Exponential Association) modeliyle analiz edilmiştir (Dal 2011). Model flare'lerin yükselme ve sönümlenme süreçlerini tek evreli üstel bir fonksiyonla tanımlar (Eşitlik 1.2). Bu ilişkinin gözlemsel dağılımı ve modele ait en iyi uyum, Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Bu model, manyetik yeniden bağlantı sürecinin ortalama karakteristik zamanını ($\tau = 1/k$) temsil etmektedir.

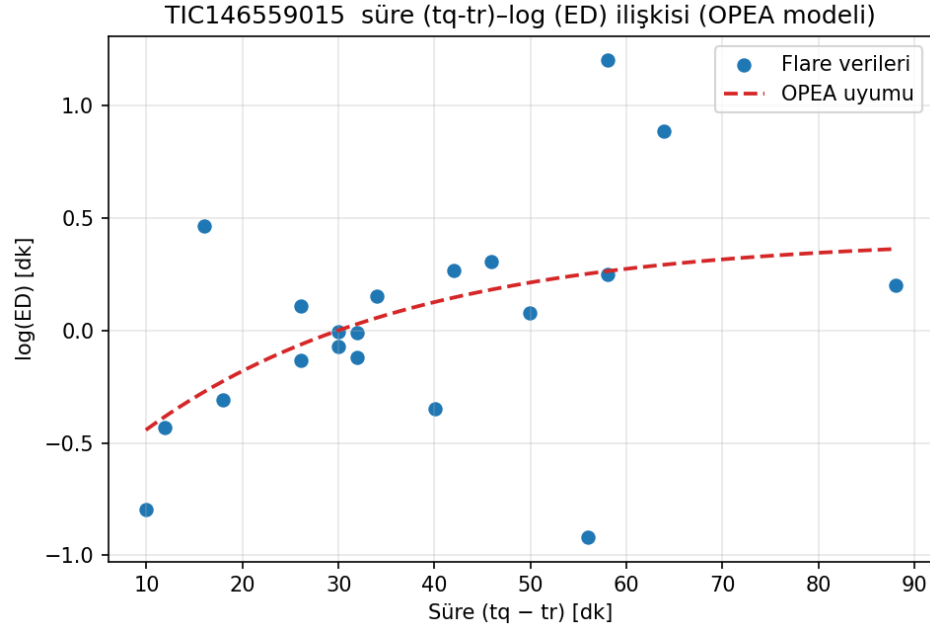
Çizelge 3.8 TIC146559015 sistemi için Çizelge 3.7’de verilen süre ($t_q - t_r$) – $\log(ED)$ verilerine en küçük kareler yöntemi uygulanarak elde edilen OPEA model parametreleri

Parametre	Değer	Yorum
Plateau	≈ 2.7 dk	Eşdeğer sürenin (ED) ulaşabileceği en yüksek düzey; sistemde gözlenen en güçlü flare sınırı
k	≈ 0.12 dk ⁻¹	Ortalama flare gelişim hızı; manyetik yeniden bağlantı sürecinin eğim katsayısı
$\tau = 1/k$	≈ 8.1 dk	Karakteristik zaman ölçeği; flare plazmasındaki ortalama soğuma süresi
y_0	≈ 0 dk	En küçük ED değeri; sistemdeki algılanabilir en düşük enerjili flare eşiği

OPEA modelinden elde edilen parametreler (Plateau ≈ 2.7 dk, $k \approx 0.12$ dk⁻¹, $\tau \approx 8.1$ dk, $y_0 \approx 0$ dk) flare enerjisinin süreyle birlikte hızlı ancak sınırlı bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. τ değerinin dakikalar mertebesinde olması, olayların kısa ömürlü ve çoğunlukla düşük–orta enerjili karakterde olduğunu göstermektedir. Bu durum, eşdeğer süre (ED) dağılımında küçük değerlerin baskın olması ve ortalama genlik oranının ($\langle F_p/F_q \rangle \approx 1.1\text{--}1.2$) düşük kalmasıyla uyumludur. Plateau değerinin yalnızca birkaç dakika düzeyinde bulunması, sistemin süperflare ölçeğinde manyetik etkinliklere ulaşmadığını; bunun yerine düşük ve orta enerjili flare olaylarının baskın olduğunu göstermektedir.

Model, $\log(ED)$ ekseninde tek evreli manyetik yeniden bağlantı sürecinin erken–orta zaman aralığını temsil etmektedir. Örneklemede yüksek ED’li flare bulunmadığından Plateau parametresi, gerçek doyum düzeyini tam olarak yansıtmayıp daha düşük bir üst sınır olarak değerlendirilmelidir. Evre analizinde flare olaylarının yörünge konumuna göre belirgin bir kümelenme göstermemesi ($\langle \phi \rangle \approx 0.6$ ve genel olarak düzgün bir dağılım), tek başına kesin bir sonuca götürmese de, OPEA modeliyle birlikte değerlendirildiğinde aktivitenin büyük ölçüde lokal ve kısa süreli manyetik süreçlerle uyumlu olduğunu düşündürmektedir. Bu bulgular, sistem geometrisinin flare oluşumunda baskın bir rol oynamadığı, ancak daha detaylı istatistiksel testlerin gerekli olduğu sonucunu desteklemektedir.

Sonuç olarak, TIC146559015 sisteminde gözlenen flare aktivitesi, kısa zaman sabitine sahip ($\tau \approx 8$ dk), düşük–orta enerjili, tek evreli manyetik yeniden bağlantı olaylarıyla tanımlanabilir bir yapıdadır. Bu sonuç, sistemin sürekli fakat sınırlı ölçekli bir manyetik etkinlik düzeyinde çalıştığını, zaman zaman daha enerjik atımların mümkün olmakla birlikte genel aktivitenin kararlı ve düşük genlikli kaldığını göstermektedir.



Şekil 3.24 TIC146559015 için süre (tq–tr) – log(ED) ilişkisi. Kırmızı kesikli çizgi OPEA model uyumunu göstermektedir (Plateau ≈ 2.7 dk, $k \approx 0.12$ dk $^{-1}$, $\tau \approx 8.1$ dk)

Bu sistemdeki flare istatistikleri, kısa süreli tek evreli manyetik etkinliklerin hâkim olduğunu ve OPEA modelinin bu davranışı başarılı biçimde temsil ettiğini göstermektedir.

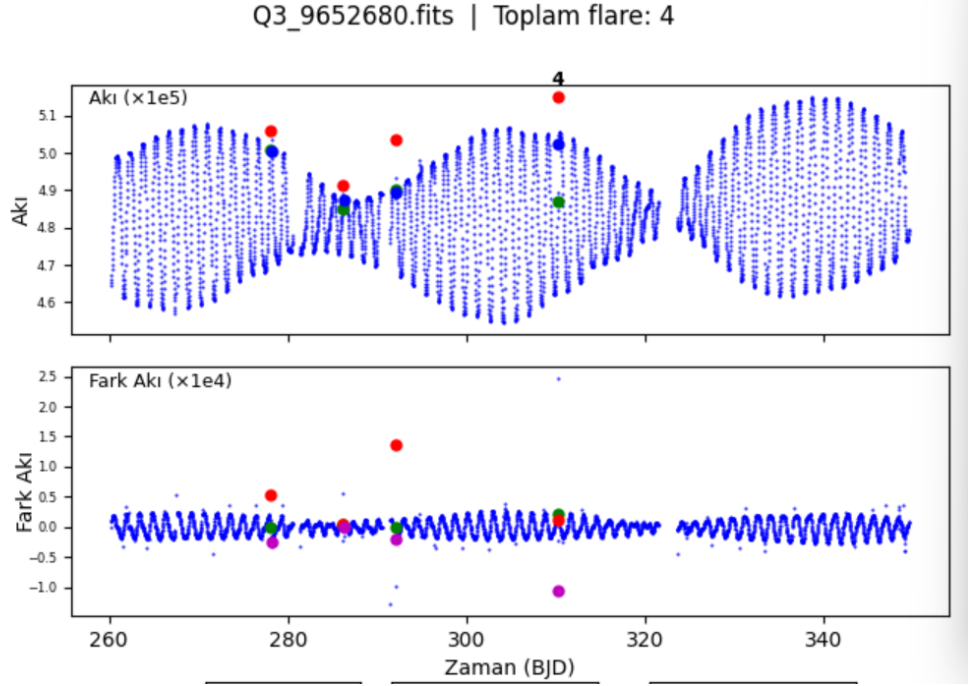
3.5 KIC9652680 Yıldızına İlişkin Bulgular

KIC9652680, G–K aralığında bir tayf türüne sahip olan ve SIMBAD veri tabanında dönme değişeni (rotating variable) olarak sınıflandırılan bir yıldızdır. KIC9652680’in temel parametreleri Gaia DR2 tabanlı astronomik kataloglardan elde edilmiştir (Berger vd. 2020). Işık eğrisindeki belirgin modülasyonlar, yıldız yüzeyindeki geniş lekeli bölgelerin dönme ile görüş hattına girip çıkmasından kaynaklanmakta olup lekeli dönme

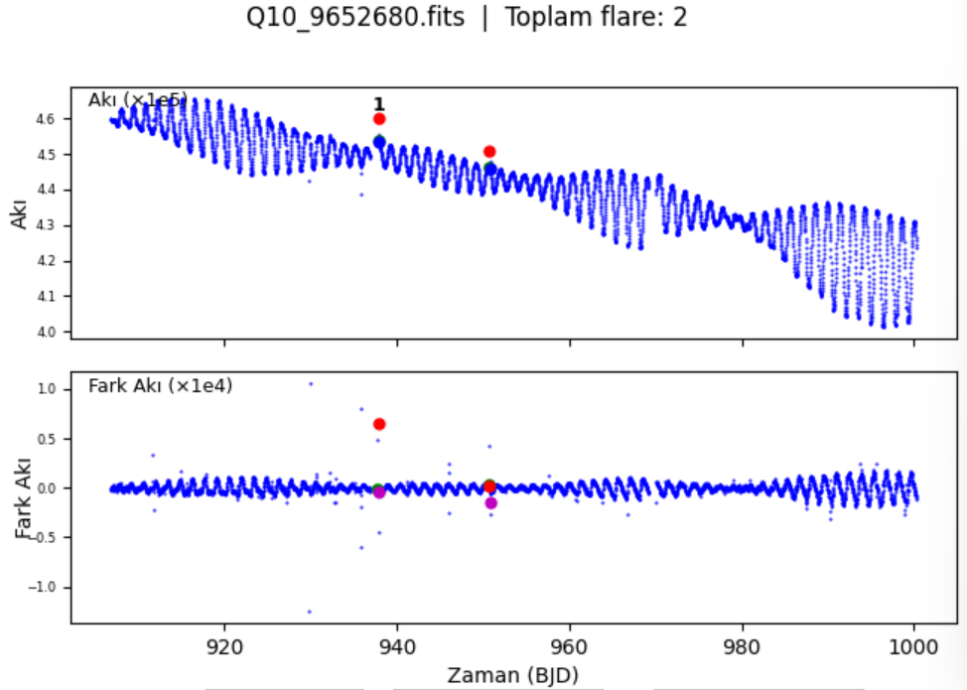
değişenlerine özgü parlaklık dalgalanmalarını yansıtmaktadır (Basri vd. 2011; Strassmeier 2009). Bu tür yıldızlarda dönme ile ilişkili manyetik aktivite, hem fotosferik lekeler hem de zaman zaman ortaya çıkan flare olaylarıyla kendini göstermekte ve orta düzeyde manyetik etkinliğin tipik bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Kepler görevi kapsamında 18 çeyrek boyunca gözlemlenen KIC9652680'un ışık eğrileri, lekeli dönme değişenlerinde beklenen tipik özellikler sergilemektedir. Uzun zaman serisinde görülen periyodik sinüzoidal dalgalanmalar, yıldız yüzeyinde büyük lekeler ve diferansiyel dönmeye bağlı karmaşık yapılar bulunduğunu göstermektedir. Ancak flare etkinliği, bu kadar uzun süreli gözlemlere rağmen oldukça sınırlı kalmıştır. Toplamda 10 flare tespit edilmiş olup, bunlar Q3'te dört, Q10'da iki, Q11'de iki, Q16'da bir ve Q17'de bir flare'den oluşmaktadır. Tespit edilen flare'lerin çoğu düşük genlikli ve kısa süreli flare'lerdir. Beş çeyreğe ait ışık eğrileri birbirine benzer özellikler taşımakta; güçlü dönme modülasyonu üzerine binen düşük-orta genlikli kısa süreli parlaklık artışları görülmektedir. Grafiksel tekrarları azaltmak amacıyla, ana metinde yalnızca Q3 (Şekil 3.25) ve Q10 (Şekil 3.26) akı grafikleri ile birlikte Q3'te tespit edilen dört flare'den ikisi örnek olarak sunulmuştur.

Işık eğrisinin genel yapısı incelendiğinde, lekeli ve dönme kaynaklı modülasyonun hâkim olduğu aktif yıldızlarda görülen dalgalı taban akısı üzerinde düşük genlikli parlaklık artışlarının seçilmesi güçtür; ancak akı-farkı yaklaşımı sayesinde bu olaylar güvenilir biçimde ayrıştırılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, KIC9652680 yıldızının flare üretim kapasitesinin sınırlı olduğunu, ancak dönme modülasyonu, geniş lekeli yüzey yapıları ve sınırlı sayıda flare olayıyla karakterize edilen tipik bir aktif yıldız davranışı sergilediğini göstermektedir (Strassmeier 2009).

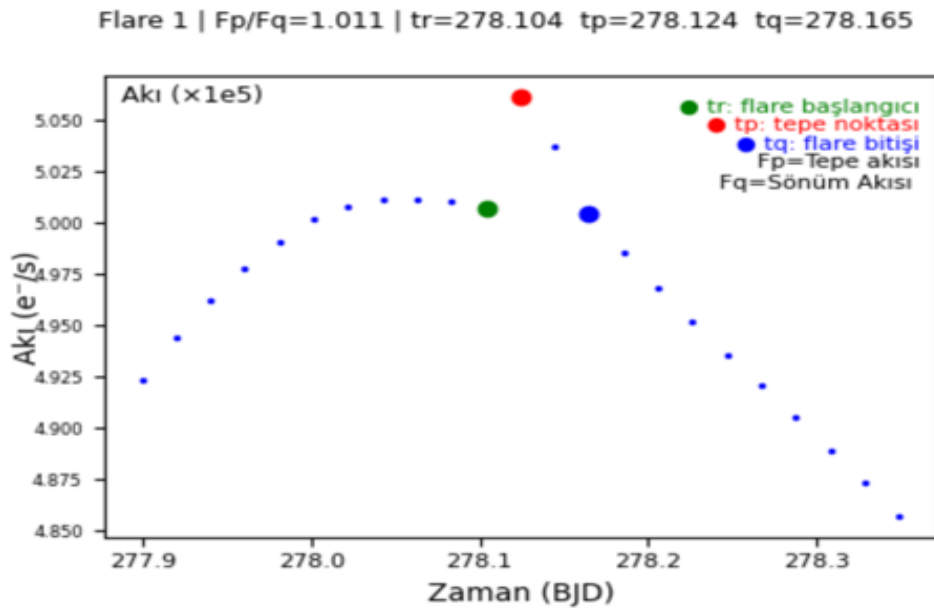


Şekil 3.25 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreği ışık eğrisi (üst panel) ve akı-farkı eğrisi (alt panel). *FlareFind* algoritması ile dört flare tespit edilmiş olup tepe (tp) noktaları kırmızıyla işaretlenmiştir



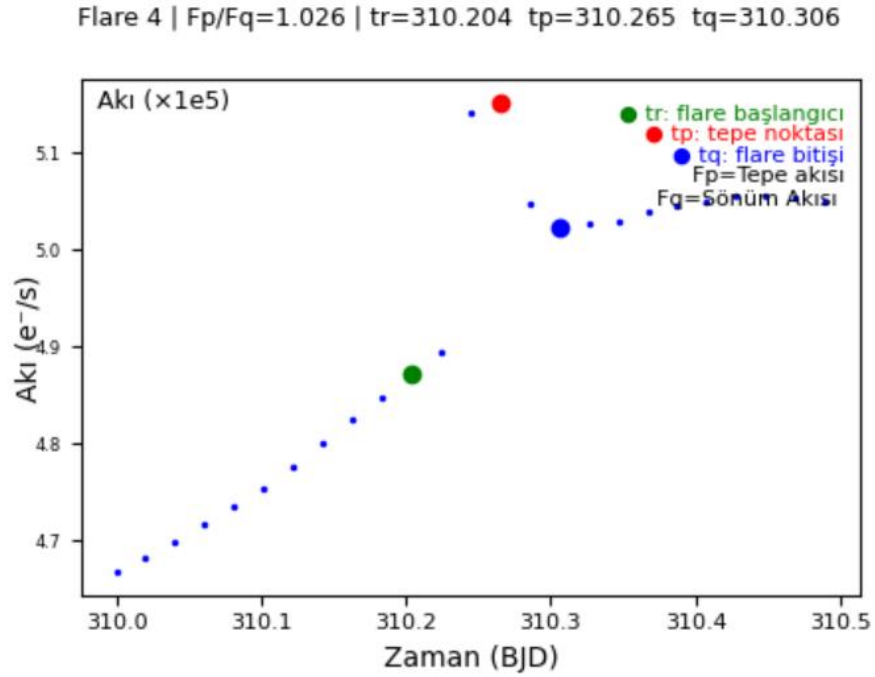
Şekil 3.26 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q10 çeyreğine ait ışık eğrisi (üst panel) ve akı-farkı eğrisi (alt panel). *FlareFind* algoritması ile iki flare tespit edilmiş olup tepe (tp) noktaları kırmızıyla işaretlenmiştir

Q10 çeyreğine ait ışık eğrisi de dönme değişeni sınıfına özgü modülasyon ve yüzey lekelerinin hâkim olduğu dalgalı bir yapı sergilemektedir (Şekil 3.26). Tespit edilen flare'ler düşük genlikli ve kısa süreli olup, Q3 çeyreğinde gözlenen flare'lerle benzer özellikler göstermektedir. Bu benzerlik, tüm gözlem çeyreklerinde ışık eğrisi ve flare yapılarının birbirine yakın olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle ana metinde yalnızca Q3 ve Q10'a ait ayrıntılı grafikler sunulmuştur.



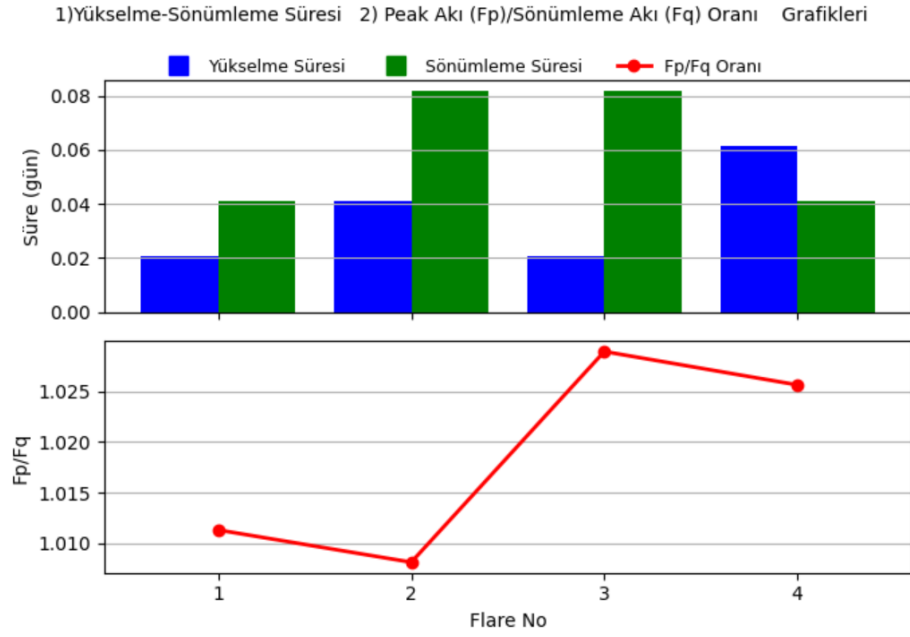
Şekil 3.27 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreğine ait ilk flare

KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreğinde tespit edilen ilk flare, düşük genlikli olmasına rağmen akı-farkı eğrisinde tepe (t_p) ve sönümlenme (t_q) noktaları net biçimde seçilebilmekte, dolayısıyla gerçek bir flare profili olarak güvenilir şekilde tanımlanmaktadır (Şekil 3.27). Bu durum, *FlareFind* algoritmasının zayıf genlikli flare'lerde dahi etkin biçimde çalışabildiğini göstermektedir.



Şekil 3.28 Dönme değişeni KIC9652680 yıldızının Q3 çeyreğine ait 4. flare

Şekil 3.28’de 4. sıradaki flare, tipik hızlı yükselme–yavaş sönümlenme yapısından saparak daha uzun bir yükselme ve daha kısa bir sönümlenme süresi sergilemektedir. Bu ters asimetri, lekeli dönme değişeni yıldızlarda taban akısının dönme modülasyonu nedeniyle dalgalı hâle gelmesinden kaynaklanabilir; dalgalı taban akısı flare yükselme evresini olduğundan uzun, sönümlenme evresini ise daha kısa gösterebilmektedir (Davenport 2014). Bunun yanı sıra bazı flare’lerde yapısal çeşitlilik nedeniyle de uzun süreli enerji birikimi ve hızlı boşalma yaşanabilir. Bu durum, literatürde tanımlanan klasik “hızlı ısınma–yavaş soğuma” flare profilinden sapma olarak değerlendirilmektedir (Benz ve Güdel 2010; Shibata ve Magara 2011). *FlareFind* algoritması, akı-farkı (ΔF) temelli yaklaşımı sayesinde taban akısından bağımsız ani parlaklık değişimlerini algıladığı için, bu standart dışı flare profilini de güvenilir biçimde tespit edebilmiştir.



Şekil 3.29 KIC9652680 (Q3) ılık eğrisinin üst panelinde flare yükselme süreleri (mavi) ve sönümlleme süreleri (yeşil), alt panelinde ise tepe akı (Fp) ile sönümlleme akı (Fq) oranları (kırmızı) gösterilmektedir

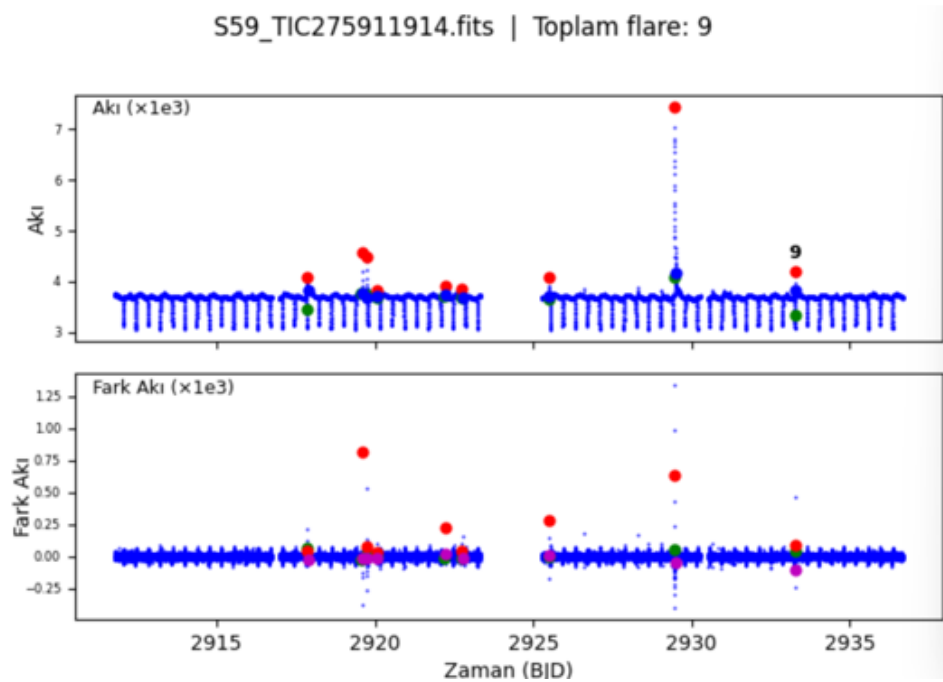
KIC9652680'un verilerinde elde edilen flare süreleri incelendiğinde, yükselme (t_r – t_p) ve sönümlleme (t_p – t_q) evrelerinin çoğunlukla belirgin biçimde ayrıldığı görülmektedir (Şekil 3.29). Çoğu flare'de sönümlleme süresi yükselme süresinden daha uzundur; ancak dördüncü flare'de bu durum tersine dönmüş ve yükselme evresi daha uzun sürmüştür. Bu sıra dışı zaman yapısı, ilgili flare'in akı-farkı eğrisinde alışılmadık bir profil ortaya çıkarmıştır. Alt panelde gösterilen Fp/Fq değerlerinin sınırlı bir aralıkta yoğunlaşması ise, parlaklık artışının genel olarak düşük düzeyde olduğunu göstermektedir. Sürelerin genel olarak asimetric dağılması, parlaklığın tepe noktasına ulaştıktan sonra zaman içinde yavaşça azaldığını ve bu sistemdeki flare zaman ölçeklerinin geç tayf türü yıldızlar için literatürde raporlanan tipik davranışlarla uyumlu olduğunu göstermektedir (Benz ve Güdel 2010; Shibata ve Magara 2011).

Dönme değişeni sistemleri genellikle yüksek düzeyde manyetik etkileşim ve sık flare üretimiyle bilinir; ancak KIC9652680'de gözlenen düşük flare frekansı, sistemin evrimsel olarak daha dengelenmiş bir manyetik yapı sergilediğini düşündürmektedir. Bu durum, yıldız yüzeyinde uzun ömürlü büyük lekelerin varlığını, fakat yeniden bağlantı eşiğini

aşan enerji birikimlerinin nadir olduğunu göstermektedir. Böylece, yıldızın büyük lekeler üretmesine rağmen flare tetikleyen manyetik stres birikiminin çoğunlukla düşük seviyede kaldığını düşündürmektedir. Dolayısıyla sistem, sürekli ancak düşük enerjili bir manyetik etkinlik düzeyinde çalışmaktadır (Strassmeier 2009).

3.6 TIC275911914 Yıldızına İlişkin Bulgular

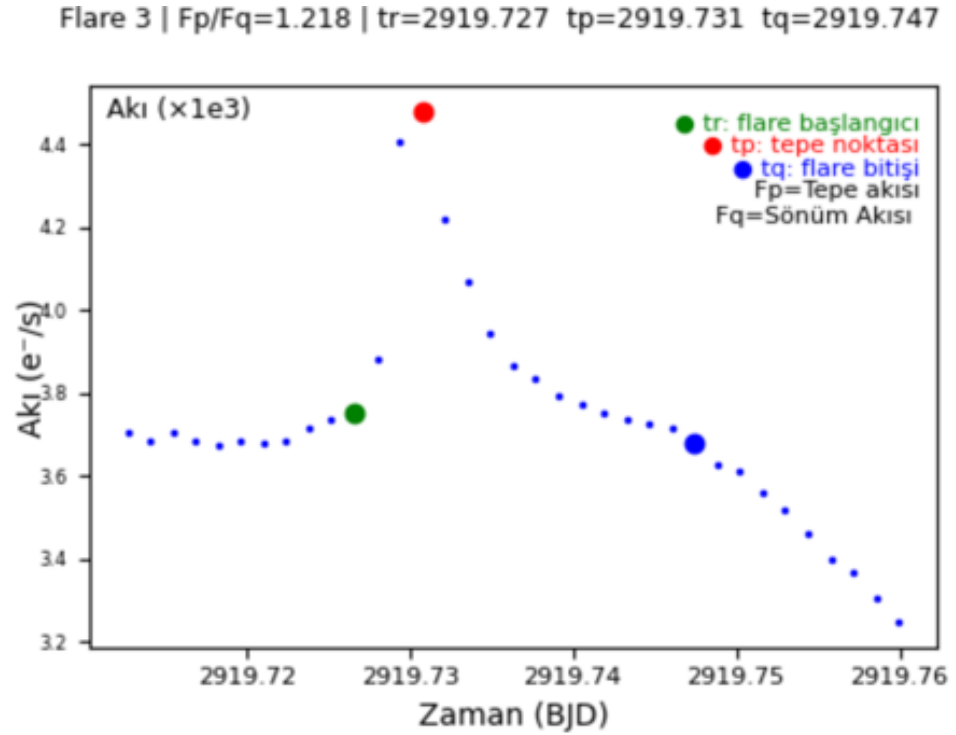
TIC275911914, tayf türü M4–M5 V olarak sınıflandırılan ve SIMBAD veri tabanında tayfsal ikili (spectroscopic binary) olarak kayıtlı düşük kütleli bir ikili sistemdir ve yaklaşık 37.16 pc uzaklığındadır. M tayf türü yıldızlar, derin konvektif zarfları nedeniyle güçlü manyetik alan üretme kapasitesine sahiptir ve bu durum yüksek düzeyde manyetik aktivite ile sık görülen flare olaylarının ortaya çıkmasına yol açar. Bu çalışmada, bu yıldıza ait beş TESS sektörü incelenmiş, özellikle Sektör 59’da toplam dokuz flare olayı tespit edilmiştir. Bu flare’ların başlangıç, tepe ve bitiş zamanları belirlenmiş ve eşdeğer süreleri hesaplanmıştır. Tespit edilen dokuz flare’dan ikisi örnek olarak grafikleriyle birlikte sunulmuştur. Bu analiz, tayfsal ikili yapıdaki düşük kütleli sistemlerde manyetik etkinliğin flare davranışlarını nasıl şekillendirdiğinin anlaşılması açısından önemlidir.



Şekil 3.30 TIC275911914 sistemine ait akı ve akı-farkı grafiği. Üst panelde SAP_FLUX (ham akı) değerleri, alt panelde ise akı-farkı eğrisi sunulmuştur

Grafikte özellikle BJD 2930 civarında oldukça güçlü genlikli bir flare olayı öne çıkmaktadır (Şekil 3.30). Toplam dokuz flare olayından ikisi, süre, genlik ve simetri/asimetri özellikleri bakımından seçilerek ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bu örnekler, flare başlangıç ve bitiş zamanlarının *FlareFind* algoritması ile güvenilir şekilde belirlenebildiğini ve ani akı artışlarının doğru biçimde ayırt edilebildiğini göstermektedir.

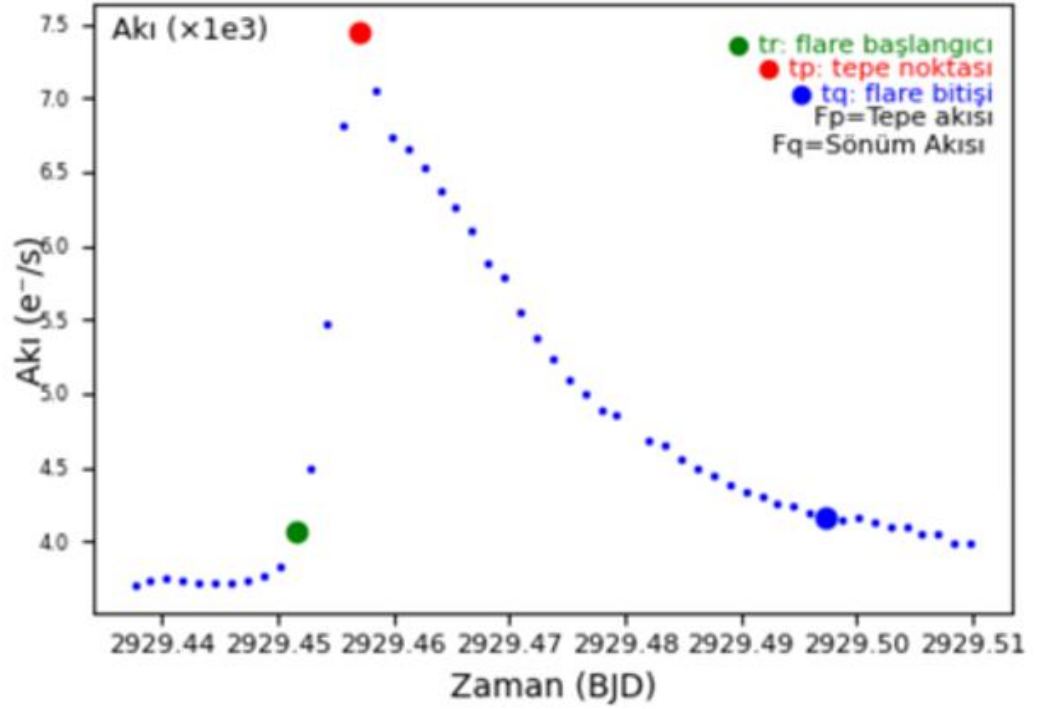
Bu sonuç, tayfsal ikili yapısına sahip TIC275911914'ün yüksek düzeyde manyetik aktivite sergilediğini ve M cüce bileşenlerinde beklenen flare davranışlarını ortaya koyduğunu göstermektedir.



Şekil 3.31 TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinde *FlareFind* ile tespit edilen flare grafiği

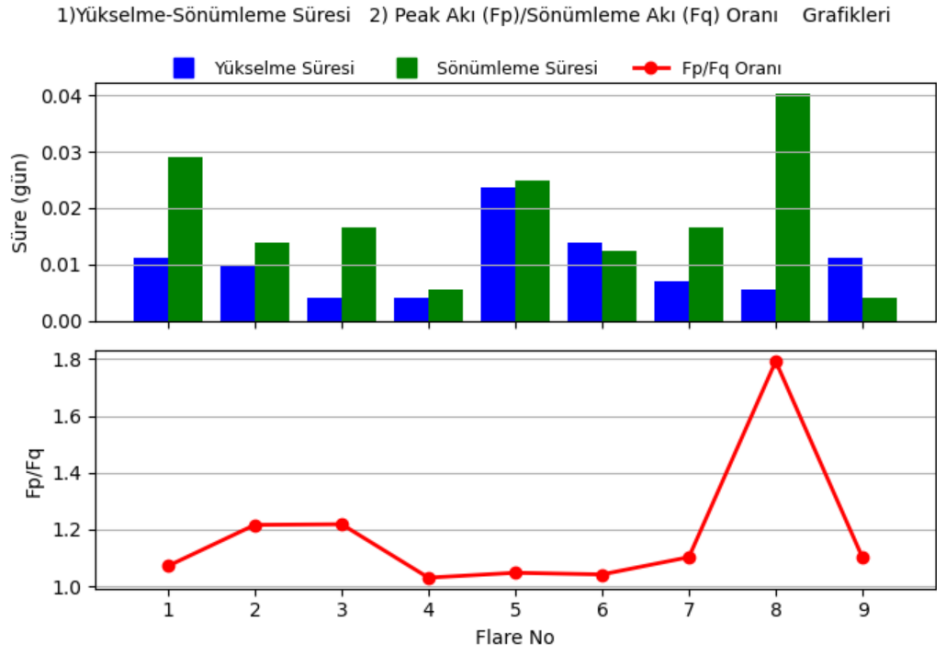
Grafikte t_r , t_p ve t_q zamanları işaretlenmiş olup, parlaklıkta ani ve kısa süreli bir artışı izleyen tipik bir azalma evresi gözlenmektedir (Şekil 3.31). Bu flare olayı, düşük kütleli M tayf türü bileşenlerin tipik manyetik etkinliğini yansıtmaktadır. Elde edilen bu sonuç, sistemdeki flare tespitlerinin güvenilirliğini göstermekte ve sonraki olayların incelenmesi için temel bir örnek oluşturmaktadır.

Flare 8 | $F_p/F_q=1.792$ | $t_r=2929.452$ $t_p=2929.457$ $t_q=2929.497$



Şekil 3.32 TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinde *FlareFind* ile tespit edilen sekizinci sıradaki flare grafiği

Şekil 3.32’de, TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinde *FlareFind* algoritması tarafından belirlenen bu flare, dokuz flare arasında en uzun süreli olanıdır. Grafikte flare t_r , t_p ve t_q noktaları algoritma tarafından belirlenmiş olup, flare genel zamanlamasını yeterli doğrulukla temsil etmektedir. Flare, ani bir parlaklık artışı ile başlamış, ardından uzun süreli bir sönüm evresi göstermiştir. Bu özellik, yıldızın manyetik alanında depolanan enerjinin geniş bir zaman ölçeğinde boşaldığını ve güçlü manyetik yeniden bağlantı süreçlerinin rol oynadığını göstermektedir. Uzun süreli olması, sistemin flare çeşitliliğini ortaya koymakta ve yüksek enerjili flare’lerin M tayf türü bileşenlerde ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.33 TIC275911914 sistemine ait ışık eğrisinin üst panelinde flare yükselme süreleri (mavi) ve sönümlleme süreleri (yeşil), alt panelinde ise tepe akı (Fp) ile sönümlleme akı (Fq) oranları (kırmızı) gösterilmektedir

Şekilde üst panelde her bir flare için yükselme ve sönümlleme süreleri, alt panelde ise tepe akısı/zemin akısı oranı (F_p/F_q) verilmiştir (Şekil 3.33). Flare’lerin sönümlleme süresi yükselme süresinden daha uzun olup, bu durum hızlı yükseliş–yavaş sönümlleme yapısındaki tipik flare profiline uyumludur. Sekiz numaralı flare, dokuz flare arasında en yüksek genliğe ($F_p/F_q \approx 1.8$ – 1.9) ve en uzun sönümlleme süresine (≈ 0.04 gün; yükselme ≈ 0.005 gün) sahiptir; toplam süresi ≈ 0.045 gün (~ 65 dk) olup eşdeğer süreye en fazla katkıyı yapan flare’dır. Buna karşılık beş numaralı flare, orta genlikli olmasına karşın, süresinin görece uzun olması, plazma ısınmasının zayıf fakat sürekli bir yeniden bağlantı süreciyle desteklendiğini göstermektedir. Diğer flare’ler ise çoğunlukla $F_p/F_q \approx 1.05$ – 1.25 aralığında, kısa–orta süreli ve düşük genlikli olup sık görülen küçük flare grubuna girmektedir.

Genel olarak dağılım, “çok sayıda düşük genlikli kısa flare + az sayıda yüksek genlikli ve uzun süreli flare” şeklindeki beklenen davranışı sergiler. F_p/F_q ile sönümlleme süresi arasında zayıf–orta seviyede bir korelasyon görülmektedir: genlik arttıkça sönümlleme süresi de uzama eğilimindedir. Ancak beş numaralı flare örneği, bu ilişkinin tek başına

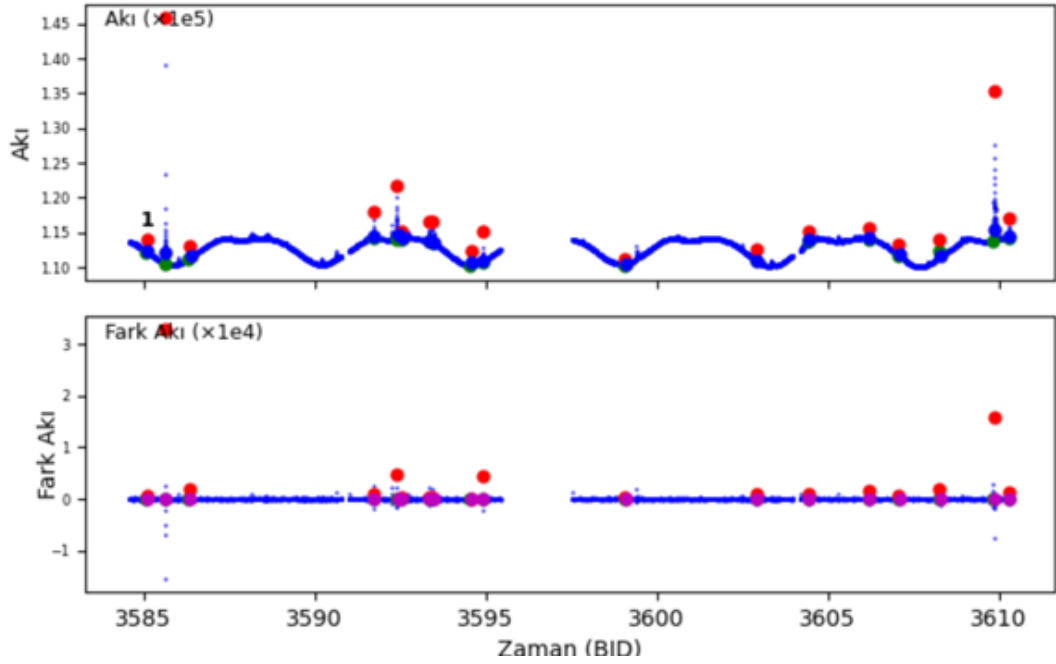
belirleyici olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlar, sistemin sürekli manyetik etkinlik ürettiğini ve nadiren de olsa daha yüksek enerjili, uzun süreli flare'ler gerçekleştirdiğini göstermektedir. Bu nedenle çalışmada, sistemin fotometrik olarak örtülme davranışı göstermediği göz önüne alınarak inceleme, flare olaylarının zamanlama ve temel özelliklerine odaklanılmıştır.

3.7 TIC154101678 Yıldızına İlişkin Bulgular

TIC154101678, literatürde EV Lac olarak bilinen, tayf türü M3.5 V olan ve 5.05 pc uzaklıkta bulunan yüksek özdevinimli yıldız (HPM; high proper motion star) sınıfında değerlendirilen düşük kütleli ($\sim 0.33 M_{\odot}$), küçük yarıçaplı ($\sim 0.34 R_{\odot}$) ve yaklaşık 3315 K etkin sıcaklığa sahip tipik bir M cüce flare yıldızıdır. Tam konvektif yapısı nedeniyle α^2 -dynamo mekanizmasının etkisi altında güçlü manyetik alan üretmekte, bu da sık ve yüksek enerjili flare'lerin meydana gelmesine yol açmaktadır. EV Lac, güçlü H α ve X-ışını emisyonlarıyla da bilinen en aktif M cücelerinden biridir ve flare enerjileri genellikle 10^{30} – 10^{32} erg aralığındadır (Pettersen 1989; Osten ve Wolk 2015).

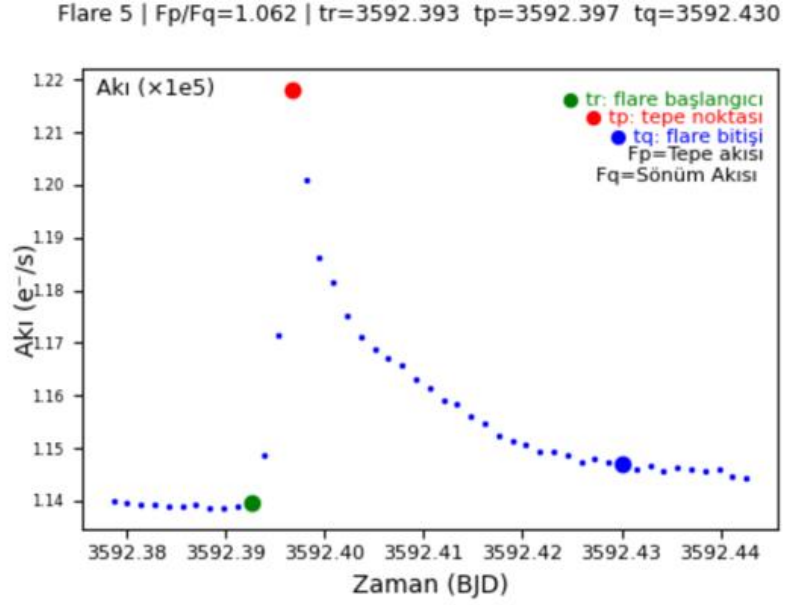
Bu çalışmada, EV Lac'a ait toplam beş TESS sektörü (S16, S56, S57, S83 ve S84) incelenmiş; ancak ayrıntılı flare analizi yalnızca Sektör 84 verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.34). S84 verilerinde toplam 18 flare tespit edilmiştir. Flare başlangıç (tr), tepe (tp) ve bitiş (tq) zamanları ile eşdeğer süre (ED) değerleri belirlenmiş, yıldızın yüksek düzeydeki manyetik aktivitesi nicel olarak ortaya konmuştur. EV Lac'ın flare sıklığının yüksek oluşu, M tayf türü flare yıldızlarının tipik özellikleriyle uyumludur ve elde edilen bulgular, literatürde bu yıldız için raporlanan yoğun flare aktivitesini destekler niteliktedir.

S84_TIC154101678.fits | Toplam flare: 18



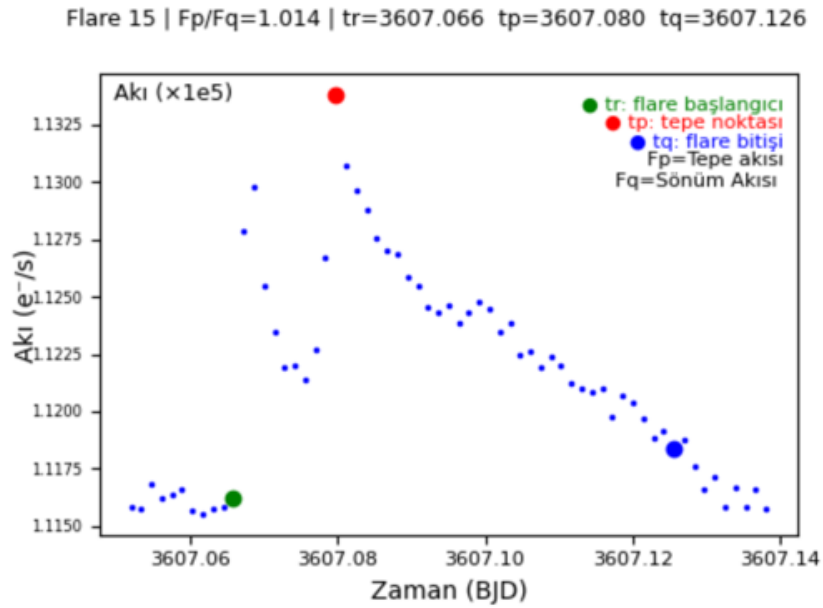
Şekil 3.34 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 ışık eğrisi kesiti

TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verilerinden alınan ışık eğrisi kesiti, yıldızın yüksek düzeydeki manyetik aktivitesini açık biçimde göstermektedir (Şekil 3.34). Normalde durağan olan akı seviyesinde, ani ve keskin bir parlaklık artışı ile başlayan flare belirgin şekilde seçilmektedir. Flare'in t_r , t_p ve t_q noktaları akı-farkı grafiği yardımıyla net olarak ayrıştırılabilmiş ve böylece flare'in süre ve eşdeğer süre (ED) değerleri güvenilir şekilde hesaplanmıştır. Eğri, hızlı yükseliş ve görece daha yavaş sönüm evresinin tipik asimetrik profilini yansıtmaktadır. Bu durum, EV Lac'ın kısa süreli fakat yüksek enerjili flare üreten aktif M cüce karakteriyle uyumludur. *FlareFind* algoritması, EV Lac gibi yoğun değişkenlik gösteren hedeflerde dahi düşük genlikli flare tespitini mümkün kılmış, akı-farkı eğrisinde zemin seviyesindeki küçük sapmaları istatistiksel olarak ayırabilmiştir.



Şekil 3.35 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verisindeki beşinci flare grafiği

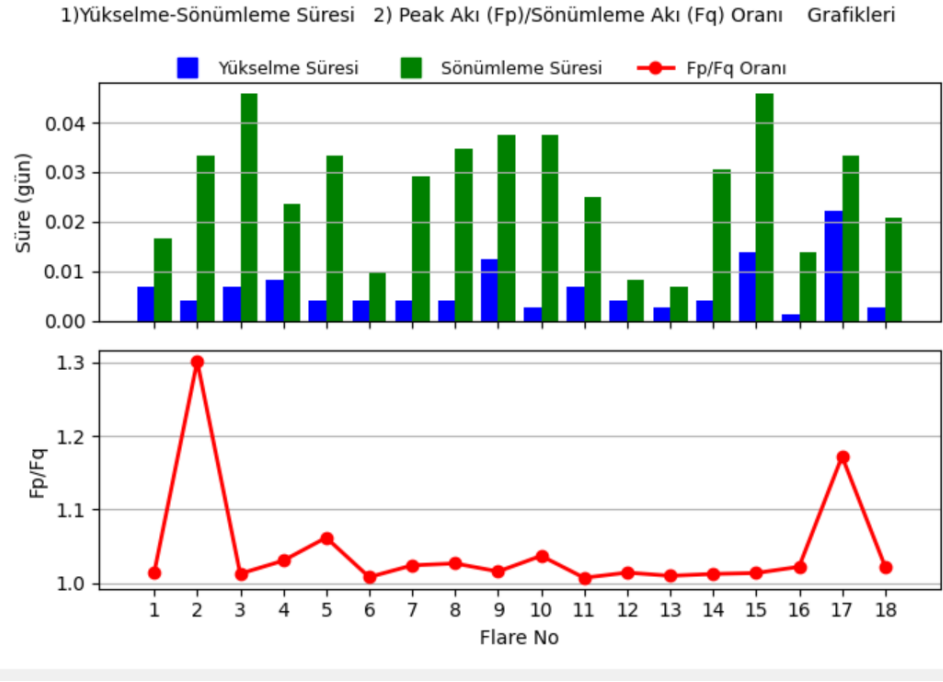
EV Lac'ın Sektör 84 verilerinde kaydedilen beşinci flare olayı, tipik tek tepe profili ile uyumludur (Şekil 3.35). Başlangıç ($t_r = 3592.393$), tepe ($t_p = 3592.397$) ve bitiş ($t_q = 3592.430$) zamanları net biçimde ayrıştırılmıştır. $F_p/F_q \approx 1.062$ değeri, yıldızın sönüm akısına kıyasla %6'lık bir parlaklık artışına işaret etmektedir. Eşdeğer süresi $ED \approx 75.7$ saniye (1.26 dk) olup, bu süre küçük fakat belirgin bir enerji salımına karşılık gelmektedir.



Şekil 3.36 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verisindeki 15. flare grafiği

Şekil 3.36'daki flare ışık eğrisi çift tepe profili sergilemektedir: Flare başlangıç (tr) civarında zayıf bir öncü tepecik ve onu izleyen, ışık eğrisi üzerindeki en büyük maksimumu oluşturan ana tepe ($t_p = 3607.080$) birbirinden ayrılmaktadır. Bu tür iki aşamalı flare profilleri, M tayf türü cüce yıldızlarda görülen çok evreli manyetik yeniden bağlantı süreçlerinin gözlemsel kanıtı olarak değerlendirilmektedir (Hawley ve Pettersen 1991; Kowalski vd. 2013). *FlareFind* algoritması tanım gereği tepe zamanını flare penceresindeki en yüksek akı değerine göre seçtiğinden, t_p 'nin ana tepeye yerleşmesi beklenen bir davranıştır. $F_p/F_q \approx 1.014$ ve $ED \approx 33.21$ s (≈ 0.55 dk) değerleri flare'in düşük genlikli ve kısa eşdeğer süreli olduğunu, dolayısıyla toplam enerjinin küçük kaldığını göstermektedir.

İki tepe yapısı birkaç farklı mekanizma ile açıklanabilir. Bunlardan ilki, bir öncü ısınma evresini takip eden ana enerji salımıyla ortaya çıkan çok kademeli manyetik yeniden bağlantıdır. Bir diğer olasılık, zaman bakımından birbirine çok yakın gerçekleşen iki zayıf flare'in kısmen üst üste binmesi sonucu tek bir birleşik profil görünümünün oluşmasıdır. Üçüncü olasılık ise zaman çözünürlüğünün sınırlı olması veya veriye uygulanan yumuşatma işlemlerinin küçük yan tepeciklerin belirginliğini azaltmasıdır; bu durumda ikincil tepe zayıf fakat ayırt edilebilir bir çıkıntı olarak görünür. Tepe arası çukur seviyesinin zemin akısına dönmemesi, olayın iki ayrı flare değil, tek bir çok evreli olay olarak değerlendirilmesini desteklemektedir. İkincil tepecik toplam enerjiye anlamlı bir katkı yapmamakla birlikte, profil asimetrisini ve olası çok aşamalı ısınma süreçlerini işaret etmektedir.



Şekil 3.37 TIC154101678 (EV Lac) yıldızının Sektör 84 verilerinde tespit edilen 18 flare olayına ait (üst panel) yükselme ve sönümlleme süreleri ile (alt panel) Fp/Fq oranları

FlareFind yazılımı ile elde edilen süre–genlik grafiğinde, üst panelde sönümlleme sürelerinin genellikle yükselme sürelerinden uzun olduğu, alt panelde ise çoğu flare’ın düşük genlikli ($F_p/F_q \approx 1.0-1.3$) dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.37). EV Lac için literatürde verilen yaklaşık 4.4 günlük kısa dönüş periyodu dikkate alındığında flare olaylarının dönüş evresine göre dağılımı ayrı bir çalışma konusu olabilir; ancak tez kapsamında inceleme, flare olaylarının süre ve genlik özelliklerinin değerlendirilmesi üzerine yoğunlaştırılmıştır. EV Lac, tayf türü M3.5 V olan tam konvektif bir M cüce yıldızdır ve konveksiyon akımlarıyla (α^2 -dinamo mekanizması) güçlü manyetik alanlar oluşturur; bu da sık tekrarlanan flare aktiviteleriyle kendini göstermektedir. Bu çalışmada incelenen beş TESS sektörü içerisinde özellikle Sektör 84’te toplam 18 flare olayı güvenilir biçimde tespit edilmiştir. Flare’lerin başlangıç (tr), tepe (tp) ve bitiş (tq) zamanları belirlenmiş, eşdeğer süre (ED) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre flare olaylarının büyük çoğunluğu düşük genlikli ($F_p/F_q \approx 1.0-1.3$) ve kısa süreli olup, eşdeğer süreleri bir dakikanın altında kalmaktadır.

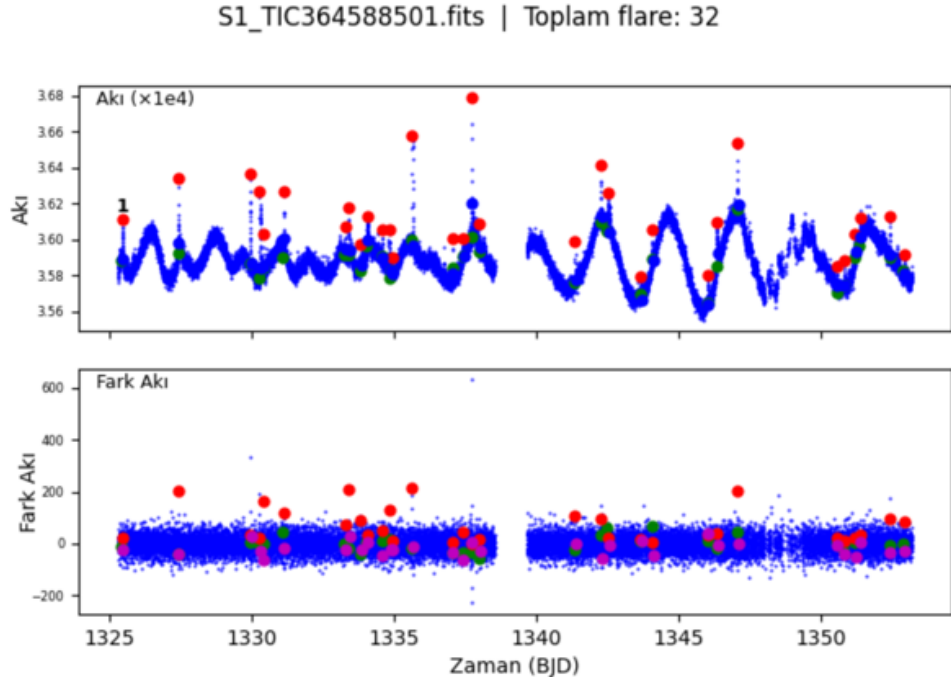
Süre–genlik ilişkileri incelendiğinde, flare olaylarının tipik asimetrik ışık eğrisi profili gözlenmekte; ani bir enerji salımının ardından görece yavaş soğuma ve manyetik yeniden yapılandırma süreçlerinin devreye girdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca çift tepe morfolojisine sahip örnekler (Şekil 3.36) EV Lac’ın çok evreli ısınma mekanizmaları veya üst üste binmiş zayıf olaylarla şekillenen karmaşık flare profilleri de sergileyebildiğini kanıtlamaktadır (Pettersen 1989).

Sonuç olarak, EV Lac’ın TESS gözlemleri yüksek düzeyde, sürekli ve çeşitlilik gösteren bir flare aktivitesine işaret etmektedir. Sık tekrarlanan düşük enerjili flare’ler yıldızın genel aktivite düzeyini tanımlarken, nadiren gözlenen daha güçlü flare’ler yıldızın manyetik enerji depolama kapasitesinin de yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu özellikleriyle EV Lac, düşük kütleli flare yıldızlarının manyetik davranışlarını anlamada önemli bir örnek oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular, EV Lac’ın tam konvektif yapısının α^2 -dinamo mekanizmasını etkin biçimde çalıştırdığını ve yıldızın X-ışını–optik parlaklık oranı (L_x/L_{bol}) bakımından enerji doygunluğu sınırına yakın bir manyetik etkinlik düzeyine sahip olduğunu göstermektedir (Davenport vd. 2019).

3.8 TIC364588501 Yıldızına İlişkin Bulgular

TIC364588501, 109.75 pc uzaklığında bulunan ve gökyüzündeki konumu yıldan yıla belirgin biçimde değişen yüksek özdevinimli yıldız (HPM; high proper motion star) sınıfında yer alan, tayf türü K2 V olan genç bir anakol yıldızdır (Reid ve Hawley 2005). Genç ve manyetik olarak etkin K tayf türü yıldızlarda olduğu gibi, yüzeydeki güçlü manyetik alanlar yıldız parlaklığında sık tekrarlanan küçük ve orta ölçekli flare oluşumuna yol açabilmektedir. TESS arşivinde bu hedefe ait toplam 39 sektör verisi bulunmaktadır. Bu çalışmada *FlareFind* yazılımı kullanılarak hedefin TESS Sektör 1’e ait ışık eğrisi incelenmiş ve toplam 32 flare tespit edilmiştir (Şekil 3.38). Flare’lerin başlangıç (tr), tepe (tp) ve bitiş (tq) zamanları ile eşdeğer süre (ED) değerleri hesaplanarak yıldızın manyetik aktivite düzeyi nicel olarak ortaya konmuştur (Çizelge 3.9). Elde edilen sonuçlar, HPM sınıfındaki bu yıldızın sık flare üreten fakat çoğunlukla düşük enerjili olaylar sergileyen genç ve aktif bir K tayf türü anakol yıldızı olduğunu göstermektedir. İncelenen 32 flare arasından iki örnek flare seçilerek Şekil 3.40 ve Şekil 3.41’de

sunulmuştur. Bu grafiklerde flare’lerin tipik özellikleri olan ani parlaklık artışı ve görece daha yavaş sönümlleme evresi açık biçimde görülmekte olup, yıldızın çoğunlukla klasik tek tepe yapılı, ancak zaman zaman daha karmaşık flare profillerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.38 TIC364588501 (HPM) yıldızının 1. Sektör ışık eğrisi kesiti

Şekil 3.38’deki ışık eğrisinde belirgin biçimde tespit edilen kısa süreli parlaklık artışları *FlareFind* yazılımı ile flare olarak sınıflandırılmıştır. Bu kesitte görülen flare’lerin büyük bölümü düşük genlikli olup F_p/F_q oranları yaklaşık 1.00–1.02 aralığında yoğunlaşmaktadır. Ani parlaklık yükselmelerini izleyen daha yavaş sönümlleme evresi, flare’lerin tipik asimetrik yapısını göstermektedir. Ayrıca ışık eğrisinde zaman zaman üst üste binmiş küçük genlikli çoklu flare oluşumları görülmekte olup, bu durum yıldızın kısa aralıklarla tekrarlayan enerji boşalmaları üreten aktif bir K tayf türü yıldız olduğunu göstermektedir. Işık eğrisinde flare dışındaki geniş ölçekli dalgalanmalar ise yüzey lekelerine bağlı dönme modülasyonu olasılığına işaret etmektedir.

Çizelge 3.9 TIC364588501 yıldızının TESS Sektör 1 verilerinden elde edilen flare olaylarının başlangıç (tr), tepe (tp), bitiş (tq) zamanları, tepe/sönüm akı oranları (Fp/Fq) ve eşdeğer süre (ED) değerleri

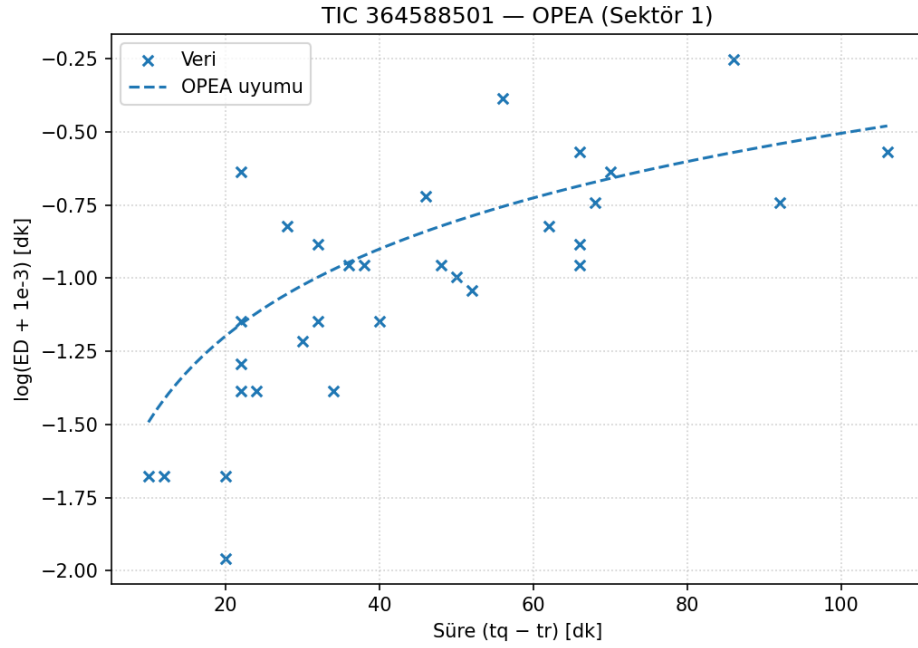
No	tr (BTJD)	tp (BTJD)	tq (BTJD)	Fp/Fq	ED (dk)
1	1325.420211	1325.436878	1325.463266	1.006	0.15
2	1325.811875	1325.832708	1325.857708	1.003	0.11
3	1327.403530	1327.409085	1327.422974	1.012	0.15
4	1329.924345	1329.928511	1329.970178	1.014	0.27
5	1330.260453	1330.286842	1330.320175	1.008	0.56
6	1331.093780	1331.097947	1331.116002	1.006	0.13
7	1333.384039	1333.400705	1333.429872	1.008	0.13
8	1333.820146	1333.824313	1333.836813	1.003	0.04
9	1334.027089	1334.036811	1334.075699	1.005	0.23
10	1334.561806	1334.565972	1334.577083	1.004	0.05
11	1334.834025	1334.838192	1334.860414	1.006	0.11
12	1334.900691	1334.911802	1334.914580	1.002	0.01
13	1335.620129	1335.627073	1335.659017	1.017	0.41
14	1337.056224	1337.060391	1337.071502	1.006	0.07
15	1337.420109	1337.431220	1337.433998	1.003	0.02
16	1337.654828	1337.658995	1337.661772	1.003	0.02
17	1337.720105	1337.724272	1337.735383	1.022	0.23
18	1337.979824	1337.990935	1338.003435	1.004	0.04
19	1341.338115	1341.347837	1341.365893	1.006	0.07
20	1342.246439	1342.253383	1342.279772	1.002	0.11
21	1342.488103	1342.515881	1342.551991	1.005	0.18
22	1344.031143	1344.045031	1344.078364	1.005	0.18
23	1346.003343	1346.020010	1346.039454	1.004	0.09
24	1347.044998	1347.051943	1347.076942	1.005	0.19
25	1347.428327	1347.433883	1347.436660	1.004	0.02
26	1348.102345	1348.106512	1348.118901	1.004	0.06
27	1349.318582	1349.338026	1349.340804	1.005	0.07
28	1350.529677	1350.533844	1350.550510	1.003	0.06
29	1351.174112	1351.179668	1351.208834	1.004	0.10
30	1351.324110	1351.357443	1351.397720	1.005	0.27
31	1352.404650	1352.408816	1352.429649	1.007	0.11
32	1352.651868	1352.664368	1352.667145	1.003	0.04

Çizelge 3.9'daki süre ve ED değerleri, yıldızın flare etkinliğinin genel özellikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu ilişkiyi nicel olarak değerlendirmek için süre–ED dağılımı OPEA modeliyle analiz edilmiştir. OPEA parametreleri Çizelge 3.9'daki verilerden türetilmiş olup sonuçlar Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

Çizelge 3.10 TIC364588501 yıldızı için OPEA model parametreleri

Parametre	Değer	Birim	Yorum
Plateau	0.48 ± 0.08	dk	ED'nin doyum düzeyi; tipik üst sınır < 1 dk
k	0.30 ± 0.06	dk^{-1}	Artış hızı; erken doyum ve kısa zaman ölçeği
$\tau = 1/k$	3.3 ± 0.7	dk	Karakteristik zaman; birkaç dakikada doyum
y_0	0.01 ± 0.01	dk	Algılanabilir en düşük ED düzeyi

Plateau değerinin bir dakikanın altında ve τ 'nin birkaç dakika mertebesinde olması, yıldızın düşük enerjili ve kısa ömürlü flare'ler üreten bir aktivite düzeyinde çalıştığını göstermektedir. Çizelge 3.9'da verilen ED değerleri çoğunlukla 0.01–0.3 dk aralığındadır (en büyük değer ≈ 0.56 dk). Bu dağılım, ışık eğrisindeki parlaklık artışlarının zemin akısına göre sınırlı kaldığını ($F_p/F_q \approx 1.00$ – 1.02 çoğunlukta, birkaç flare'de ≥ 1.02) ve toplam enerjinin küçük olduğunu gösterir. Flare süreleri ($t_q - t_r$) birkaç dakikadan yaklaşık bir–bir buçuk saate kadar değişmektedir; kısa süreli flare'lerde ED'nin de küçük kaldığı görülür. OPEA grafiği bu genel eğilimi (süre arttıkça ED'nin artıp düşük bir plato çevresinde doyması) yakalamaktadır.



Şekil 3.39 TIC364588501 için süre (tq-tr) – log(ED) ilişkisi. Kesikli çizgi OPEA model uyumunu göstermektedir; düşük log(ED) değerleri kısa süreli ve düşük enerjili flare’leri temsil etmektedir

OPEA model grafiğinde $\log(ED) < 0$ olması, eşdeğer sürelerin 1 dakikadan küçük olduğunu ve flare olaylarının düşük enerjili karakterde seyrettiğini göstermektedir (Şekil 3.39). Bu sonuç, TESS Sektör 1 verilerinde elde edilen ED değerlerinin (0.01–0.56 dk) genel dağılımıyla uyumludur. Eğrinin erken doyuma ulaşması ve düşük plato düzeyi (< 1 dk), yıldızın kısa ömürlü flare’ler üreten bir aktivite düzeyinde çalıştığını göstermektedir. Bu özellik, geç tayf türü flare yıldızlarında (genç K ve M tayf türü cüce yıldızlarda) sık rastlanan bir davranış biçimini yansıtmaktadır: yıldız atmosferinde manyetik alan çizgilerinin ani yeniden bağlantısıyla başlayan hızlı parlaklık artışı, kısa bir süre sonra akının zamanla yavaşça azaldığı sönmüleme evresiyle tamamlanır. Bu süreç sonunda manyetik ilmeklerin yeniden bağlantı sonucu açığa çıkan enerji sınırlı kalmakta ve olay küçük ölçekli, düşük enerjili bir flare biçiminde görülmektedir.

Sonuç olarak, negatif log(ED) değerleri tutarlıdır; ED’nin bir dakikadan küçük olduğunu gösterir ve bu durum hedef yıldızda enerji bakımından zayıf fakat sık tekrarlanan küçük ölçekli flare’lerin baskın olduğunu ortaya koymaktadır.

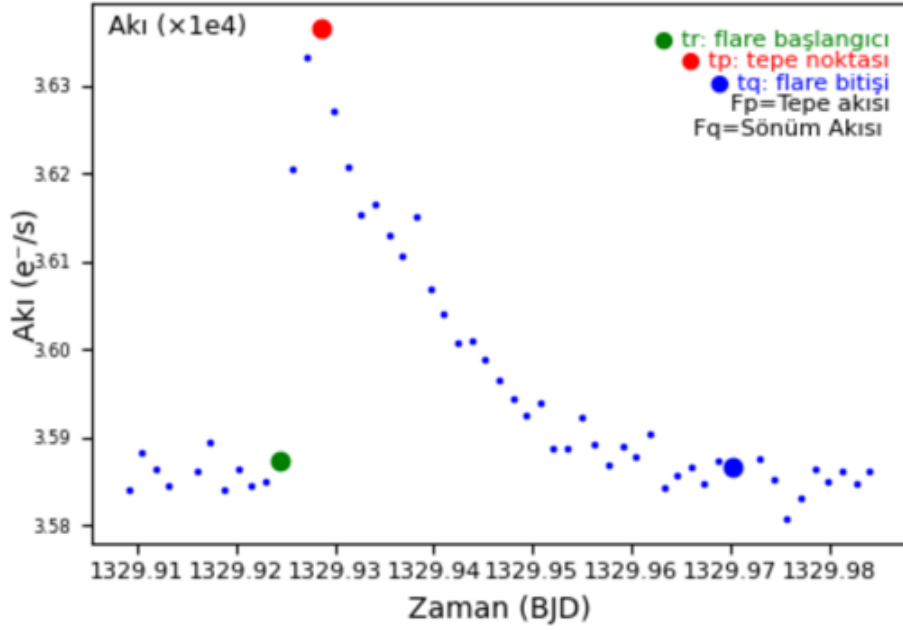
OPEA modeli, süre–ED ilişkisinin genel eğilimini göstermektedir. Bu eğilimin istatistiksel gücünü değerlendirmek, yani flare süresi (tq–tr) uzadıkça eşdeğer sürenin (ED) dolayısıyla yayılan toplam enerjinin de artıp artmadığını test etmek için, iki değişken arasındaki doğrusal ilişki ayrıca Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir.

Çizelge 3.11 TIC364588501 yıldızına ait süre (tq–tr) ile eşdeğer süre (ED) arasındaki Pearson korelasyon analizi sonuçları

Parametre	Değer	Açıklama
r	0.678	Süre ve ED arasında orta–güçlü pozitif ilişki
p	2.05×10^{-5}	İstatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.001$)
Sonuç	Anlamlı pozitif korelasyon	Süre arttıkça ED artmaktadır

Pearson analizi sonucunda süre (tq–tr) ile eşdeğer süre (ED) arasında $r = 0.678$ değerinde pozitif bir ilişki elde edilmiştir. $p = 2.05 \times 10^{-5}$ olması bu ilişkinin istatistiksel olarak çok anlamlı olduğunu ($p < 0.001$) göstermektedir. Bu sonuç, flare süresi uzadıkça flare boyunca yayılan toplam enerjinin de arttığı anlamına gelir. Başka bir ifadeyle, daha uzun süren flare’ler daha büyük ED değerlerine ve dolayısıyla daha yüksek toplam enerjiye sahiptir. Böylece OPEA modelinde görülen süre–ED eğilimi bağımsız bir istatistiksel test ile doğrulanmış olmaktadır (Benesty vd. 2009; Davenport 2014).

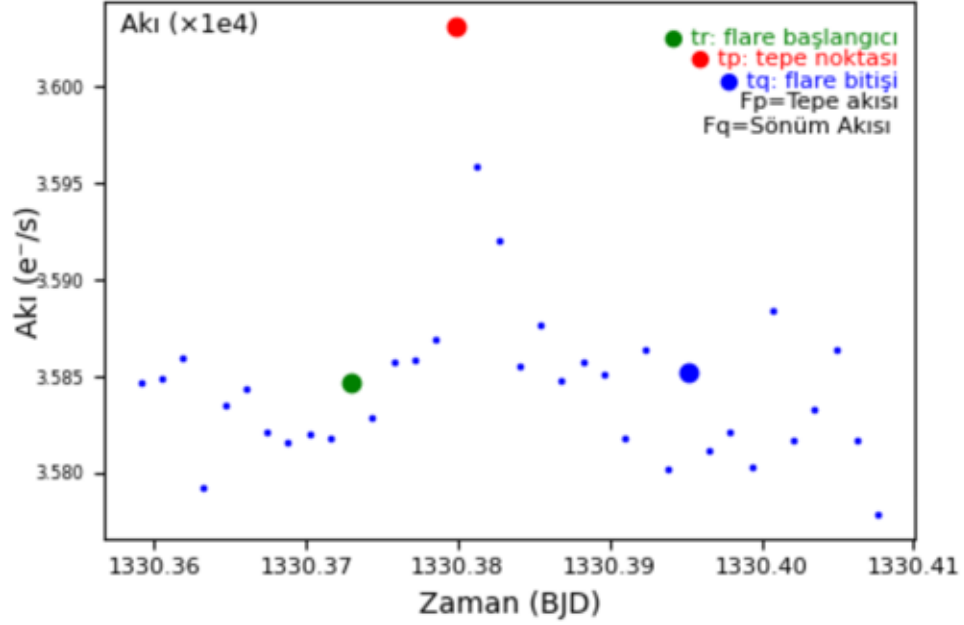
Flare 3 | $F_p/F_q=1.014$ | $t_r=1329.924$ $t_p=1329.929$ $t_q=1329.970$



Şekil 3.40 TIC364588501 (HPM) yıldızının üçüncü sıradaki flare grafiği

Şekil 3.40'taki flare, hızlı bir parlaklık artışıyla kısa sürede tepe noktasına ulaşmış ve düşük genlikli, kısa süreli bir flare olarak sınıflandırılmıştır. Işık eğrisinin yer yer dalgalı bir zemin yapısı göstermesi, özellikle sönümleme evresinin belirlenmesini güçleştirmiştir; bu nedenle flare'in bitiş noktası, sönüm akısının zemin seviyesine yeniden yaklaşması esas alınarak seçilmiştir. Buna karşın genel profil, ani yükseliş ve daha yavaş bir sönümleme evresiyle klasik bir asimetrik flare yapısını açık biçimde ortaya koymaktadır.

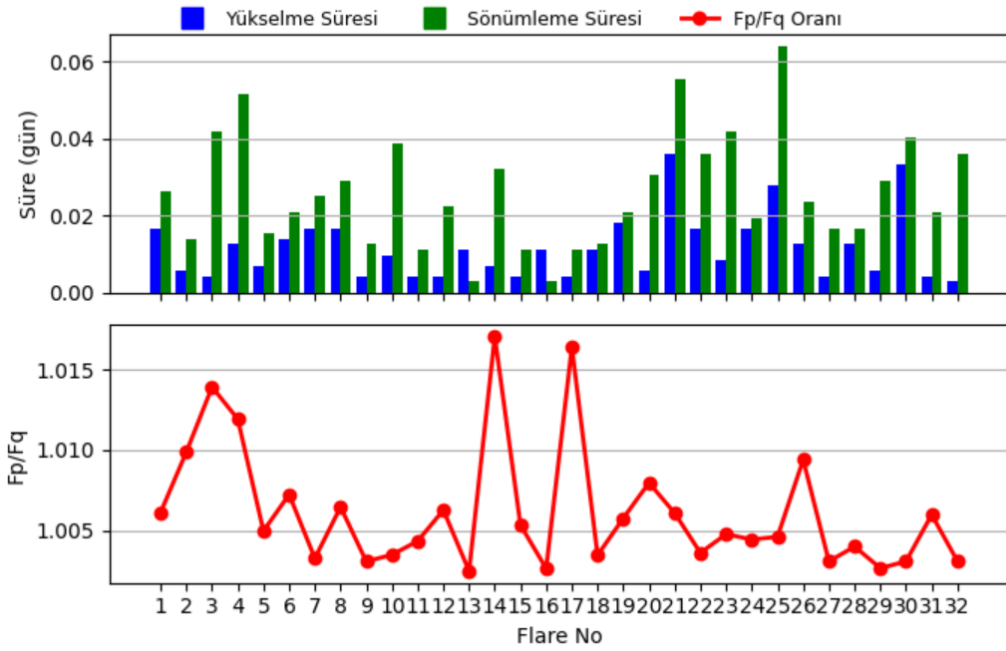
Flare 5 | $F_p/F_q=1.005$ | $t_r=1330.373$ $t_p=1330.380$ $t_q=1330.395$



Şekil 3.41 TIC364588501 (HPM) yıldızının beşinci sıradaki flare grafiği

Şekil 3.41’de flare, çok kısa bir yükselme süresinin ardından düşük genlikli bir parlaklık artışı sergilemiş ve yaklaşık yarım dakikalık eşdeğer süreye sahip olması nedeniyle oldukça kısa ömürlü bir flare olarak değerlendirilmiştir. Bu özellikler, olayın düşük enerjili bir manyetik yeniden bağlantı süreciyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Işık eğrisindeki dalgalı zemin yapı, düşük genlikli bu tür flare’lerde başlangıç ve bitiş noktalarının daha belirsiz görünmesine yol açabilmektedir. Buna rağmen tepe noktasının en yüksek akı değerine net biçimde yerleşmesi, olayın gerçek bir flare olduğunu desteklemektedir. Flare’in genel karakteri, genç ve manyetik olarak etkin K tayf türü yıldızlarda yaygın olarak görülen düşük enerjili ve kısa süreli küçük ölçekli flare davranışıyla uyumludur.

1)Yükselme-Sönümlenme Süresi 2) Peak Akı (Fp)/Sönümlenme Akı (Fq) Oranı Grafikleri

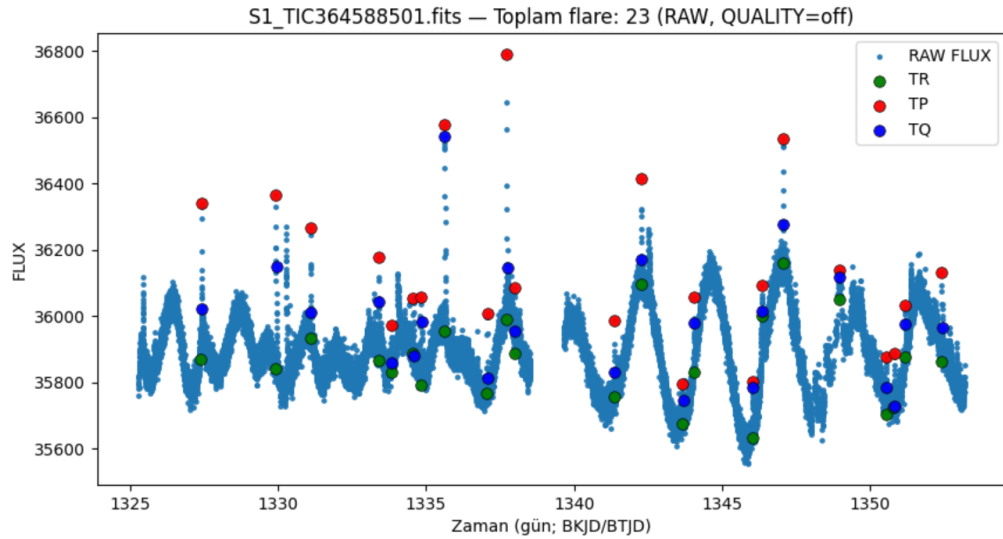


Şekil 3.42 TIC364588501'in Sektör 1 verilerinden elde edilen flare istatistikleri. Üst panelde yükselme ve sönümlenme süreleri, alt panelde ise Fp/Fq oranlarının flare numaralarına göre dağılımı gösterilmektedir

Şekil 3.42'de TIC364588501'in flare istatistikleri sunulmaktadır. Üst paneldeki sütun grafiği, flare'lerin yükselme ve sönümlenme sürelerini karşılaştırmaktadır. Flare'lerin büyük çoğunluğunda sönümlenme süresinin yükselme süresinden belirgin biçimde uzun olması, geç tayf türü yıldızlarda sık görülen hızlı parlaklık artışı – yavaş parlaklık azalması dinamiğini yansıtmaktadır. Bu yapı, flare plazmasının çok kısa bir sürede tepe parlaklığına ulaşmasına karşın, parlaklığın zaman içinde daha yavaş bir şekilde azaldığını göstermektedir.

Alt panelde Fp/Fq oranlarının dağılımı verilmiştir. Flare'lerin çoğunun düşük genlikli olduğu ve Fp/Fq değerlerinin 1.00–1.02 aralığında kümelendiği görülmektedir. Sadece birkaç flare'in daha belirgin bir tepe akısı sergilemesi, yıldızın manyetik alanının büyük ölçüde düşük enerjili yeniden bağlantılar ürettiğini, yalnızca zaman zaman daha güçlü enerji boşalımının ortaya çıktığını göstermektedir. Bu davranış, genç ve manyetik olarak etkin K tayf türü yıldızlarda bildirilen tipik düşük-enerjili flare dağılımlarıyla uyumludur (Davenport 2016).

Aynı hedef üzerinde *FlareFind* ve AltaiPony yazılımlarının sonuçları karşılaştırılarak iki yöntemin tespit duyarlılığı değerlendirilmiştir. AltaiPony yazılımı, yıldız ışık eğrilerindeki flare olaylarını ham akı verisi üzerinde eğilim giderme (trend removal) ve istatistiksel eşikleme temeline dayalı olarak tespit eder (Feinstein vd. 2020; Ilin vd. 2021). Işık eğrisinin uzun dönemli parlaklık değişimleri belirli bir zaman penceresinde ortalama veya medyan değeri alınarak bastırılır; bu işlem sonucunda elde edilen artık (detrended) akı bileşeninde, gürültü düzeyine göre belirlenen eşikler kullanılarak ani parlaklık artışları flare adayı olarak seçilir. Trend giderme penceresinin uzunluğu, tespit edilen flare'lerin duyarlılığını doğrudan etkiler; kısa pencereler zemin eğilimini azaltırken küçük genlikli çıkıntıların görünürlüğünü artırabilir, uzun pencereler ise kısa süreli olayların genliğini zayıflatabilir. Bu nedenle AltaiPony yöntemi, yüksek genlikli ve belirgin parlamaların istatistiksel olarak seçilmesinde etkili bir yaklaşım sunar. *FlareFind* ise akı-farkı (ΔF) temelli bir yöntem kullanarak parlaklık değişimlerinin yönünü ve sürekliliğini değerlendirir; bu yaklaşım, flare'in yükseliş ve sönüm evrelerini doğrudan izleyebilmesiyle AltaiPony'den yöntemsel olarak farklılık gösterir. Her iki yöntem aynı veri kümesi üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, tespit edilen flare sayıları ile zamanlama parametreleri açısından karşılaştırılmıştır (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 TESS Sektör 1'deki TIC364588501 ışık eğrisi üzerinde AltaiPony ile tespit edilen 23 flare grafiği

Çizelge 3.12 *FlareFind* ve AltaiPony tarafından TIC364588501 Sektör 1 verisinde tespit edilen flare tepe (tp) zamanlarının karşılaştırması

No	AltaiPony tp (BTJD)	<i>FlareFind</i> tp (BTJD)	Δt (gün)	Eşleşme Durumu
1	1327.409085	1327.409085	0.000000	Tam
2	1329.928511	1329.928511	0.000000	Tam
3	1331.100725	1331.097947	0.002778	Yakın
4	1333.400705	1333.400705	0.000000	Tam
5	1333.824313	1333.824313	0.000000	Tam
6	1334.565972	1334.565972	0.000000	Tam
7	1334.838192	1334.838192	0.000000	Tam
8	1335.627073	1335.627073	0.000000	Tam
9	1337.060391	1337.060391	0.000000	Tam
10	1337.724272	1337.724272	0.000000	Tam
11	1337.990935	1337.990935	0.000000	Tam
12	1341.347837	1341.347837	0.000000	Tam
13	1342.256161	1342.253383	0.002778	Yakın
14	1344.049198	1344.045031	0.004167	Yakın
15	1346.020010	1346.020010	0.000000	Tam
16	1346.331117	—	—	Yalnız AltaiPony
17	1347.056109	1347.051943	0.004166	Yakın
18	1348.938031	—	—	Yalnız AltaiPony
19	1350.536621	1350.533844	0.002777	Yakın
20	1350.794951	—	—	Yalnız AltaiPony
21	1351.179668	1351.179668	0.000000	Tam
22	1352.408816	1352.408816	0.000000	Tam
23	—	1325.832708 / 1330.286842 / 1342.515881 ...	—	Yalnız <i>FlareFind</i>

- Toplam 23 flare AltaiPony tarafından, 32 flare *FlareFind* tarafından tespit edilmiştir.
- Her iki yöntemde 14 flare tam, 5 flare yakın eşleşme göstermektedir.
- 4 flare yalnız AltaiPony’de, 13 flare yalnız *FlareFind*’de bulunmuştur.

AltaiPony'nin yalnızca kendisinin tespit ettiği dört flare düşük genlikli ($F_p/F_q \lesssim 1.004$) ve çok kısa süreli (yaklaşık 5–10 dakika) sinyallerdir. Bu flare'ler, AltaiPony'nin trend giderme (flattening) aşamasında kullandığı kısa zaman penceresi nedeniyle ortaya çıkmıştır. Trend giderme işlemi, ışık eğrisindeki uzun süreli parlaklık değişimlerini (örneğin dönme modülasyonu veya aletsel sapmalar) bastırmak için uygulanır. Ancak pencere süresi çok kısa tutulduğunda, bu işlem zemin eğiliminden kaynaklanan küçük çıkıntıları tam olarak gideremez ve bu çıkıntılar yanlışlıkla *flare* olarak işaretlenebilir.

FlareFind, akı-farkı dizisinde pozitif ardından negatif değişim sırasının bulunmasını bir flare tespit ölçütü olarak kullandığı için, yalnızca tek yönlü parlaklık artışı gösteren adayları gerçek flare olarak kabul etmemiş ve bu sinyalleri elemiştir. Buna karşılık *FlareFind*'in belirlediği 13 ek flare, düşük genlikli olmalarına rağmen pozitif ve negatif ΔF sıralamasını taşıdığı için tutarlı flare profilleri olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuç, *FlareFind*'in hem trendli hem de dalgalı ışık eğrilerinde düşük genlikli gerçek parlamaları bastırmadan tespit edebildiğini ve sahte pozitiflere karşı daha seçici olduğunu göstermektedir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez kapsamında, geç tayf türü yıldızlarda flare aktivitesinin güvenilir, sistematik ve tekrarlanabilir biçimde incelenebilmesi amacıyla Python tabanlı, akı-farkı temelli ve grafik arayüzlü bir yazılım olan *FlareFind* geliştirilmiştir. Flare gözlemleri, yıldız atmosferlerindeki manyetik yeniden bağlantı süreçlerini ve plazma ısınması ile enerji salınımı dinamiklerini anlamada kritik öneme sahiptir. Ancak Kepler ve TESS gibi yüksek hassasiyetli fotometrik görevler tarafından elde edilen ışık eğrilerinde, özellikle düşük genlikli flare olaylarının ayırt edilmesi, ölçüm belirsizliklerinden kaynaklanan sinyallerin elenmesi ve flare başlangıç-bitiş zamanlarının (t_r-t_q) tutarlı biçimde belirlenmesi ciddi bir zorluk oluşturmaktadır.

Geliştirilen algoritma, bu zorlukları aşmak için ışık eğrisindeki ardışık gözlemler arasındaki akı farklarını (ΔF) analiz eden bir yaklaşıma dayanmaktadır. Bu yeni yöntem, ardışık ölçümler arasındaki küçük değişimleri büyütür ve kısa süreli ani parlaklık artışlarını belirgin hale getirmektedir.

Bu çalışmada *FlareFind* algoritması, Kepler ve TESS görevlerinden elde edilen fotometrik veriler kullanılarak farklı özelliklere sahip sekiz yıldız üzerinde test edilmiştir. İncelenen hedefler, yalnızca tayf sınıfları açısından değil; örten veya tayfsal çift sistemler, BY Dra türü dönen değişenler, farklı parlaklık sınıfları ve RS CVn benzeri aktif çiftler gibi farklı yıldız türlerini içermesi bakımından da geniş bir örneklem oluşturmaktadır (Çizelge 4.1). Çizelge, *FlareFind* algoritmasıyla incelenen hedeflerin bazı temel parametrelerini, gözlem görevlerini ve kullanılan arşiv kaynaklarını göstermektedir.

Çizelge 4.1 Tez kapsamında incelenen yıldızların temel parametreleri

No	Hedef	Tür / Sınıf	M($M_{\odot}$)	R($R_{\odot}$)	T _{eff} (K)	Gözlem	Kaynak
1	KIC2852961 (Q0–Q17)	G9–K0 III (Kırmızı dev)	1.70	13.1	4720	Kepler LC	Kövári vd. 2020
2	TIC144539611 (S4)	K tayf türü (Örten çift sistem)	0.69	0.914	4423	TESS SC	TESS Input Catalog (2022)
3	KIC9726699 (Q4)	M4 V, BY Dra (Aktif anakol yıldızı)	0.27	0.33	3250	Kepler LC	Davenport 2014
4	TIC146559015 (S5)	K tayf türü (Örten çift sistem)	0.40	0.45	3527	TESS SC	TESS Input Catalog (2022)
5	KIC9652680 (Q3, Q10)	Dönme değişeni (rotating variable), yüzey lekeli G–K tayf türü yıldız	1.24	1.12	5860	Kepler LC	Berger vd. 2020
6	TIC275911914 (S59)	M4–M5 V (Geç tayf türü örten çift)	0.22	0.29	3075	TESS LC	TESS Input Catalog (2022)
7	TIC154101678 (S84)	M cüce (UV Ceti tipi flare yıldızı, EV Lac)	0.32	0.34	3315	TESS SC	Davenport 2014; Berger vd. 2020
8	TIC364588501 (S1)	K2 V (Genç anakol yıldızı, HD 39150)	0.90	0.94	5030	TESS SC	Reid & Hawley 2005; TIC 2022

Örnek flare tespiti gösterimi amacıyla, TIC141914082 yıldızının Sektör 7’ye ait ışık eğrisi sunulmuştur (Şekil 2.2). Bu yıldız, yöntemsel gösterim amacıyla seçilmiş olup, *FlareFind* algoritmasının tipik çalışma biçimini temsil etmektedir. Dikkat çekici olarak, ışık eğrisinin minimum parlaklık evresinde dahi iki flare’in tespit edilmesi, yıldızın manyetik etkinliğinin minimum evrelerde bile sürdüğünü göstermektedir. Bu örnek hedef, tezdeki sekiz ana analiz hedefi dışında tutulmuş olup yalnızca yöntemsel açıklamayı desteklemek amacıyla kullanılmıştır.

Çalışma, başlangıçta yalnızca TESS verilerine odaklanacak şekilde planlanmıştı; ancak akı-farkı yaklaşımının farklı zaman çözünürlüklerinde (SC ve LC) nasıl davrandığını test edebilmek için Kepler verileri de analize dahil edilmiştir. Böylece hem kısa kadanslı TESS verileri hem de uzun kadanslı Kepler verileri kullanılarak algoritmanın güvenilirliği test edilmiştir. Ayrıca örten çift sistemlerde yapılan uygulamalar, bileşenler

arası manyetik etkileşimlerin flare oluşumundaki rolünü ortaya koyarak yalnızca tek yıldızlarda değil ikili sistemlerde de yöntemin geçerliliğini göstermiştir.

Bu tezde arşiv karşılaştırmasının yapılabildiği iki hedef (KIC2852961 ve KIC9726699) üzerinde gerçekleştirilen doğrulama analizleri, *FlareFind* yazılımının zamanlama doğruluğunu açık biçimde ortaya koymuştur. Diğer hedefler için benzer bir arşiv karşılaştırması, uygun ve homojen flare kataloglarının bulunmaması nedeniyle gerçekleştirilememiş; bu nedenle doğrulama analizi özellikle bu iki hedef üzerine odaklanmıştır. Her iki yıldız için de, literatürde raporlanan flare tepe zamanları Kepler uzun kadans çözünürlüğü sınırları içinde *FlareFind* tarafından yeniden elde edilmiştir. Bu sonuçlar, akı-farkı temelli yaklaşımın hem dalgalı ışık eğrilerinde hem de düşük genlikli flare’lerde kararlı biçimde çalıştığını ve Kepler uzun kadans verisinde bile güvenilir zamanlama ölçümleri üretebildiğini göstermektedir. Böylece bu çalışma, *FlareFind*’in hem kırmızı dev sınıfındaki geniş lekeli yıldızlarda hem de hızlı dönen aktif M cücelerde güvenilir biçimde çalıştığını kanıtlamıştır.

FlareFind algoritmasının geçerliliği, aynı veri kümesi üzerinde literatürde yaygın olarak kullanılan AltaiPony yazılımı ile karşılaştırılarak sınanmıştır (Feinstein vd. 2020, Ilin vd. 2021). Her iki yöntem genel olarak benzer flare zamanlarını vermekle birlikte, *FlareFind* düşük genlikli ve kısa süreli olayları da güvenilir biçimde tespit edebilmiştir. Bu durum, akı-farkı temelli yaklaşımın, zemin eğilimlerinden bağımsız çalışarak flare profillerini ayırt etme yeteneğini göstermektedir.

FlareFind yazılımının zamanlama tutarlılığını değerlendirmek amacıyla KIC2852961 üzerinde Pearson korelasyon analizi yapılmış ve flare süreleri ($t_q - t_r$) ile eşdeğer süre (ED) arasında tanım gereği beklenen doğrusal ilişki elde edilmiştir. Buna ek olarak, flare tepe zamanlarının yıldızın 35.5 günlük dönme periyodu ile ilişkili olup olmadığını test etmek için Rayleigh periyot analizi uygulanmıştır. Analiz, flare zamanlarının dönme fazında herhangi bir kümelenme göstermediğini ve flare’lerin istatistiksel olarak rastlantısal zamanlarda meydana geldiğini ortaya koymuştur. *FlareFind* ile tespit edilen 50 flare’ın 49’unun arşiv verileriyle tam eşleşmesi, yöntemin Kepler uzun kadans verilerinde dahi yüksek zamanlama doğruluğu sağladığını göstermektedir. Q4 verilerinde

elde edilen düşük F_p/F_q oranları ve uzun sönümlene süreleri, bu yıldızdaki flare etkinliğinin düşük genlikli fakat uzun süreli manyetik yeniden bağlantı süreçleriyle belirlendiğine işaret etmektedir. Tüm bu bulgular, LC zaman çözünürlüğünün sınırlayıcı etkisine rağmen akı-farkı yönteminin güvenilirliğini desteklemekte ve yıldızdaki geniş lekeli alanlara rağmen flare üretiminin lekelerin dönme fazıyla senkronize olmadığını ortaya koymaktadır.

TIC144539611 örten çift sistemi üzerinde yapılan analiz, *FlareFind* algoritmasının çok bileşenli ışık eğrilerinde dahi düşük genlikli flare'leri güvenilir biçimde ayırt edebildiğini göstermiştir. Tespit edilen dört flare'in tamamında yükselme evresinin dakika mertebesinde, sönümlene evresinin ise belirgin biçimde daha uzun sürmesi, sistemdeki manyetik enerji boşalımının zayıf fakat uzun ölçekli bir soğuma süreciyle karakterize olduğunu ortaya koymuştur. Flare genliklerinin düşük olması ($F_p/F_q \approx 1.005-1.064$), örten çift yapısına rağmen bileşenler arası manyetik etkileşimin güçlü parlama üretmediğini düşündürmektedir. Tek sektörlük veri nedeniyle dönemlilik testi uygulanamamasına rağmen, elde edilen temel zaman ölçekleri ve flare profilleri *FlareFind*'in kısa süreli TESS verisinde de tutarlı ve anlamlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

KIC9726699 (GJ 1243) için yapılan arşiv karşılaştırması, *FlareFind*'in zamanlama doğruluğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Q4 döneminde *FlareFind* tarafından tespit edilen dokuz flare'in tamamı, Davenport (2016) tarafından yayımlanan *gj1243_master_flares.tbl* arşivindeki tepe zamanlarıyla ± 0.001 gün (≈ 1.4 dakika) tolerans içinde birebir uyum göstermiştir. Böylece *FlareFind*, bu hedefte arşivde bildirilen tüm flare'leri yeniden üretmiş ve Kepler uzun kadans verisinde dahi %100 zamanlama eşleşmesi sağlamıştır.

Yıldız ışık eğrisinin, yüzeydeki geniş aktif bölgelerin hareketiyle oluşan belirgin parlaklık dalgalanmaları nedeniyle oldukça dalgalı bir taban yapısına sahip olmasına karşın, akı-farkı temelli yöntem düşük genlikli flare'leri bile güvenilir biçimde ayırabilmiş ve algoritmanın dalgalı veri koşullarında da kararlı bir performans sergilediğini göstermiştir. Short Cadence (SC, ≈ 1 dk) verisi dakikalık örnekleme sayesinde flare profillerinin

ayrıntılı biçimde izlenmesini sağlarken, Long Cadence (LC, ≈ 29.4 dk) verisi zaman ortalaması nedeniyle kısa süreli tepe yapıların genliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Buna rağmen akı-farkı tabanlı yöntem, LC verisinde bile flare'ın yükseliş ve sönümlenme evrelerine karşılık gelen ardışık ΔF işaret değişimlerini güvenle ayırt etmiş ve SC verisiyle tutarlı zamanlama üretmiştir. Bu SC–LC karşılaştırması, *FlareFind*'in yalnızca yüksek zaman çözünürlüklü SC verilerde değil, Kepler LC ve TESS FFI gibi geniş örnekleme aralığına sahip ışık eğrilerinde de güvenilir biçimde çalıştığını göstermektedir. Böylece algoritma, büyük hacimli ve uzun süreli fotometrik görevlerin güvenilir analizine önemli bir yöntemsel katkı sunmaktadır.

TIC146559015 örten çift sistemi için yapılan analiz, flare oluşumunun yalnızca tek yıldızlarda görülen içsel manyetik süreçlerle sınırlı olmadığını, ikili sistem geometrisinin de aktivite düzeyini etkileyebileceğini göstermektedir. Her iki TESS sektöründe toplam 21 flare tespit edilmiştir ve evre analizinde bu flare'lerin yörünge boyunca belirgin bir kümelenme göstermediği bulunmuştur. Bu durum, bileşenler arası kararlı manyetik bağlantıların baskın olmadığını ve flare'lerin çoğunlukla tek bileşende gelişen yerel manyetik yapıların ürünü olduğunu düşündürmektedir. OPEA modeliyle elde edilen kısa karakteristik zaman ($\tau \approx 8$ dk) ve düşük Plateau değeri ($\sim 2-3$ dk), sistemdeki flare'lerin düşük–orta enerjili ve kısa ömürlü olduğunu ortaya koymuştur. Böylece, örten çift sistemlerde flare üretiminin zaman zaman artırılmış olsa da belirgin bir evre bağımlılığı taşımadığı, enerjinin çoğunlukla yerel manyetik yeniden bağlantı süreçlerinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, *FlareFind* yazılımının örten çift gibi karmaşık ışık eğrilerinde dahi güvenilir biçimde çalıştığını ve farklı sistem tiplerinde tutarlı eğilimler ortaya koyabildiğini göstermektedir.

KIC9652680, çalışmada incelenen diğer hedeflere göre belirgin biçimde düşük flare frekansı sergileyen bir dönme değişeni olarak öne çıkmaktadır. On sekiz çeyreklik uzun gözlem süresine rağmen yalnızca on flare tespit edilmesi, yıldızın güçlü lekeli yüzey yapısına rağmen yeniden bağlantı için gerekli enerji birikiminin çoğu zaman eşiği aşmadığını göstermektedir. Flare sürelerinde gözlenen asimetri –çoğunlukla hızlı yükselme ve yavaş sönümlenme, ancak bazı olaylarda ters yapılar– hem lekeli dönme modülasyonunun taban akısındaki dalgalanmalarından hem de flare'lerin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır.

Bu durum, orta düzeyde manyetik etkinlik sergileyen G–K tipi lekeli yıldızlarda literatürde raporlanan davranışlarla tutarlıdır. *FlareFind* algoritması, dalgalı taban akısına rağmen düşük genlikli olaylardaki tr–tp–tq anlarını güvenle ayırt ederek bu zayıf aktiviteyi ortaya koyabilmiştir. Genel olarak KIC9652680, büyük ve uzun ömürlü lekelerin hâkim olduğu, ancak flare üretiminin sınırlı kaldığı dengelenmiş bir manyetik etkinlik rejimi sergilemekte; bu yapı hem yıldızın evrimsel durumuyla hem de G–K aralığındaki dönme değişenleri için literatürde tanımlanan tipik aktivite seviyeleriyle uyum göstermektedir.

TIC275911914, M4–M5 tayf türü bileşenlerden oluşan tayfsal ikili yapısı nedeniyle, çalışmada incelenen hedefler arasında manyetik aktivitesi en yüksek olan sistemlerden biridir. Beş TESS sektöründe elde edilen dokuz flare olayı, M cücelerde sık görülen “çok sayıda düşük genlikli kısa flare + az sayıda uzun süreli ve daha enerjik flare” desenini açık biçimde sergilemektedir. Flare’lerin çoğu düşük genlikli olsa da, özellikle sekizinci olayın hem yüksek Fp/Fq oranı hem de uzun sönmüleme süresi, sistemde güçlü manyetik yeniden bağlantıların zaman zaman daha geniş bir zaman ölçeğinde gerçekleşebildiğini göstermektedir. Yükselme–sönmüleme sürelerindeki asimetri (hızlı ısınma–yavaş soğuma), M cüceler için literatürde tanımlanan tipik flare profilleriyle uyumludur. Ayrıca *FlareFind* algoritması, dalgalı taban akısı ve ikili sistem yapısına rağmen tr–tp–tq zamanlarını tutarlı biçimde belirleyerek düşük genlikli olayları bile güvenle ayırt edebilmiştir. Bu sonuçlar, düşük kütleli ve tayfsal ikili sistemlerde manyetik etkileşimlerin flare zaman ölçeklerini büyütme potansiyeline sahip olduğunu, ancak bu etkinin daima düzenli ya da evre bağımlı bir biçimde ortaya çıkmadığını göstermektedir. Genel olarak, TIC275911914’ün flare istatistikleri, M cücelere özgü yüksek manyetik aktivite düzeyini doğrulamakta ve bu sistemin sürekli fakat zaman zaman daha enerjik atımlarla desteklenen bir manyetik etkinlik rejiminde çalıştığını göstermektedir.

EV Lac üzerinde yapılan analiz, tam konvektif M tayf türü yıldızların güçlü ve süreklilik gösteren manyetik etkinliğinin fotometrik verilerle açık biçimde ortaya konulabileceğini göstermektedir. Sektör 84’te tespit edilen 18 flare olayı, yıldızın α^2 -dinamo kaynaklı yoğun manyetik alanlarını ve sık tekrarlanan düşük–orta enerjili patlamalar üreten aktif doğasını doğrulamaktadır. Flare profillerinin çoğunda gözlenen hızlı yükselme–yavaş sönmüleme asimetrisi, M cüceler için literatürde raporlanan tipik enerji boşalım yapılarıyla uyumludur.

Ayrıca çift tepe morfolojisine sahip olaylar, çok evreli yeniden bağlantı süreçlerinin EV Lac gibi tam konvektif yıldızlarda yaygın olduğunu göstermektedir. *FlareFind* algoritmasının hem küçük genlikli hem de karmaşık profilli olayları güvenilir biçimde ayrıştırabilmesi, bu tür yüksek aktiviteye sahip hedeflerde yöntemin performansını doğrulamaktadır. Genel olarak EV Lac, düşük kütleli flare yıldızlarında manyetik alan üretimi, enerji depolanması ve çok aşamalı enerji boşalımının fotometrik davranışları açısından güçlü bir örnek olup, bu tezde elde edilen bulgular yıldızın literatürde bilinen yüksek aktiviteli karakteriyle tutarlı bir sonuç ortaya koymaktadır.

TIC364588501 için elde edilen sonuçlar, genç ve manyetik olarak etkin K2 V tayf türü bir HPM yıldızının fotometrik olarak sık fakat düşük enerjili flare'ler üreten bir rejimde çalıştığını göstermektedir. TESS Sektör 1 verilerinde tespit edilen 32 flare'in büyük çoğunluğunda $F_p/F_q \approx 1.00-1.02$ ve $ED < 1$ dk olması, manyetik yeniden bağlantıların küçük ölçekli ve kısa ömürlü enerji boşalımını ürettiğini ortaya koymaktadır. OPEA modelinden elde edilen düşük Plateau (~ 0.5 dk) ve kısa karakteristik zaman ($\tau \approx 3.3$ dk) değerleri, flare enerjisinin kısa zaman ölçeklerinde doyuma ulaştığını ve sistemin süperflare düzeyine çıkmayan, düşük-orta enerjili bir aktivite düzeyinde kararlı olarak çalıştığını göstermektedir. Süre-ED ilişkisinin Pearson analiziyle anlamlı biçimde doğrulanması ($r \approx 0.68$, $p \ll 0.01$), daha uzun süren olayların sistematik olarak daha yüksek toplam enerjiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. AltaiPony ile yapılan karşılaştırma ise, akı-farkı temelli *FlareFind* yaklaşımının hem düşük genlikli gerçek olayları bastırmadan tespit edebildiğini hem de tek yönlü küçük çıkıntıları sahte flare olarak işaretlememesi sayesinde dalgalı ışık eğrilerinde daha seçici bir performans sergilediğini göstermektedir.

Bu tez kapsamında geliştirilen *FlareFind* yazılımı, akı-farkı temelli özgün yaklaşımıyla flare tespitinde önemli bir katkı sağlamıştır. Işık eğrilerindeki ardışık gözlemler arasındaki akı farklarının analizine dayanan bu yeni yöntem, yavaş zemin değişimlerini bastırmakta ve düşük genlikli flare'leri güvenilir biçimde ayırt edebilmektedir. Böylece, görsel kontrol ve deneyime dayalı geleneksel yaklaşımlara kıyasla, sistematik ve tekrarlanabilir bir tespit süreci elde edilmiştir. Klasik yöntemler doğrudan akı serisi üzerinde sabit bir eşik kullanırken, akı-farkı yaklaşımı flare'in hem yükseliş (pozitif ΔF) hem de sönümleme (negatif ΔF) evresini birlikte değerlendirir. Bu sayede dalgalı veya dönme modülasyonlu

ışık eğrilerinde zemin eğilimlerinden kaynaklanan sahte parlaklık artışları bastırılırken, gerçek flare profilleri seçici biçimde ortaya çıkarılabilmektedir.

Geliştirilen yöntemin en güçlü yönü, zaman çözünürlüğü kadar hassas tepe (tp) ve bitiş (tq) zamanları üretebilmesi ve düşük genlikli flare'leri güvenilir şekilde tespit edebilmesidir. Ayrıca farklı yıldız türlerine ve gözlem koşullarına uygulanabilir olması yöntemin esnekliğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Kepler'in uzun kadanslı (~29.4 dk) ve TESS'in dakikalık örneklemeleri, kısa süreli flare'lerin ya hiç görünmemesine ya da olduğundan daha uzun süreliymiş gibi algılanmasına neden olabilir. Çok zayıf veya düşük sinyal-gürültü oranına sahip olaylar ise belirlenen eşik değerlerinin altında kaldıklarından tespit edilemeyebilir. Bu durum, yöntemin gözlemsel çözünürlükten kaynaklanan doğal bir sınırlılığıdır. Yazılım, çok aşamalı bir filtreleme yapısı ile sahte sinyalleri ayıklamaktadır. Bu süreç; (i) akı-farkı eğrisinde pozitif ve negatif evrelerin birlikte aranması, (ii) taban seviyesinin durağanlık kontrolü, (iii) yükseliş ve sönüm sürelerinin flare için makul zaman ölçekleri içinde olması, (iv) genlik/gürültü oranının eşik değerlerini aşması ve (v) gerekli durumlarda nihai görsel doğrulama adımlarını içermektedir. Böylece flare yapısıyla uyuşmayan kısa süreli parazitler veya dalgalı zemin kaynaklı çıkıntılar güvenilir biçimde elenmiştir.

Bu tezde incelenen farklı tayf sınıflarındaki yıldızlarda elde edilen sonuçlar, literatürle genel uyum göstermiştir.

- M cüceler: Sık fakat düşük enerjili flare üretimi, önceki çalışmaların (Hawley ve Pettersen 1991; Gershberg 2005; Notsu vd. 2019) bulgularıyla örtüşmektedir.
- G–K devler: Geniş lekeli yüzeyler ve süperflare potansiyeli, literatürde raporlanan sonuçları (Maehara vd. 2015; Notsu vd. 2019) desteklemektedir.
- İkili sistemler: Bu tezde ikili sistemler için ayrıntılı ve tüm hedefleri kapsayan bir evre–flare dağılımı analizi yapılmamış, yalnızca bazı sistemlerde evreye göre temel bir kontrol uygulanmıştır. Genel olarak ikili sistemlerde flare'lerin yörünge evresine göre dağılımı, aktif bölgelerin hangi bileşen üzerinde ve hangi fazlarda yoğunlaştığına ilişkin önemli bilgiler sağlayabilir.

- Dinamo–dönme ilişkisi: Bu tez kapsamında dönme periyotları ile flare özellikleri (örneğin ED veya flare süre dağılımları) arasında nicel bir ilişki araştırılmamıştır. Çünkü bu tür analizlerin anlamlı olabilmesi için uzun süreli ve kesintisiz çok sektörlü veriye ihtiyaç vardır; incelenen hedeflerin çoğu yalnızca tek sektör ya da sınırlı çeyrek verisine sahiptir. Bununla birlikte literatürde, dönme hızının ve diferansiyel dönmenin manyetik alan üretimindeki rolünü açıklayan α^2 ve α – Ω dinamo kuramlarının M cüceler ve aktif yıldızlar için geçerli olduğu bilinmektedir (Noyes vd. 1984, Wright vd. 2011, Güdel 2007, Shibata ve Magara 2011).

FlareFind yazılımı, farklı tayf sınıflarına ve sistem türlerine uygulanarak sınanmıştır. G–K devlerde (KIC2852961) süperflare potansiyeli ve rastlantısal tetiklenmelerin ön planda olduğu; aktif M cücelerde (KIC9726699 ve TIC154101678 – EV Lac) sık tekrarlanan ancak çoğunlukla düşük–orta enerjili flare’lerin baskın olduğu; kısa periyotlu örten çiftlerde (TIC144539611 ve TIC146559015) ise flare istatistiklerinin tek yıldızlardan farklı bir desen sergilediği ve bileşenler arası manyetik etkileşimlerin flare dağılımlarını etkileyebileceğini düşündüren sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, flare oluşum mekanizmalarının yalnızca yıldızın tayf türüne değil, aynı zamanda evrimsel duruma ve ikili etkileşimlere de bağlı olabileceğini göstermektedir. Nicel karşılaştırmalar da bu genel tabloyu desteklemiştir. Örneğin KIC2852961 için literatürde raporlanan 59 flare’ın 49’u *FlareFind* tarafından tam eşleşme ile yakalanmış, bir tanesi uzun kadans çözünürlüğü sınırında kısmi uyum göstermiş, dokuz tanesi ise düşük genlikleri nedeniyle eşikleri geçememiştir; diğer hedefler için benzer bir eşleşme analizi, uygun ve homojen arşiv kataloglarının bulunmaması nedeniyle bu tez kapsamında yapılmamıştır.

Elde edilen OPEA model parametreleri (Plateau < 1 dk ve $\tau \approx 3$ –8 dk), flare enerjisinin süreye bağlı olarak kısa zaman ölçeklerinde doyuma ulaştığını ve flare’lerin çoğunun kısa ömürlü, düşük–orta enerjili karakterde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, M tayf türü yıldızlarda yaygın olarak gözlenen hızlı parlaklık artışı ve ardından gerçekleşen daha yavaş sönümlenme davranışıyla uyumludur.

Bu tez kapsamında elde edilen OPEA eğrileri üzerinde görülen saçılma ve sapmaların başlıca nedeni, kadans sınırlamaları ve flare yapılarındaki düzensiz değişimler nedeniyle flare başlangıç (tr) ve bitiş (tq) zamanlarının tam olarak belirlenememesidir. tr–tq noktalarındaki bu belirsizlikler, flare süresi ve ED hesaplarını doğrudan etkilemekte ve OPEA diyagramlarında model eğrilerinden sapmaların daha büyük olmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında elde edilen OPEA analizlerinin tam olarak elde edilemediği kabul edilmelidir. Flare başlangıç (tr) ve bitiş (tq) zamanlarının tam olarak belirlenebilmesi ancak gerçekleşen flare olayları için bir model üretilerek elde edilebileceği düşünülmektedir.

Pearson korelasyon analizinde elde edilen artış yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı ilişki ($r \approx 0.68$, $p < 0.001$), gözlenen flare enerjisinin doğrudan flare süresiyle ölçeklendiğini göstermektedir. Bu ilişki, flare’lerin istatistiksel olarak da OPEA modelinde öngörülen süre–enerji eğilimini izlediğini kanıtlamaktadır. Bu bulgular, düşük kütleli M cücelerde α^2 -dynamo mekanizmasının sürekliliğini ve küçük ölçekli manyetik yeniden bağlantıların yıldız atmosferinde baskın enerji boşalım biçimi olarak plazma atımlarını (CME benzeri süreçleri) tetikleyebildiğini desteklemektedir. Daha yüksek kütleli yıldızlarda (ör. G–K türleri) gözlenen uzun süreli ve yüksek enerjili olaylara kıyasla, M cüceler hızlı fakat sınırlı enerji salımlarıyla karakterize edilmektedir. Dolayısıyla *FlareFind* ile elde edilen sonuçlar, flare üretiminin yıldızın tayf türü ve konvektif derinliğiyle yakından ilişkili olduğunu göstermekte; yıldız evriminin farklı aşamalarında manyetik alan geometrisinin flare enerjisine etkisini doğrudan ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında geliştirilen *FlareFind* yalnızca teknik bir tespit aracı değil; aynı zamanda geç tayf türü yıldızların manyetik aktivitesinin temel özelliklerini ortaya koyan sistematik bir yazılım altyapısıdır. *FlareFind*’in grafik arayüzlü yapısı, kullanıcıya flare tespitlerini hem sayısal tablolar hem de ışık eğrisi grafikleri üzerinden eşzamanlı olarak inceleme olanağı sunmaktadır. Kullanıcı, sınırdaki ya da karmaşık profilli flare’lerde tr–tp–tq zamanlarını görsel olarak denetleyebilmekte, gerekli durumlarda adayları onaylayarak veya reddederek yarı-otomatik bir doğrulama süreci yürütebilmektedir. Bu yarı-otomatik ve görsel doğrulama olanağı, özellikle sınırdaki flare olaylarında kullanıcı deneyimine bağlı belirsizliği azaltmakta ve yazılımı, yalnızca bu

tezde incelenen hedeflerle sınırlı kalmayan, farklı araştırma grupları tarafından da kolaylıkla uyarlanabilecek genel amaçlı bir araç haline getirmektedir. Bu yaklaşım sayesinde düşük genlikli flare'lerin güvenilir biçimde ayırt edilebilmesi, SC verisinde saniye–dakika mertebesinde, LC verisinde ise kadans çözünürlüğü sınırında zamanlama doğruluğu elde edilmesi ve farklı yıldız türlerinde istatistiksel olarak tutarlı çıkarımlar yapılabilmesi mümkün olmuştur. Elde edilen bulgular, flare süreçlerinin temel özelliklerini (ani yükseliş, yavaş sönüm, kısa süreli olayların baskınlığı) doğrularken aynı zamanda yıldız türüne özgü farklılıkları da vurgulamaktadır. Böylece *FlareFind*, gözlemsel veriler üzerinden geç tayf türü yıldızların manyetik alan evrimi, dinamo süreçleri ve yıldızlararası karşılaştırmalar için güvenilir ve tekrarlanabilir bir temel sunmuş; literatürdeki klasik yaklaşımlara güçlü bir alternatif oluşturmuştur. Gelecekte, *FlareFind*'in kısa kadanslı geniş alan görevlerinde (örneğin PLATO ve ULTRASAT) uygulanması, yıldız evriminin manyetik yönlerinin istatistiksel olarak daha geniş örneklemeler üzerinden incelenmesine olanak sağlayacaktır. Bu bağlamda geliştirilen yöntem, yalnızca gözlemsel verilerin işlenmesinde değil, aynı zamanda yıldızsal manyetik etkinliğin istatistiksel modellenmesinde de güçlü bir araç olma potansiyeline sahiptir.

Genel olarak, *FlareFind* yazılımı, klasik yaklaşımlarda kullanılan akıdaki ani artışlara dayalı eşik tabanlı yöntemlerden farklı olarak, bu tez kapsamında ilk kez sistematik bir tespit yöntemi olarak uygulanan akı-farkı yaklaşımıyla flare tespitinde alternatif bir çerçeve sunmakta ve böylece geç tayf türü yıldızların manyetik aktivitesinin anlaşılmasında önemli bir araç haline gelmektedir.

KAYNAKLAR

- Applegate, J. H. 1992. A mechanism for orbital period modulation in close binaries. *The Astrophysical Journal*, 385(1), 621-629.
- Araújo, A. F. ve Valio, A. 2021. Kepler-411 star activity: connection between starspots and superflares. *The Astrophysical Journal Letters*, 922(1), L23.
- Aschwanden, M. J. 2005. *Physics of the Solar Corona: An Introduction with Problems and Solutions*. Springer, 892, Berlin.
- Babcock, H. W. 1961. The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle. *The Astrophysical Journal*, 133(1), 572-587.
- Baliunas, S. L., Hartmann, L. ve Dupree, A. K. 1983. Chromospheric and coronal emission from giants in the Mount Wilson H and K project. *The Astrophysical Journal*, 271(1), 672-678.
- Balona, L. A. 2015. Flare stars across the H–R diagram. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 447(3), 2714-2725.
- Barnes, S. A. 2003. On the rotational evolution of solar- and late-type stars, its magnetic origins, and the possibility of stellar gyrochronology. *The Astrophysical Journal*, 586(1), 464-479.
- Basri, G., Walkowicz, L. M., Batalha, N., Gilliland, R. L., Jenkins, J. M., Borucki, W. J. ve Koch, D. G. 2011. Kepler mission stellar variability study. *The Astronomical Journal*, 141(1), 20.
- Bastian, T. S. 1990. Stellar flares at radio wavelengths. *Solar Physics*, 130(2), 265-287.
- Benesty, J., Chen, J., Huang, Y. ve Cohen, I. 2009. Pearson correlation coefficient. In J. Benesty, J. Chen, Y. Huang ve I. Cohen (Eds.), *Noise reduction in speech processing* (pp. 1–4). Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00296-0_5
- Benz, A. O. 2008. Flare observations. *Living Reviews in Solar Physics*, 5(1), 1.
- Benz, A. O. ve Güdel, M. 2010. Physical processes in magnetically driven flares on the Sun, stars, and young stellar objects. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 48, 241-287.
- Benz, A. O. 2017. Flare observations. *Living Reviews in Solar Physics*, 14(1), 2.
- Berdyugina, S. V. 2005. Starspots: A key to the stellar dynamo. *Living Reviews in Solar Physics*, 2(1), 8.

- Berger, E. 2006. Radio observations of ultracool dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 648(1), 629-636.
- Berger T. A., Huber D., van Saders J. L., Gaidos E., Tayar J., Kraus A. L. 2020. The Gaia–Kepler Stellar Properties Catalog I. *The Astronomical Journal*, 159, 280. DOI: 10.3847/1538-3881/abcf87.
- Bochanski, J. J., Hawley, S. L., Covey, K. R., West, A. A., Reid, I. N., Golimowski, D. A. ve Ivezić, Ž. 2010. The luminosity and mass functions of low-mass stars in the SDSS. *The Astronomical Journal*, 139(6), 2679-2699.
- Bopp, B. W. 1974. A spectroscopic study of YY Geminorum. *The Astrophysical Journal*, 193(1), 389-394.
- Borovik, V. N. ve Myachin, D. Y. 2007. Flare activity in spotless active regions. *Solar System Research*, 41(2), 101-107.
- Borkovits, T., Rappaport, S., Hajdu, T. ve Sztakovics, J. 2015. Third-body masses and radii in triple systems discovered with Kepler. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448(1), 946-967.
- Borucki, W. J., Koch, D., Basri, G., Batalha, N., Brown, T. ve Caldwell, D. 2010. Kepler planet-detection mission: Introduction and first results. *Science*, 327(5968), 977-980.
- Browning, M. K. 2008. Simulations of dynamo action in fully convective stars. *The Astrophysical Journal*, 676(2), 1262-1280.
- Brown, T. M., Christensen-Dalsgaard, J., Dziembowski, W. A., Goode, P., Gough, D. O. ve Morrow, C. A. 1989. Inferring the Sun's internal angular velocity from observed p-mode frequency splittings. *The Astrophysical Journal*, 343(2), 526-546.
- Brown, T. M., Latham, D. W., Everett, M. E. ve Esquerdo, G. A. 2011. Kepler Input Catalog: Photometric calibration and stellar classification. *The Astronomical Journal*, 142(4), 112.
- Browning, M. K., Basri, G., Marcy, G. W., West, A. A. ve Zhang, J. 2010. Strong magnetic fields from partially convective dynamos. *The Astrophysical Journal*, 711(1), L26-L30.
- Brun, A. S. ve Browning, M. K. 2017. Magnetism, dynamo action and the solar-stellar connection. *Living Reviews in Solar Physics*, 14(1), 4.
- Carroll, B. W. ve Ostlie, D. A. 2017. *An introduction to modern astrophysics* (3rd ed.). Cambridge University Press, 1360, Cambridge.
- Carmichael, H. 1964. A process for flares. *NASA Special Publication*, 50, 451,

Washington D.C.

- Carrington, R. C. 1859. Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 20(1), 13-15.
- Chabrier, G., Baraffe, I., Allard, F. ve Hauschildt, P. H. 2000. Evolutionary models for very low-mass stars and brown dwarfs with dusty atmospheres. *The Astrophysical Journal*, 542(1), 464-472.
- Chabrier, G. ve Küker, M. 2006. Large-scale α^2 dynamo in low-mass stars and brown dwarfs. *Astronomy & Astrophysics*, 446(3), 1027-1037.
- Charbonneau, P. 2010. Dynamo models of the solar cycle. *Living Reviews in Solar Physics*, 7(1), 3.
- Cliver, E. W. ve Dietrich, W. F. 2013. The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A31.
- Coughlin, J. L. ve Shaw, J. S. 2007. A new low-mass eclipsing binary in the North Sky Variability Survey. *Journal of the Southeastern Association for Research in Astronomy*, 1(1), 7-12.
- Dal, H. A. 2011. Statistical analysis and the OPEA model of the white-light flares occurring on Krüger 60B (DO Cep). *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 28(4), 365-377.
- Dal, H. A. 2009. Statistical analysis of white-light flares detected in U band observations of the flare star EV Lacertae. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 61(6), 1199-1212.
- Dal, H. A. 2009. Kırmızı cücelerde flare karakteri ve leke aktivitesi; Flare characters and stellar spot activity of red dwarfs. *Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı*, 210, İzmir.
- Dal, H. A., ve Evren, S. 2011. Statistical analyses of white-light flares detected in long cadence data of KOI-256. *The Astronomical Journal*, 141, 33. <https://doi.org/10.1088/0004-6256/141/1/33>
- Davenport, J. R. A., Kinemuchi, K., Hawley, S. L., Covey, K. R., Wisniewski, J. P., Silverberg, S. M., Jansen, T., Scheffler, M. S., Berdis, J., Larsen, D. M. ve Hilton, E. J. 2016. Kepler flares. II. The temporal morphology of white-light flares on GJ 1243. *The Astrophysical Journal*, 829(1), 23.
- Davenport, J. R. A. 2014. Kepler flare stars. *The Astrophysical Journal*, 797(2), 122.
- de Jager, C. 1989. Flares in the optical and near infrared. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 62(1), 243-260.

- Davenport, J. R. A., Hawley, S. L., Hebb, L., Wisniewski, J. P., Kowalski, A. F., Johnson, E. C., Malatesta, M., Peraza, J., Keil, M., Silverberg, S. M., Jansen, T. C., Scheffler, M. S., Berdis, J. R., Larsen, D. M. ve Hilton, E. J. 2014. Kepler Flares. II. The temporal morphology of white-light flares on GJ 1243. *The Astrophysical Journal*, 797(2), 122. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/797/2/122>
- de Jager, C. 1989. Flares in the optical and near infrared. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 62(1), 243-260.
- de la Reza, R., Torres, C. A. O., Quast, G., Castilho, B. V. ve Vieira, G. L. 1981. Discovery of new isolated T Tauri stars. *The Astrophysical Journal*, 243(1), 496-501.
- Dennis, B. R. ve Schwartz, R. A. 1989. Solar flares: the impulsive phase. *Solar Physics*, 121, 75–94. <https://doi.org/10.1007/BF00161688>
- Dulk, G. A. 1985. Radio emission from the Sun and stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 23, 169-224.
- E. J. 2016. Kepler flares. II. The temporal morphology of white-light flares on GJ 1243. *The Astrophysical Journal*, 829, 23. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/829/1/23>
- European Space Agency (ESA). 1999. Solar eruption larger than Earth. SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) görüntü arşivi. <https://soho.nascom.nasa.gov/>, Erişim Tarihi: 01.08.2025.
- Feinstein, A. D., Mackereth, J. T., Christiansen, J. L., Montet, B. T., Farr, W. M., Luger, R., Vanderburg, A., Crossfield, I. J. M., Barentsen, G., Winters, J. G., Greene, T. P., Petigura, E., Dressing, C., Barclay, T., Hirano, T., Palle, E., Hermosilla, R., Johnson, M. C. ve Zink, J. K. 2020. Eleanor: An open-source tool for extracting light curves from the TESS full-frame images. *Journal of Open Source Software*, 5(52), 2004.
- Fletcher, L., Dennis, B. R., Hudson, H. S., Krucker, S., Phillips, K., Veronig, A., Battaglia, M., Bone, L., Caspi, A., Chen, Q., Gallagher, P. T., Grigis, P. T., Ji, H., Milligan, R. O. ve Temmer, M. 2011. An observational overview of solar flares. *Space Science Reviews*, 159(1), 19-106.
- Gaia Collaboration, Vallenari, A., Brown, A. G. A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Arenou, F., Babusiaux, C., Biermann, M., Creevey, O. L., Ducourant, C., Evans, D. W., Eyer, L., Guerra, R., Hutton, A., Jordi, C., Klioner, S. A., Lammers, U. L., Lindegren, L., Luri, X., Mignard, F., Panem, C., Pourbaix, D., Randich, S., Sartoretti, P., Soubiran, C., Tanga, P., Walton, N. A., Bailer-Jones, C. A. L., Bastian, U., Drimmel, R., Jansen, F., Katz, D., Lattanzi, M. G., van Leeuwen, F., Bakker, J., Castañeda, J., ... Zucker, S. 2022. Gaia Data Release 3. Summary of the content and survey properties. *Astronomy and Astrophysics*, 667, A1.

- Gershberg, R. E. 1972. Flare stars in the Pleiades region. *Astrophysics and Space Science*, 19(1), 75-92.
- Gershberg, R. E. 1975. Flares of red dwarf stars and solar activity. In: Kundu, M. R. (ed.) *IAU Symposium Series 67, Variable Stars and Stellar Evolution*. Reidel Publishing, Dordrecht, 47-54.
- Gershberg, R. E. 2005. *Solar-type activity in main-sequence stars*. Springer, 672, Berlin.
- Gizis, J. E., Paudel, R. R., Mullan, D., Schmidt, S. J., Burgasser, A. J., Williams, P. K. G. ve Berger, E. 2017. Kepler flare stars: ultraviolet emission and evidence for superflares. *The Astrophysical Journal*, 845(1), 33.
- Grinin, V. P. 1976. Negative stellar flares in the infrared. *Soviet Astronomy Letters*, 2(3), 137-139.
- Güdel, M. 2004. X-ray astronomy of stellar coronae. *Astronomy and Astrophysics Review*, 12(2-3), 71-237.
- Güdel, M. 2007. The Sun in Time: Activity and Environment. *Living Reviews in Solar Physics*, 4(1), 3.
- Günther, M. N., Zhan, Z., Seager, S., Ricker, G. R., Woods, T. N., Vanderspek, R., Barclay, T., Huang, C. X., Shibayama, T., Fausnaugh, M., Winter, L., Okamoto, S., Turtelboom, E., Tokovinin, A., Levine, A. M., Ciardi, D. R., Jenkins, J. M., Caldwell, D. A., Tenenbaum, P. ... ve Jenkins, J. 2020. Stellar flares observed by TESS in the first two years. *The Astronomical Journal*, 159(2), 60.
- Hall, D. S. 1991. The spotted RS CVn stars. In: Tuominen, I., Moss, D. ve Rüdiger, G. (eds.) *The Sun and Cool Stars: Activity, Magnetism, Dynamos*. Springer, Berlin, 353-370.
- Hall, O. J., Davies, G. R., van Saders, J. L., Miglio, A., Kuszlewicz, J. S., Campante, T. L. ve García, R. A. 2021. Large frequency separation spacings in red giants indicate depressed dipole modes. *Nature Astronomy*, 5(7), 707-714.
- Hawley, S. L. ve Pettersen, B. R. 1991. The great flare of 1985 April 12 on AD Leo. *The Astrophysical Journal*, 378(1), 725-741.
- Hawley, S. L., Davenport, J. R. A., Kowalski, A. F., Wisniewski, J. P., Hebb, L., Deitrick, R. ve Hilton, E. J. 2014. Kepler flares I: Active and inactive M dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 797(2), 121.
- Hełminiak, K. G., Konacki, M., Ratajczak, M. ve Muterspaugh, M. W. 2014. Orbital and physical parameters of eclipsing binaries from the All-Sky Automated Survey catalogue. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444(3), 3150-3166.

- Henry, T. J. ve Jao, W.-C. 2024. The character of M dwarfs. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 62, 593-633.
- Hilton, E. J. 2011. The galactic M dwarf flare rate. Doktora Tezi, University of Washington, Department of Astronomy, 210, Seattle.
- Hirayama, T. 1974. Theoretical model of flares and prominences. *Solar Physics*, 34(2), 323-338.
- Hoeksema, J. T. 1995. The large-scale structure of the heliospheric magnetic field: 1976-1993. *Space Science Reviews*, 72(1-2), 137-148.
- Hodgson, R. 1859. On a curious appearance seen in the Sun. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 20(1), 15-16.
- Hudson, H. S. 2021. Carrington events. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 59, 445-477.
- Ilin E., Poppenhäger K., Schmidt S. J., Davenport J. R. A., Namekata K., Güdel M., Mallonn M. ve Boudreaux T. M. (2021). AltaiPony: An open-source Python package for detecting stellar flares. *Astronomy & Astrophysics*, 645, A42. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038855>
- Jackman, J. A. G., Wheatley, P. J., Acton, J. S., Anderson, D. R., Bayliss, D., Briegal, J. T., Bryant, E. M., Casewell, S. L., Gill, S., Hodgkin, S. T., Jenkins, J. S., King, G. W., Kirk, J., Mann, C. R., Raynard, L., Smith, A. M. S., Tilbrook, R. H., Walker, S. R., West, R. G. ve Wheatley, J. C. 2021. Stellar flares detected with the Next Generation Transit Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 504(3), 3246-3263.
- Jardine, M., Collier Cameron, A., Donati, J.-F., Gregory, S. G. ve Wood, K. 2006. X-ray emission from T Tauri stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367(3), 917-925.
- Jeffries, R. D., Jackson, R. J., Briggs, K. R., Evans, P. A. ve Pye, J. P. 2011. Investigating coronal saturation and super-saturation in fast-rotating M-dwarf stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411(3), 2099-2112.
- Jenkins, J. M., Caldwell, D. A., Chandrasekaran, H., Twicken, J. D., Bryson, S. T., Quintana, E. V., Clarke, B. D., Li, J., Allen, C., Tenenbaum, P., Wu, H., Klaus, T. C., Middour, C. K., Cote, M. T., McCauliff, S., Girouard, F., Gunter, J. P., Wohler, B., Sommers, J., Hall, J. R., Uddin, A. K., Wu, M. S., Bhavsar, P. A., Van Cleve, J., Pletcher, D. L., Dotson, J. A., Haas, M. R. ve Borucki, W. J. 2010. Initial characteristics of Kepler short cadence data. *The Astrophysical Journal Letters*, 713(2), L87-L91.
- Kippenhahn, R. ve Weigert, A. 1990. *Stellar structure and evolution*. Springer-Verlag, 468, Berlin.

- Kopp, R. A. ve Pneuman, G. W. 1976. Magnetic reconnection in the corona and the loop prominence phenomenon. *Solar Physics*, 50(1), 85-98.
- Kowalski, A. F., Hawley, S. L., Wisniewski, J. P., Osten, R. A., Hilton, E. J., Holtzman, J. A., Schmidt, S. J., Davenport, J. R. A., Haislip, J. B., Ivarsen, K. M., LaCluyze, A. P. ve Reichart, D. E. 2013. Time-resolved properties and global trends in dMe flares from simultaneous photometry and spectroscopy. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 207(1), 15.
- Kővári, Z., Oláh, K., Günther, M. N., Vida, K., Kriskovics, L., Seli, B., Bakos, G. Á., Hartman, J. D., Csubry, Z. ve Bhatti, W. 2020. Superflares on the late-type giant KIC 2852961—Scaling effect behind flaring at different energy levels. *Astronomy and Astrophysics*, 641, A83.
- Kowalski, A. F., Hawley, S. L., Hilton, E. J., Becker, A. C., West, A. A., Bochanski, J. J. ve Sesar, B. 2009. Time-resolved properties and global trends in dMe flares from SDSS Stripe 82. *The Astronomical Journal*, 138(2), 633-648.
- Lacy, C. H., Moffett, T. J. ve Evans, D. S. 1976. UV Ceti flare stars in the solar neighborhood. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 30(1), 85-92.
- Leighton, R. B. 1969. A magneto-kinematic model of the solar cycle. *The Astrophysical Journal*, 156(1), 1-26.
- Lépine, S. ve Shara, M. M. 2005. A catalog of northern stars with annual proper motions larger than 0.15" (NPM catalog). *The Astronomical Journal*, 129(3), 1483-1522.
- Linsky, J. L. 2017. Stellar model chromospheres and spectroscopic diagnostics. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 55, 159-211.
- Maehara, H., Notsu, Y., Namekata, K., Honda, S., Ikuta, K., Nogami, D. ve Shibata, K. 2017. Statistical properties of superflares on solar-type stars based on 1-min cadence data. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 69(3), 41.
- Maehara, H., Shibayama, T., Notsu, Y., Notsu, S., Honda, S., Nogami, D. ve Shibata, K. 2015. Statistical properties of superflares on solar-type stars based on 1-min cadence data. *Earth, Planets and Space*, 67, 59.
- MAST. 2018. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST). Space Telescope Science Institute. <https://archive.stsci.edu/>, Erişim Tarihi: 01.08.2025.
- Matt, S. ve Pudritz, R. E. 2008. Accretion-powered stellar winds. II. Numerical solutions for stellar wind torques. *The Astrophysical Journal*, 678(2), 1109-1118.
- Meibom, S. ve Mathieu, R. D. 2005. A robust measure of tidal synchronization in solar-type binary stars. *The Astrophysical Journal*, 620(2), 970-983.

- Mamajek, E. E. ve Hillenbrand, L. A. 2008. Improved age estimation for solar-type dwarfs using activity-rotation diagnostics. *The Astrophysical Journal*, 687(2), 1264-1293.
- Marcy, G. W. ve Chen, G. H. 1992. Radial velocity of Proxima Centauri and flares on late-type stars. *The Astrophysical Journal*, 390(1), 550-560.
- Miesch, M. S. 2005. Large-scale dynamics of the solar convection zone and tachocline. *Living Reviews in Solar Physics*, 2(1), 1.
- Miesch, M. S. ve Toomre, J. 2009. Turbulence, magnetism, and shear in stellar interiors. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 47, 317-350.
- Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST). 2025. MAST portalı: Kepler ve TESS verileri. Space Telescope Science Institute. <https://archive.stsci.edu/missions-and-data/tess>, Erişim Tarihi: 01.08.2025.
- Moffatt, H. K. 1978. Magnetic field generation in electrically conducting fluids. Cambridge University Press, 343, Cambridge.
- Mohanty, S., Basri, G., Shu, F., Allard, F. ve Chabrier, G. 2002. Activity, rotation and dynamo in ultracool dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 571(1), 469-486.
- Mohanty, S. ve Basri, G. 2003. Rotation and activity in mid-M to L field dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 583(1), 451-472.
- Molnar, L. A., Van Noord, D. M., Kinemuchi, K., Smolinski, J. P., Alexander, C. E., Cook, E. M., Jang, B., Kobulnicky, H. A., Spedden, C. J. ve Steenwyk, S. D. 2017. Prediction of a red nova outburst in KIC 9832227. *The Astrophysical Journal Letters*, 840(1), L18. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa6af5>
- Motulsky, H. 2007. GraphPad Prism 5: Statistics Guide. GraphPad Software Inc., San Diego, California. <https://www.graphpad.com>
- Namekata, K., Davenport, J. R. A., Morris, B. M., Hawley, S. L., Aizawa, M., Notsu, Y., Maehara, H., Ikuta, K., Notsu, S., Honda, S., Ishii, T. T., Nogami, D. ve Shibata, K. 2020. Starspot distributions of solar-type stars observed with Kepler: Dependence on stellar rotation period. *The Astrophysical Journal*, 891(2), 103.
- NASA HEASARC. 2018. TESS Confirmed Planets Table. NASA High Energy Astrophysics Science Archive Research Center. <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/>, Erişim Tarihi: 01.08.2025.
- Notsu, Y., Maehara, H., Honda, S., Namekata, K., Notsu, S., Ishii, T. T., Ikuta, K., Nogami, D. ve Shibata, K. 2019. Do superflares occur on our Sun? A study of solar-type superflare stars using the Subaru high dispersion spectrograph. *The Astrophysical Journal*, 876(1), 58.

- Noyes, R. W., Hartmann, L. W., Baliunas, S. L., Duncan, D. K. ve Vaughan, A. H. 1984. Rotation, convection, and magnetic activity in lower main-sequence stars. *The Astrophysical Journal*, 279(2), 763-777.
- Odert, P., Leitzinger, M., Hanslmeier, A. ve Lammer, H. 2017. Stellar coronal mass ejections I: Estimating occurrence frequencies and mass-loss rates. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 472(1), 876-890.
- Osten, R. A. ve Wolk, S. J. 2015. Connecting flares and transient mass loss in active stars. *The Astrophysical Journal*, 809(1), 79.
- Osten, R. A. ve Bastian, T. S. 2006. Radio spectra of active stars. *The Astrophysical Journal*, 637(1), 1016-1033.
- Osten, R. A., Drake, S. A., Tueller, J., Cummings, J., Perri, M., Moretti, A. ve Covino, S. 2007. Nonthermal hard X-ray emission and iron K α emission from a superflare on II Pegasi. *The Astrophysical Journal*, 654(2), 1052-1067.
- Pavlenko, Ya. V., Evans, A., Banerjee, D. P. K., Southworth, J., Shahbandeh, M. ve Davis, S. 2018. Infrared spectroscopy of the merger candidate KIC 9832227. *Astronomy & Astrophysics*, 615, A120. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732228>
- Parker, E. N. 1955. Hydromagnetic dynamo models. *The Astrophysical Journal*, 122(1), 293-314.
- Pecaut, M. J. ve Mamajek, E. E. 2013. Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1), 9.
- Pettersen, B. R. 1989. A review of stellar flares and their characteristics. *Solar Physics*, 121(2), 299-316.
- Pizzolato, N., Maggio, A., Micela, G., Sciortino, S. ve Ventura, P. 2003. The stellar activity-rotation relationship in late-type dwarfs. *Astronomy and Astrophysics*, 397(1), 147-157.
- Pogson, N. 1856. Magnitudes of thirty-six of the minor planets for the first day of each month of the year 1857. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 17, 12-15.
- Priest, E. R. ve Forbes, T. G. 2002. The magnetic nature of solar flares. *Astronomy and Astrophysics Review*, 10(4), 313-377.
- Priest, E. R. ve Forbes, T. G. 2000. Magnetic reconnection: MHD theory and applications. Cambridge University Press, 612, Cambridge.
- Reiners, A. ve Basri, G. 2008. Chromospheric activity, rotation, and magnetic field in M and L dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 684(2), 1390-1403.

- Reiners, A. ve Basri, G. 2010. On the magnetic topology of partially and fully convective stars. *The Astrophysical Journal*, 710(2), 924-935.
- Reiners, A. 2012. Observations of cool-star magnetic fields. *Living Reviews in Solar Physics*, 9(1), 1.
- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., Latham, D. W., Bakos, G. Á., Bean, J. L., Berta-Thompson, Z. K., Brown, T. M., Buchhave, L., Butler, N. R., Butler, R. P., Chaplin, W. J., Charbonneau, D., Christensen-Dalsgaard, J., Clampin, M., Deming, D., Doty, J., De Lee, N., Dressing, C., Dunham, E. W., Endl, M., Fressin, F., Ge, J., Henning, T., Holman, M. J., Howard, A. W., Ida, S., Jenkins, J. M., Jernigan, G., Johnson, J. A., Kaltenegger, L., Kawai, N., Kjeldsen, H., Laughlin, G., Levine, A. M., Lin, D., Lissauer, J. J., MacQueen, P., Marcy, G., McCullough, P. R., Morton, T. D., Narita, N., Paegert, M., Palte, E., Pepe, F., Pepper, J., Quirrenbach, A., Rinehart, S. A., Sasselov, D., Sato, B., Seager, S., Sozzetti, A., Stassun, K. G., Sullivan, P., Tinetti, G. ve Torres, G. 2015. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1(1), 014003.
- Robrade, J. 2010. Quiescent and flaring X-ray emission from the nearby M/T dwarf SCR 1845. *Astronomy and Astrophysics*, 513, A12.
- Rodonò, M. 1986. Flares on red dwarf stars. In: Linsky, J. L. ve Stencel, R. E. (eds.) *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun. Lecture Notes in Physics*, 254, 365-371. Springer, Berlin.
- Rodonò, M. 1987. Rotational modulation and flares on RS CVn and BY Draconis-type stars. *Astronomy and Astrophysics*, 176, 267-276.
- Roettenbacher, R. M. ve Vida, K. 2018. Correlations between starspots and flares on active stars. *The Astrophysical Journal*, 868(1), 3.
- Ruciński, S. M. ve Vilhu, O. 1983. IUE observations of W UMa-type stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 202(4), 1221-1234.
- Sánchez, S., Fournier, A., Pinheiro, K. J. ve Aubert, J. 2014. A mean-field Babcock–Leighton solar dynamo model with long-term variability. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(1), 11-26.
- Schmidt, S. J., Hawley, S. L., West, A. A., Bochanski, J. J., Davenport, J. R. A., Ge, J. ve Schneider, D. P. 2015. The Sloan Digital Sky Survey DR7 spectroscopic M dwarf catalog II: Exploration of magnetic activity and a search for flare stars. *The Astronomical Journal*, 149(5), 158.
- Schrijver, C. J. ve Zwaan, C. 2000. *Solar and stellar magnetic activity*. Cambridge University Press, 380, Cambridge.

- Schrijver, C. J. 2009. Driving major solar flares and eruptions: A review. *Advances in Space Research*, 43(5), 739-755.
- Schrijver, C. J. ve Zwaan, C. 2000. *Solar and stellar magnetic activity*. Cambridge University Press, 380, Cambridge.
- Segura, A., Walkowicz, L. M., Meadows, V., Kasting, J. ve Hawley, S. 2010. The effect of a strong stellar flare on the atmospheric chemistry of an Earth-like planet orbiting an M dwarf. *Astrobiology*, 10(7), 751-771.
- Selam, O. S. 2022. Ders notları: Soğuk yıldızların üst atmosferleri (yayınlanmamış ders notu). Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, Ankara.
- Shibayama, T., Maehara, H., Notsu, S., Notsu, Y., Nagao, T., Honda, S., Ishii, T. T., Nogami, D. ve Shibata, K. 2013. Superflares on solar-type stars observed with Kepler. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 209(1), 5.
- Shibata, K. ve Magara, T. 2011. Solar flares: Magnetohydrodynamic processes. *Living Reviews in Solar Physics*, 8(1), 6.
- Shibata, K., Isobe, H., Hillier, A., Choudhuri, A. R., Maehara, H., Ishii, T. T., Shibayama, T., Notsu, S., Notsu, Y., Nagao, T., Honda, S., Nogami, D. ve Suzuki, K. 2013. Can superflares occur on our Sun? *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 65(3), 49.
- Skumanich, A. 1972. Time scales for Ca II emission decay, rotational braking, and lithium depletion. *The Astrophysical Journal*, 171, 565-567.
- Spanier, J., ve Oldham, K. B. 1987. *An Atlas of Functions*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, D.C. ISBN: 978-0891165779.
- Stassun, K. G., Kratter, K. M., Scholz, A. ve Dupuy, T. J. 2012. An empirical correction for activity effects on the temperatures, radii, and masses of low-mass stars and brown dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 756(1), 47.
- Stassun, K. G., Oelkers, R. J., Paegert, M., Torres, G., Pepper, J., De Lee, N., Collins, K., Latham, D. W., Muirhead, P. S., Narita, N., Rojas-Ayala, B., Fleming, S. W., Mullally, F., Manner, M., von Braun, K. ve Feiden, G. A. 2019. The TESS input catalog and candidate target list. *The Astronomical Journal*, 158(4), 138.
- Stelzer, B., Damasso, M., Scholz, A. ve Matt, S. P. 2016. A path towards understanding the rotation–activity relation of M dwarfs with K2 mission, X-ray and UV data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 463(2), 1844-1861.
- Stelzer, B., Bogner, M., Magaudda, E. ve Raetz, S. 2022. Flares and rotation of M dwarfs with habitable zones accessible to TESS planet detections. *Astronomy and Astrophysics*, 665, A30.

- Strassmeier, K. G. 2009, Starspots, *The Astronomy and Astrophysics Review*, 17, 251–308. <https://doi.org/10.1007/s00159-009-0020-6>
- Sturrock, P. A. 1966. Model of the high-energy phase of solar flares. *Nature*, 211, 695-697.
- Sullivan, P. W., Winn, J. N., Berta-Thompson, Z. K., Charbonneau, D., Deming, D., Dressing, C. D., Latham, D. W., Levine, A. M., McCullough, P. R., Morton, T. D., Ricker, G. R., Vanderspek, R., Woods, D., Bakos, G. Á., Jao, W.-C., Sasselov, D. D., Hartman, J. D., Eastman, J. D., Szkody, P., Kovács, G., Fischer, D. A., Laughlin, G. P., Lin, D., Johns-Krull, C. M., Bentley, R. O., Bosch, M. E., Calkins, M. L., Esquerdo, G. A., Everett, M., Holman, M. J., Howard, A. W., McLeod, K. K., Orosz, J. A., Palle, E., Narita, N., Benneke, B., Seager, S., Wang, S., Gaudi, B. S., Ogihara, M., Schlafman, K. C., Stassun, K. G., Barclay, T., Quintana, E. V., Raymond, S. N., Sliski, D. H., Tenenbaum, P., Torres, G., Twicken, J. D., Udry, S. ve Villaseñor, J. 2015. The Transiting Exoplanet Survey Satellite: Simulations of planet detections and astrophysical false positives. *The Astrophysical Journal*, 809(1), 77.
- Tarter, J. C., Backus, P. R., Mancinelli, R. L., Aurnou, J. M., Backman, D. E., Basri, G. S., Boss, A. P., Clarke, A., Deming, D., Doyle, L. R., Feigelson, E. D., Freund, F., Grinspoon, D. H., Haberle, R. M., Hauck, S. A., Heath, M. J., Henry, T. J., Hollingsworth, J. L., Joshi, M. M., Kilston, S., Liu, M. C., Meikle, E., Reid, I. N., Rothschild, L. J., Scalo, J., Segura, A., Tang, C. M., Tiedje, J. M., Turnbull, M. C., Walkowicz, L. M., Weber, A. L., Young, R. E., Quinn, T. ve Partridge, B. 2007. A reappraisal of the habitability of planets around M dwarf stars. *Astrobiology*, 7(1), 30-65.
- TESS Input Catalog v8.2 (VizieR IV/39). 2022. NASA Goddard Space Flight Center, MAST Archive. Erişim Tarihi: 09.10.2025.
- TIC v8.2 (2019). TESS Input Catalog, version 8.2. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST). <https://archive.stsci.edu/tess/tic/> (Erişim tarihi: 27 Eylül 2025).
- Tilley, M. A., Segura, A., Meadows, V., Hawley, S. ve Davenport, J. 2019. Modeling repeated M-dwarf flaring at an Earth-like planet in the habitable zone: Atmospheric effects for an unmagnetized planet. *Astrobiology*, 19(1), 64-86.
- Torres, G. ve Ribas, I. 2002. Accurate masses and radii of normal stars: Modern results and applications. *The Astrophysical Journal*, 567(2), 1140-1164.
- Vaiana, G. S., Cassinelli, J. P., Fabbiano, G., Giacconi, R., Golub, L., Gorenstein, P., Haisch, B. M., Harnden, F. R., Johnson, H. M., Linsky, J. L., Maxson, C. W., Mewe, R., Rosner, R., Seward, F., Topka, K., Zwaan, C., Richard, D., Zombeck, M. ve Katz, J. 1981. Results from an extensive Einstein stellar survey. *The Astrophysical Journal*, 245(1), 163-182.

- van Saders, J. L., Ceillier, T., Metcalfe, T. S., Silva Aguirre, V., Pinsonneault, M. H., García, R. A. ve Mathur, S. 2016. Weakened magnetic braking as the origin of anomalously rapid rotation in old field stars. *Nature*, 529, 181-184.
- Vasilyev, V., Reinhold, T., Shapiro, A. I., Krivova, N. A., Usoskin, I., Montet, B. T., Solanki, S. K. ve Gizon, L. 2022. Solar-like magnetic activity trends across the Hertzsprung–Russell diagram from Kepler. *Astronomy and Astrophysics*, 668, A167.
- Vida, K., Kővári, Z., Pál, A., Oláh, K. ve Kriskovics, L. 2017. Frequent flaring in the TRAPPIST-1 system—unsuitable for life? *The Astrophysical Journal Letters*, 841(2), L25.
- VizieR (2017). Kepler Input Catalog (KIC) DR25 stellar parameters. VizieR Online Data Catalog. CDS, Strasbourg, France. <https://vizier.u-strasbg.fr> (Erişim tarihi: 27 Eylül 2025).
- Walkowicz, L. M. ve Hawley, S. L. 2009. A catalog of flaring M dwarfs in SDSS Stripe 82. *The Astronomical Journal*, 137(9), 3297-3313.
- Walkowicz, L. M., Basri, G., Batalha, N., Gilliland, R. L., Jenkins, J., Borucki, W. J., Koch, D., Caldwell, D., Dupree, A. K., Latham, D. W., Meibom, S., Howell, S. B., Brown, T. M., Bryson, S. T., Dotter, A., Haas, M. R., Kolodziejczak, J., Rowe, J. F., Still, M., Barclay, T., Bloom, J. S., Christiansen, J. L., Clarke, B. D., Cochran, W. D., Demory, B. O., DeVore, E., Doyle, L., Esquerdo, G. A., Everett, M., Fressin, F. ve Gautier, T. N. 2011. Kepler activity measurements: Stellar activity and variability among Kepler target stars. *The Astronomical Journal*, 141(2), 50.
- Weber, E. J. ve Davis, L. Jr. 1967. The angular momentum of the solar wind. *The Astrophysical Journal*, 148(1), 217-227.
- Wenger, M., Ochsenbein, F., Egret, D., Dubois, P., Bonnarel, F., Borde, S., Genova, F., Jasiewicz, G., Laloë, S., Lesteven, S. ve Monier, R. 2000. The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 143(1), 9-22.
- West, A. A., Weisenburger, K. L., Irwin, J., Berta-Thompson, Z. K., Charbonneau, D., Dittmann, J., Pineda, J. S., Mandel, K. S., Green, T. ve Esquerdo, G. A. 2015. The Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 spectroscopic M dwarf catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 219(1), 12.
- Wilson, T. L., Rohlfs, K. ve Hüttemeister, S. 2013. *Tools of radio astronomy* (6th ed.). Springer, 600, Berlin.
- Wilson, R. E. ve Devinney, E. J. 1971. Realization of accurate elements for close binary stars. *The Astrophysical Journal*, 166, 605-619.

- Wright, N. J., Drake, J. J., Mamajek, E. E. ve Henry, G. W. 2011. The stellar–activity–rotation relationship and the evolution of stellar dynamos. *The Astrophysical Journal*, 743(1), 48.
- Yang, H., Liu, J., Gao, Q., Fang, X., Li, Y. ve Cao, L. 2018. A machine-learning-based automated flare detection algorithm for solar H α image sequences. *The Astrophysical Journal*, 859(2), 87.
- Yoldaş, E. ve Dal, H. A. 2022. OPEA modeli ile Güneş aktivitesinde X-ışın flare davranışının belirlenmesi. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3(Special Issue 3), 10-14.
- Zahn, J. P. 1977. Tidal friction in close binary stars. *Astronomy and Astrophysics*, 57(3), 383-394.

EKLER

EK 1 Açılış Ekranı

EK 2 Flare Tespit Ekranı

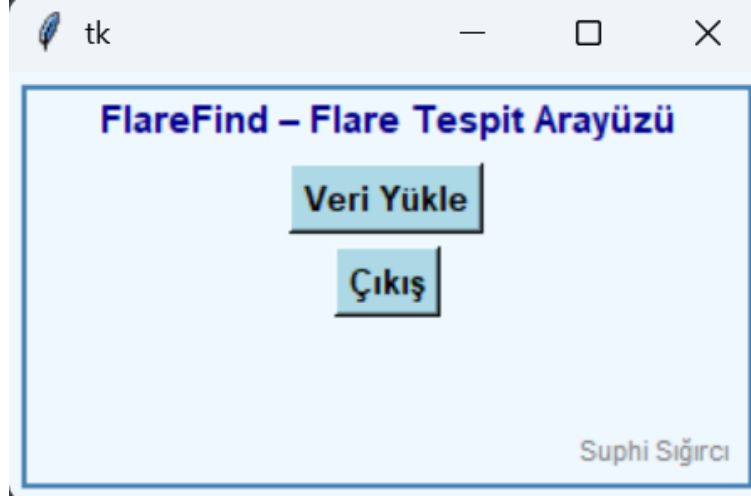
EK 3 Flare Listesi, ED Hesaplama ve Flare Silme Ekranı

EK 4 Zaman Oran Ekranı – Süre ve Fp/Fq Analizi

EK 5 Flare Analizi ve Yorumlar

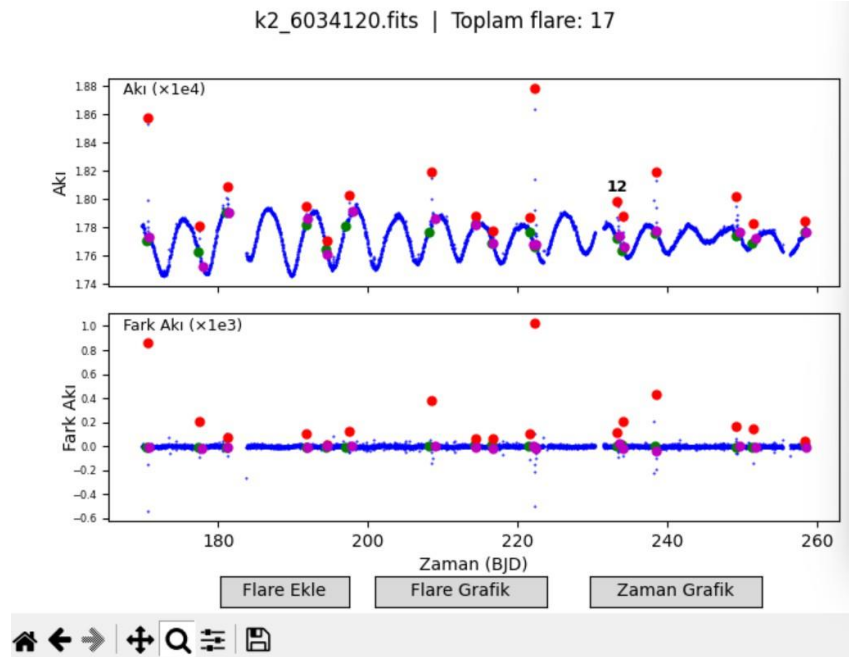
EK 6 *FlareFind* Yazılım Bileşenleri ve Çalıştırma

EK 1 Açılış Ekranı



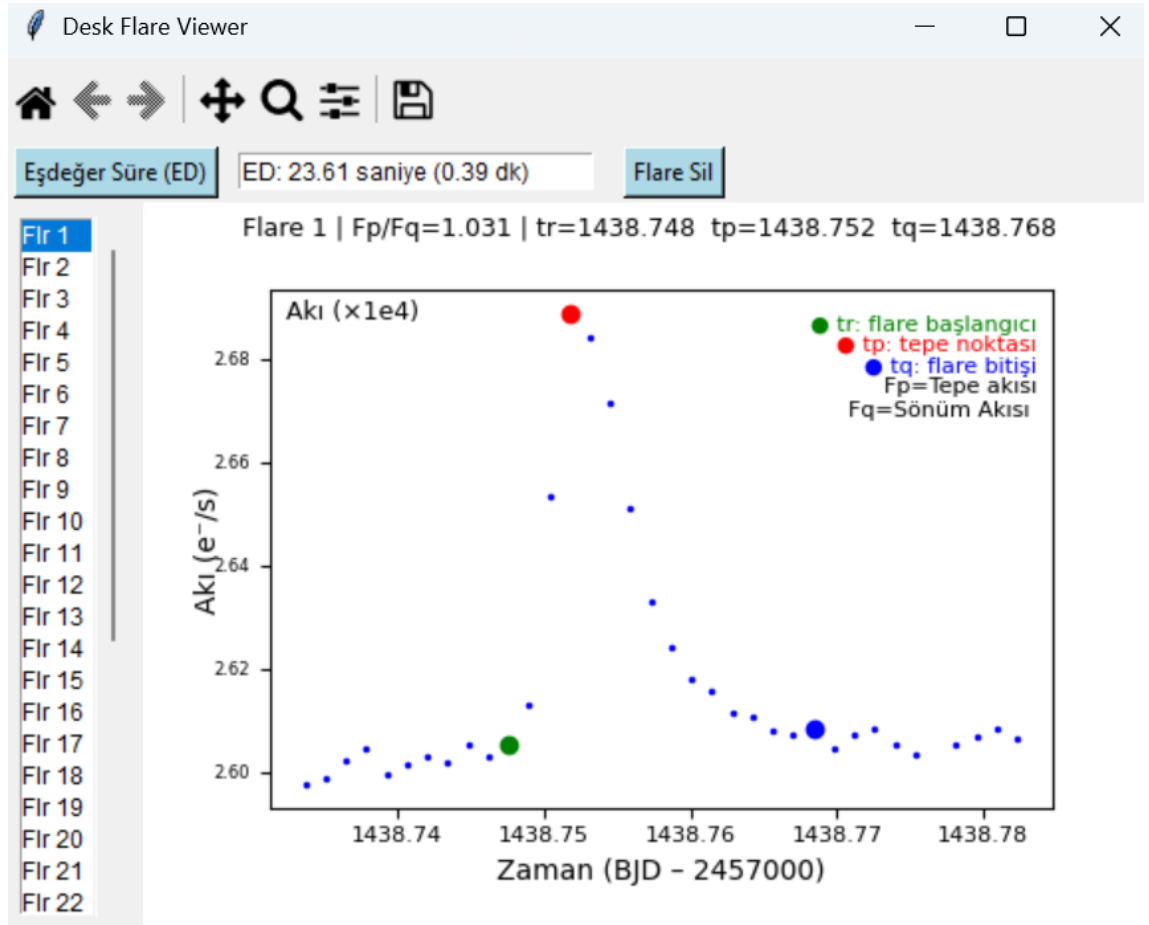
FlareFind programının kullanıcı arayüzü. Açılış ekranında veri yükleme ve çıkış seçenekleri yer almaktadır

EK 2 Flare Tespit Ekranı



Kullanıcı bir veri dosyası yüklediğinde, akı ve akı-farkı grafiklerinin yer aldığı tespit ekranı açılır. Bu ekranda belirlenen flare olayları görsel olarak işaretlenmiş biçimde gösterilmektedir. Ayrıca Flare Ekle seçeneği ile yeni bir flare tanımlanabilir; Flare Grafik seçeneği grafik ekranını, Zaman Grafik seçeneği ise flare yükselme ve sönümlenme sürelerini gösteren grafik ekranını açar

EK 3 Flare Listesi, ED Hesaplama ve Flare Silme Ekranı



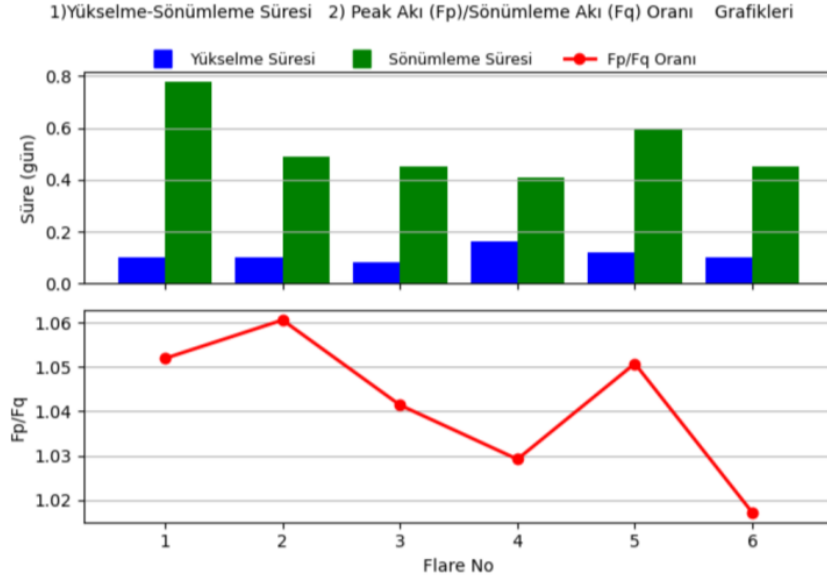
Tespit edilen flare olaylarının listelendiği ve grafiksel olarak gösterildiği ekran. Her bir flare için başlangıç (tr), tepe (tp) ve sönümlenme (tq) noktaları grafik üzerinde işaretlenmiş olup, kullanıcı seçilen flare'ın zamanlama parametrelerini anında doğrulayabilmektedir

Kullanıcı bu ekranda aşağıdaki işlemleri gerçekleştirebilmektedir:

- Listeden bir flare seçildiğinde, ilgili grafik anında güncellenir.
- Eşdeğer süre (ED) otomatik olarak hesaplanır ve bilgi kutusunda görüntülenir.
- İstenmeyen flare, Flare Sil seçeneğiyle analizden çıkarılabilir.

Bu arayüz, görsel doğrulama, ED ölçümü ve veri temizleme işlemlerini tek ortamda bir araya getirmektedir.

EK 4 Zaman Oran Ekranı – Süre ve Fp/Fq Analizi



Zaman oranı ekranı, flare olaylarının zamansal özelliklerini ve göreceli güçlerini görsel olarak incelemek amacıyla tasarlanmıştır

Ekran iki bölümden oluşmaktadır:

- Üst panel: Mavi sütunlar yükselme sürelerini ($t_r - t_p$), yeşil sütunlar ise sönümlleme sürelerini ($t_p - t_q$) göstermektedir. Bu yapı, flare olayının yükselme hızı ile sönümlleme süresinin karşılaştırılmasına olanak tanır.
- Alt panel: Kırmızı çizgi ve noktalar, tepe akısı (Fp) ile sönümlleme akısı (Fq) arasındaki Fp/Fq oranını göstermektedir. Bu oran, flare olayının göreceli gücünü ortaya koyar ve gürültü kaynaklı düşük genlikli olayların ayırt edilmesinde önemli bir parametredir.

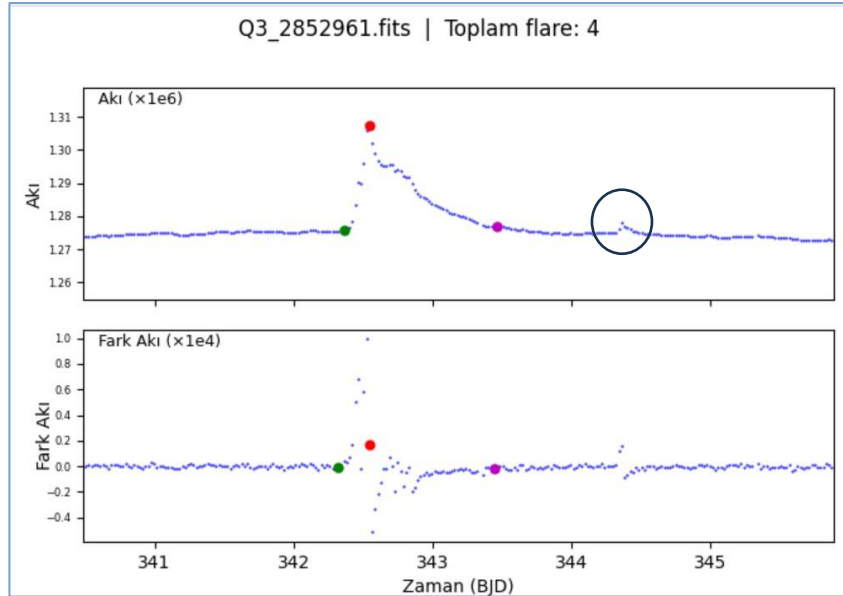
Bu ekrandan elde edilen temel parametreler şunlardır:

- Yükselme süresi ($t_r - t_p$)
- Sönümlleme süresi ($t_p - t_q$)
- Zaman oranı ($(t_p - t_q)/(t_r - t_p)$)
- Tepe akısı (Fp)
- Sönümlleme akısı (Fq)
- Fp/Fq oranı

Bu parametrelerin topluca görselleştirilmesi, çok sayıda flare içeren veri kümelerinde istatistiksel dağılımların ve genel eğilimlerin kolayca incelenmesine olanak tanımaktadır.

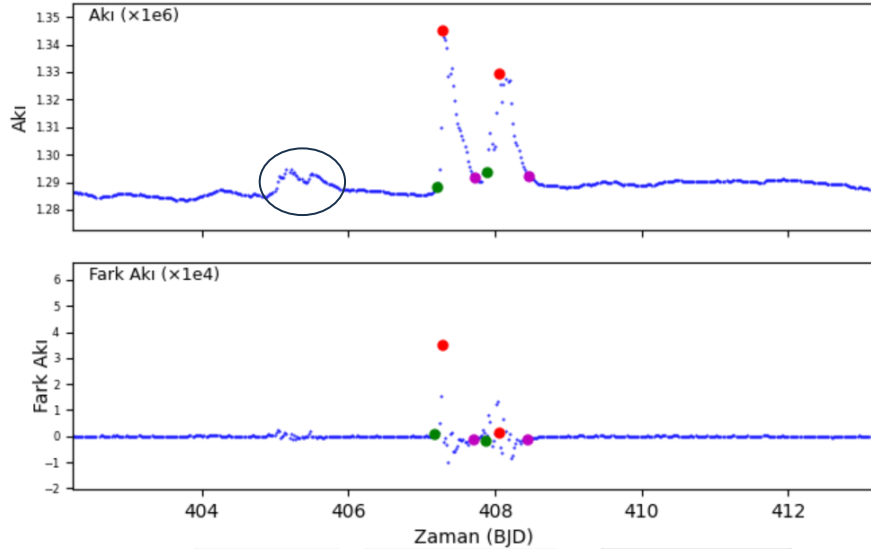
EK 5 Flare Analizi ve Yorumlar

Bu ekte, Çizelge 3.2’de yer alan ve *FlareFind* tarafından tespit edilemeyen 9 flare (9, 13, 22, 23, 28, 42, 44, 45 ve 58 numaralı flare’ler) ile zamanlama açısından tek kadanslık kayma gösteren 48 numaralı flare’in ışık eğrisi kesitleri sunulmuştur. Kővári vd. (2020) çalışmasında bu hedef için toplam 59 flare rapor edilmiştir. *FlareFind* algoritması ile yapılan analizde bu olayların 50’si tespit edilmiş, bunlardan 49’u tam eşleşme, 1’i ise Kepler uzun kadans zaman çözünürlüğü nedeniyle tek kadanslık kayma ile “LC-uyumlu” olarak sınıflandırılmıştır. Buna karşılık, arşivde rapor edilmiş ancak *FlareFind* tarafından doğrulanamayan 9 flare, düşük genlikleri ve kısa süreleri nedeniyle algoritmanın uyguladığı flare koşullarını karşılayamamıştır. Her şeklin altında ilgili flare numarası ve değerlendirme sonucu belirtilmiş, böylece algoritmanın arşiv verileriyle genel uyumu ve sınır durumlarda ortaya çıkan farklılıklar görsel olarak ortaya konmuştur (Kővári vd. 2020).

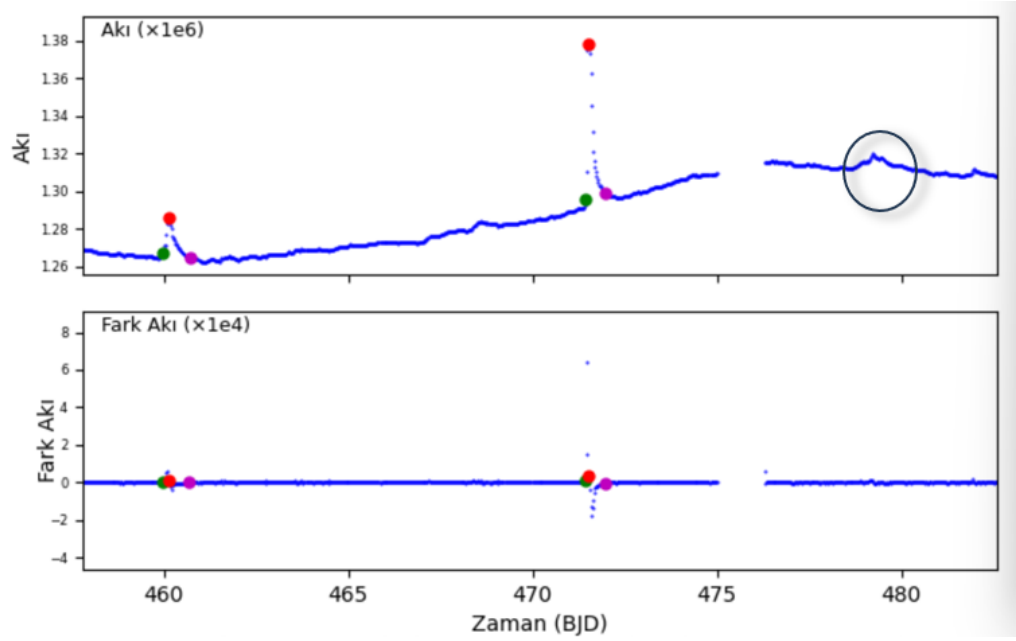


KIC2852961’de arşivde raporlanan 8 ve 9 numaralı olaylara ait ışık eğrisi kesiti. BKJD ≈ 342.548 ’deki 8 numaralı flare belirgin olup *FlareFind* tarafından da tespit edilmiştir. Buna karşılık BKJD ≈ 344.367 ’deki 9 numaralı flare çok zayıf görüldüğü için *FlareFind* tarafından doğrulanmamıştır

Q4_2852961.fits | Toplam flare: 6

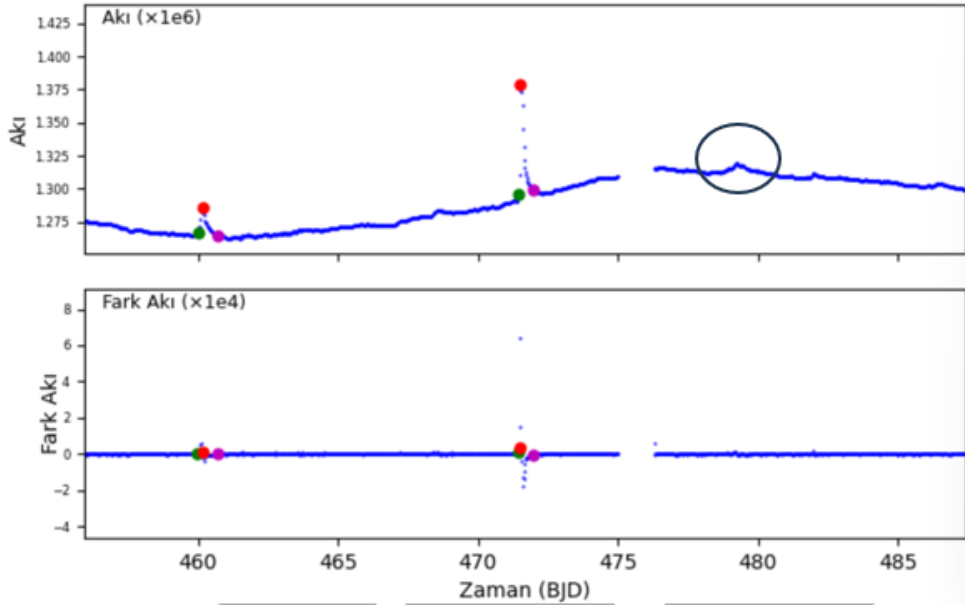


KIC2852961’de arşivde raporlanan 13 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 405.156 ’da bir flare olarak belirtilen bu sinyal çok zayıf görüldüğü için *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir



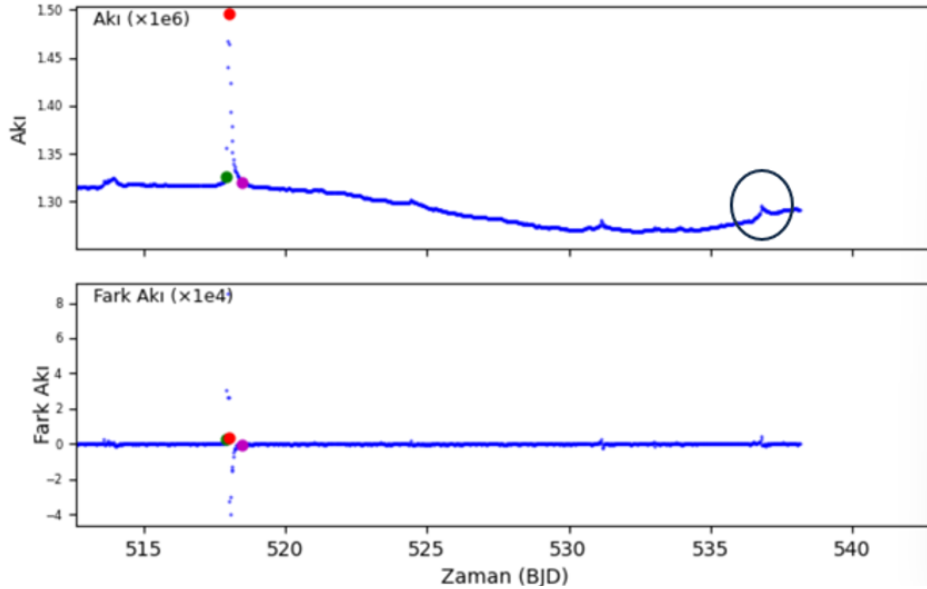
KIC2852961’de arşivde raporlanan 22 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 479.230 ’da bir flare olarak belirtilen bu sinyal çok zayıf görüldüğü için *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir

Q5_2852961.fits | Toplam flare: 6

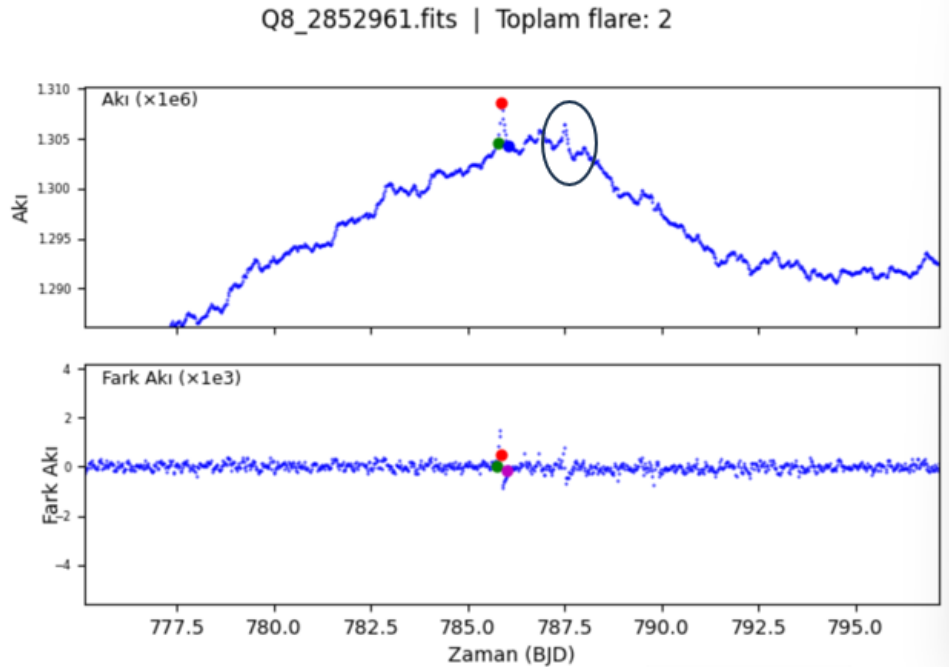


KIC2852961’de 23 arşivde raporlanan 23 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 481.968 ’de bildirilen bu sinyal yalnızca çok küçük bir çıkıntı şeklinde görüldüğünden belirgin bir flare yapısı göstermemekte ve *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir

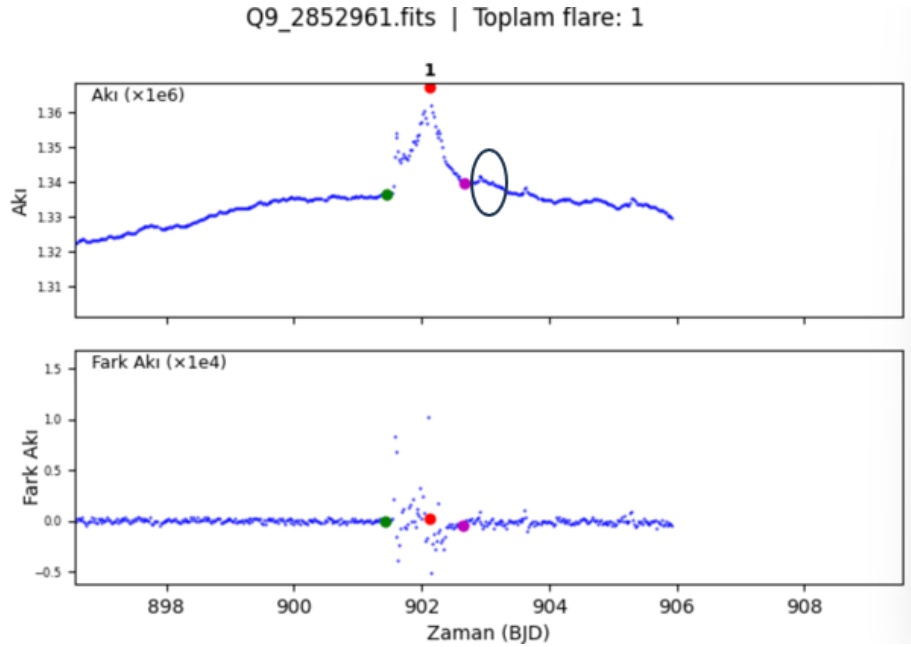
Q5_2852961.fits | Toplam flare: 6



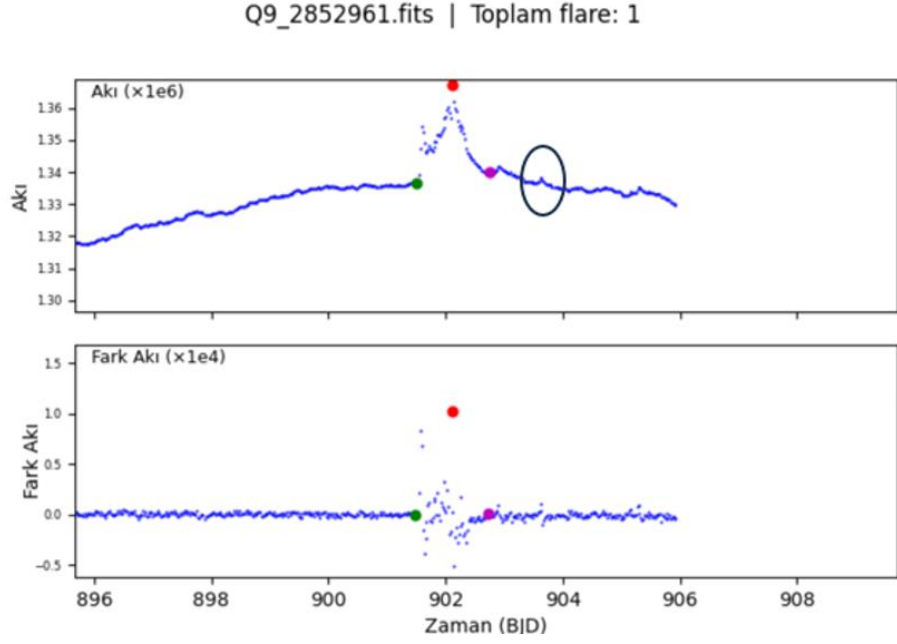
KIC2852961’de arşivde raporlanan 28 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 536.794 ’te bildirilen bu sinyal yalnızca çok küçük bir çıkıntı şeklinde görüldüğü için belirgin bir flare yapısı sergilememekte ve *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir



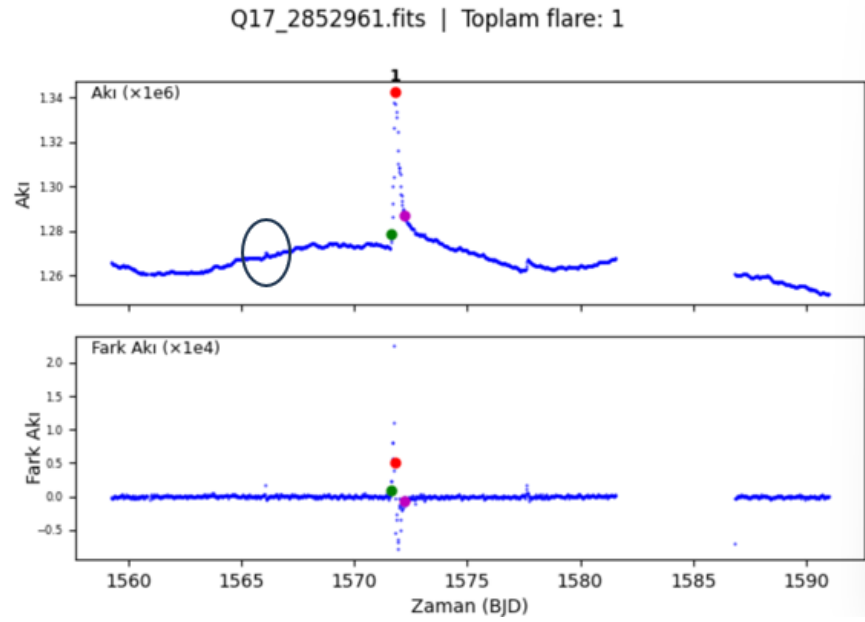
Arşivde raporlanan 42 numaralı flare'e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 787.489 'da bildirilen bu sinyal yalnızca çok küçük bir çıkıntı olarak görünmekte ve belirgin bir flare yapısı sergilemediği için *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir.



KIC2852961'de arşivde raporlanan 44 numaralı flare'e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 902.923 'te bildirilen bu sinyal yalnızca çok küçük bir çıkıntı olarak görünmekte ve belirgin bir flare yapısı sergilemediği için *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir

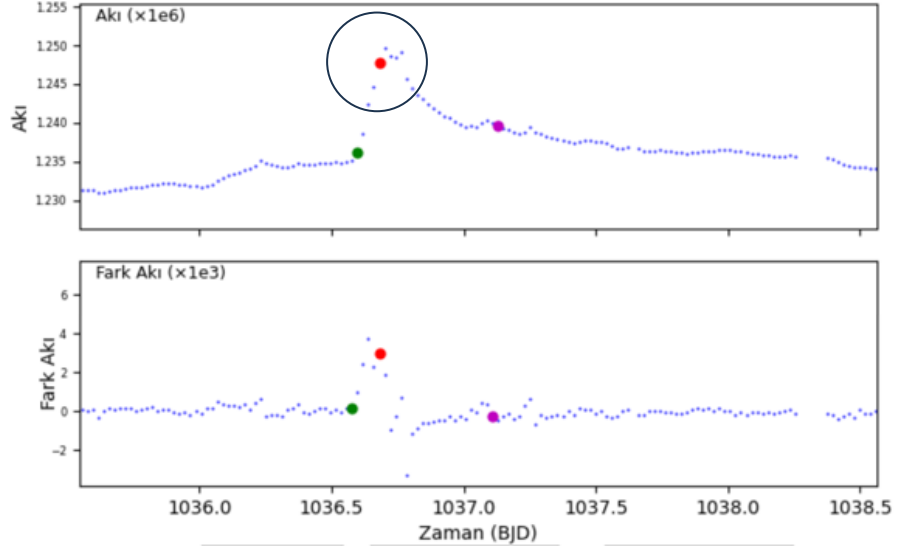


KIC2852961’de arşivde raporlanan 45 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 903.638 ’de bildirilen bu sinyal çok zayıf bir çıkıntı şeklinde olup belirgin bir flare yapısı göstermediği için *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir



KIC2852961’de arşivde raporlanan 58 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 1566.071 ’de bildirilen bu sinyal yalnızca çok küçük bir çıkıntı şeklinde görüldüğünden belirgin bir flare yapısı sergilememektedir. Bu nedenle *FlareFind* tarafından tespit edilememiştir

Q11_2852961.fits | Toplam flare: 2



KIC2852961’de arşivde raporlanan 48 numaralı flare’e ait ışık eğrisi kesiti. Arşivde BKJD ≈ 1036.700 ’de bildirilen bu flare, *FlareFind* tarafından da tespit edilmiştir. Ancak TP zamanı arşivdeki değerle karşılaştırıldığında tek kadanslık ($\Delta t \approx 0.020$ gün) bir fark bulunmuştur. Bu nedenle LC-uyumlu flare olarak değerlendirilmiştir. TP noktasının *FlareFind* tarafından arşive göre biraz farklı seçilmesinin nedeni, uzun kadans çözünürlüğünün sınırlı olması ve tepe yapısının tam olarak simetrik olmamasıdır

EK 6 *FlareFind* Yazılım Bileşenleri ve Çalıştırma

FlareFind yazılımı Python tabanlı modüler bir yapıda tasarlanmıştır. Tüm kaynak dosyalar aynı klasörde çalışacak şekilde yapılandırılmış olup görev dağılımı aşağıdaki gibidir:

1. **flarefind_main.py** – Uygulamayı başlatan ana grafik arayüzdür. Veri yükleme, flare tespiti ve görüntüleme işlemleri bu modül üzerinden yönetilir.
2. **desk.py** – Veri yükleme, ön işleme, kadans hesaplama ve modüller arası akış kontrolünü sağlar.
3. **desk_flr.py** – Akı-farkı yaklaşımına dayanan flare tespitini gerçekleştiren çekirdek algoritmayı içerir.
4. **ekle_sil.py** – Kullanıcının flare ekleme, silme ve düzenleme işlemlerini etkileşimli olarak yapabildiği arayüz modülüdür.
5. **desk_flr_viewer.py** – Kaydırma çubuklu (scrollbar destekli) geniş ölçekli flare görüntüleyici; tespit edilen tüm flare’lerin tek ekranda senkronize olarak incelenmesini sağlar.
6. **zaman.py** – Flare zamanlaması, frekans dağılımı ve istatistiksel grafiklerin oluşturulduğu modüldür.

Uyumlu Python sürümleri: 3.9–3.12 olup geliştirme ve testler Python 3.11 üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Gerekli kütüphaneler (pip ile kurulabilir): NumPy, Matplotlib, Pillow, SciPy, Astropy. Tüm modüller standart pip dağıtımında bulunmaktadır.

Arayüz gereksinimi: Tkinter’in sistemde kurulu olması gerekir. Windows’ta varsayılan olarak bulunur; Linux için paket yöneticisi aracılığıyla kurulabilir.

Çalıştırma: Uygulama, proje klasöründe bulunan **flarefind_main.py** dosyası çalıştırılmasıyla başlatılır.

```

# flarefind_main.py
import tkinter as tk
from PIL import Image, ImageTk
import matplotlib
matplotlib.use('TkAgg')
import matplotlib.pyplot as plt

from desk import desk_callback

def main():
    def cikis_yap():
        plt.close('all')
        root.destroy()

    root = tk.Tk()

    # Pencere konumu
    pencere_genislik = 300
    pencere_yukseklik = 170
    ekran_genislik = root.winfo_screenwidth()
    ekran_yukseklik = root.winfo_screenheight()
    x_konum = ekran_genislik - pencere_genislik
    y_konum = ekran_yukseklik - pencere_yukseklik - 80

    root.geometry(f'{pencere_genislik}x{pencere_yukseklik}+{x_konum}+{y_konum}')

    root.attributes("-topmost", True)
    root.configure(bg="#f0f8ff") # Açık mavi

    # Ana çerçeve
    frame_main = tk.Frame(root, bg="#f0f8ff", highlightbackground="steelblue",
        highlightthickness=2)
    frame_main.pack(fill="both", expand=True, padx=5, pady=5)

    # En üstte flare resmi (opsiyonel)
    try:
        flare_img = Image.open("flare.png").resize((90, 90), Image.ANTIALIAS)
        flare_tk = ImageTk.PhotoImage(flare_img)
        label_icon = tk.Label(frame_main, image=flare_tk, bg="#f0f8ff")
        label_icon.image = flare_tk
        label_icon.pack(pady=(0, 0))
    except Exception:
        pass

    # Başlık
    label_baslik = tk.Label(frame_main, text="FlareFind – Flare Tespit Arayüzü",
        font=("Arial", 11, "bold"), bg="#f0f8ff", fg="darkblue")
    label_baslik.pack(pady=(0, 5))

```

```

# Veri Yükle
label_durum = tk.Label(frame_main, text="", foreground="black", bg="#f0f8ff",
font=("Arial", 9))
btn_desk = tk.Button(frame_main, text="Veri Yükle",
                      command=lambda: desk_callback(root, label_durum),
                      font=("Arial", 10, "bold"), bg="lightblue")
btn_desk.pack(pady=(0, 5))

# Çıkış
btn_cikis = tk.Button(frame_main, text="Çıkış", command=cikis_yap,
                      font=("Arial", 10, "bold"), bg="lightblue")
btn_cikis.pack(pady=(0, 8))

# Durum etiketi
label_durum.pack()

# İmza
label_sahip = tk.Label(frame_main, text="Suphi Sığırcı",
                      font=("Arial", 8), fg="gray", bg="#f0f8ff")
label_sahip.pack(side="bottom", anchor="se", padx=5, pady=(0, 3))

# Veri adı etiketi
label_veri = tk.Label(frame_main, text="", fg="black", bg="#f0f8ff")
label_veri.pack()

root.mainloop()

if __name__ == "__main__":
    main()

```

#desk.py

```

import os
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from tkinter import filedialog
from astropy.io import fits
from numpy import trapz

import desk_flr
import desk_flr_viewer
import ekle_sil

```

```

# -----
# Dalgalı veri tespiti: yalnızca aday üretim eşliğini etkiler (k adaptasyonu)
# -----

```

```

def detect_dalgali(zmn, aki,
                  trend_sigma_mul=1.6,
                  trend_frac_min=0.006,
                  var_explained_min=0.18,
                  lf_power_frac_min=0.45,
                  zcr_max=0.38,
                  roll_iqr_ratio_min=1.4):
    aki = np.asarray(aki, float)
    zmn = np.asarray(zmn, float)
    n = len(aki)
    if n < 60 or not np.isfinite(aki).all():
        return False

    # örnekleme aralığı (dk)
    diffs = np.diff(zmn)
    diffs = diffs[np.isfinite(diffs)]
    if diffs.size == 0:
        return False
    dt_min = float(np.median(diffs)) * 1440.0

    # 6 saatlik smooth penceresi
    win = int(max(7, min(101, round(360.0 / max(dt_min, 1e-6)))))
    if win % 2 == 0:
        win += 1

    box = np.ones(win) / win
    pad = np.pad(aki, (win // 2, win // 2), mode="edge")
    smooth = np.convolve(pad, box, mode="valid")
    resid = aki - smooth

    # robust sigma
    med_r = float(np.median(resid))
    mad = float(np.median(np.abs(resid - med_r)))
    sigma = 1.4826 * mad if mad > 0 else float(np.std(resid))

    # güçlü aday (eski mantık)
    p5, p95 = np.percentile(smooth, [5, 95])
    trend_amp = float(p95 - p5)
    med_flux = float(np.median(aki)) if np.isfinite(np.median(aki)) else 1.0
    strong_candidate = (trend_amp >= trend_sigma_mul * max(sigma, 1e-12)) and \
        ((trend_amp / max(med_flux, 1e-12)) >= trend_frac_min)

    # teyit metrikleri
    import numpy.fft as _fft
    var_tot = float(np.var(aki))
    var_res = float(np.var(resid))
    var_explained = max(var_tot - var_res, 0.0) / max(var_tot, 1e-12)

```

```

x = aki - np.mean(aki)
F = _fft.rfft(x)
P = np.abs(F) ** 2
if P.sum() <= 0:
    return False
freqs = _fft.rfftfreq(len(x), d=max(dt_min, 1e-6)) # 1/dk
lf = P[freqs <= (1.0 / 180.0)].sum() / P.sum() # >3 saat

s = np.signbit(resid[1:]) != np.signbit(resid[:-1])
zcr = float(np.mean(s))

# zayıf-trend modu
weak_amp_frac_min = 0.006
weak_ok = ((trend_amp / max(med_flux, 1e-12)) >= weak_amp_frac_min) and \
    (var_explained >= max(0.20, 0.8 * var_explained_min)) and \
    (lf >= max(0.70, lf_power_frac_min)) and \
    (zcr <= min(0.25, zcr_max))

# run sayısı düşük olsun
dsm = np.diff(smooth)
if dsm.size:
    sign_changes = np.sum(np.sign(dsm[1:]) != np.sign(dsm[:-1]))
    weak_ok = weak_ok and (sign_changes <= max(2, n // 800))

# spike yoğunluğu ve basamak
if sigma > 0:
    spike_mask = resid > (4.0 * sigma)
    spike_run = (spike_mask[1:] & spike_mask[:-1]).sum()
    if (spike_run / max(1, n)) >= 0.003:
        return False

d1 = np.diff(smooth)
if d1.size:
    if (np.percentile(np.abs(d1), 95) * 2.0) > trend_amp:
        return False

# Yuvarlanan IQR teyidi
small_win = int(max(5, round(120.0 / max(dt_min, 1e-6))))
if small_win % 2 == 0:
    small_win += 1
if small_win < n:
    step = max(1, small_win // 2)
    iqrs = []
    for i in range(0, n - small_win + 1, step):
        seg = smooth[i:i + small_win]
        q25, q75 = np.percentile(seg, [25, 75])
        iqrs.append(q75 - q25)
    roll_iqr_med = float(np.median(iqrs)) if iqrs else 0.0

```

```

roll_iqr_ratio = roll_iqr_med / max(sigma, 1e-12)
if roll_iqr_ratio < roll_iqr_ratio_min:
    return False

return bool((strong_candidate or weak_ok) and
            (var_explained >= var_explained_min) and
            (lf >= lf_power_frac_min) and
            (zcr <= zcr_max))

def to_float_array(arr):
    return np.array(pd.to_numeric(arr, errors='coerce'))

# -----
# Post-filtre: sahte dalga/tepe eleme + decay>=rise zorunluluğu (yumuşak)
# -----
def sahte_flareleri_ele(zmn, aki, tr_list, tp_list, tq_list):
    yeni_tr, yeni_tp, yeni_tq = [], [], []

    # kadans (dk)
    try:
        dt_min = float(np.median(np.diff(zmn)) * 1440.0)
    except Exception:
        dt_min = np.nan
    if not np.isfinite(dt_min) or dt_min <= 0:
        dt_min = 2.0

    # ~3 saatlik smooth → residual
    win = int(round(max(7, min(301, 180.0 / max(dt_min, 1e-6)))))
    if win % 2 == 0:
        win += 1
    box = np.ones(win, dtype=float) / win
    pad = np.pad(aki, (win // 2, win // 2), mode="edge")
    smooth = np.convolve(pad, box, mode="valid")
    resid = aki - smooth

    # Baskın periyot (örnek cinsinden)
    try:
        import numpy.fft as _fft
        _x = aki - np.mean(aki)
        _F = _fft.rfft(_x)
        _P = np.abs(_F) ** 2
        _freqs = _fft.rfftfreq(len(_x), d=max(dt_min, 1e-6))
        if _P.size > 1 and _P[1:].sum() > 0:
            _fdom = _freqs[1:][np.argmax(_P[1:])]
            Tdom_min = 1.0 / max(_fdom, 1e-9)
            Tdom_samples = int(max(1, round(Tdom_min / dt_min)))

```

```

else:
    Tdom_samples = None
except Exception:
    Tdom_samples = None

for tr, tp, tq in zip(tr_list, tp_list, tq_list):
    if tp >= len(aki) - 2 or tp < 2 or tq >= len(aki) or tr >= len(aki):
        continue

    # temel büyüklükler
    zemin = float(np.median(aki[max(0, tr - 10):tr + 1]))
    yukseklik = float(aki[tp] - zemin)
    sonumleme = float(aki[tp] - aki[tq])

    # küçük yükselişleri ele
    std_aki = float(np.std(aki[max(0, tr - 20):min(len(aki), tq + 1)]))
    if yukseklik < max(0.012, 0.6 * std_aki) and sonumleme < max(0.008, 0.45 *
std_aki):
        continue

    # tek-nokta spike vetosu
    soldan = float(aki[tp] - aki[tp - 1])
    sagdan = float(aki[tp] - aki[tp + 1])
    if yukseklik > 0 and (soldan > 0.65 * yukseklik and sagdan > 0.65 * yukseklik):
        d = np.diff(aki[tp:min(tq, tp + 6) + 1])
        if d.size == 0 or (-np.sum(np.minimum(d, 0.0)) < 0.25 * std_aki * max(1,
d.size)):
            continue

    # residual tabanlı dalga eleme (yüksek SNR bypass)
    preR = resid[max(0, tr - int(round(60.0 / max(dt_min, 1e-6)))):tr]
    res_sigma = float(np.std(preR)) if preR.size else float(np.std(resid))
    res_sigma = max(res_sigma, 1e-12)
    res_peak = float(resid[tp])

    preF = aki[max(0, tr - 10):tr]
    sigma_pre = float(np.std(preF)) if preF.size else float(np.std(aki[max(0, tp - 15):tp
+ 1]))
    snr_loc = yukseklik / max(sigma_pre, 1e-12)

    HIGH_SNR_BYPASS = 4.5
    RES_THR = 2.7
    if snr_loc < HIGH_SNR_BYPASS and (res_peak < RES_THR * res_sigma):
        continue

    # tepe sonrası negatif adım sayısı
    span = int(round(min(12, max(5, 6.0 / max(dt_min / 60.0, 1e-6)))))
    d_after = np.diff(aki[tp:min(tq, tp + span) + 1])

```

```

min_neg_steps = 2 if dt_min >= 20 else 3
if (d_after < 0).sum() < min_neg_steps:
    continue

# decay >= rise ilkesi (yumuşak)
rise = int(tp - tr)
decay = int(tq - tp)
if decay <= rise:
    # TQ'yu makul ölçüde uzat (kadansa bağlı limit)
    ext_cap = int(round(min(72, max(8, 18.0 / max(dt_min / 60.0, 1e-6)))))
    new_tq = int(tq)
    tol = max(0.20 * sigma_pre, 0.01 * max(zemin, 1e-12))

    i_max = min(len(aki) - 1, tq + ext_cap)
    for i in range(tq + 1, i_max + 1):
        if (aki[i] <= aki[new_tq] + tol) and (aki[i] <= aki[i - 1] + tol):
            new_tq = i
        else:
            jj = max(tp + 1, i - 2)
            if np.mean(np.diff(aki[jj:i + 1])) <= tol / 3:
                new_tq = i
                continue
            break

    if (new_tq - tp) > rise:
        tq = int(new_tq)
        decay = int(tq - tp)

# hala kısa ise TR'yi biraz sola çekmeyi dene
if decay <= rise and tr > 0:
    left = max(0, tr - 5)
    j_local_min = int(np.argmin(aki[left:tr + 1]))
    tr2 = left + j_local_min
    if tr2 < tp:
        tr = int(tr2)
        rise = int(tp - tr)

# hala decay <= rise ise güçlü olay değilse ele
area_days = float(trapz(
    np.clip((aki[tr:tq + 1] / max(zemin, 1e-12)) - 1.0, 0, None),
    zmn[tr:tq + 1]
))
strong_keep = ((yukseklık / max(sigma_pre, 1e-12)) >= 3.8) or ((area_days *
1440.0) >= 3.0)
if decay <= rise and not strong_keep:
    continue

# zikzak vetoları (yalnız düşük güvenliyse)

```



```

w = int(tq - tr + 1)
rise_pts = int(max(1, tp - tr))
decay_pts = int(max(1, tq - tp))
HIGH_CONF_Z = (snr_loc >= 5.8) or ((decay_pts / max(rise_pts, 1)) >= 1.35)

```

```

if (not HIGH_CONF_Z) and (Tdom_samples is not None):
    near_period = (0.80 * Tdom_samples <= w <= 1.20 * Tdom_samples)
    symm = (0.85 <= (rise_pts / max(decay_pts, 1)) <= 1.18)
    if near_period and symm:
        continue

```

```

rise_d = np.diff(aki[max(tr, 0):tp + 1])
decay_d = np.diff(aki[tp:min(tq, len(aki) - 1) + 1])
if (not HIGH_CONF_Z) and rise_d.size and decay_d.size:
    mean_rise = float(np.mean(np.maximum(rise_d, 0.0)))
    mean_fall = float(np.mean(-np.minimum(decay_d, 0.0)))
    if mean_rise <= 0 or mean_fall <= 0 or (mean_rise / mean_fall) < 1.15:
        continue

```

```

pad = int(min(max(6, w), int(0.6 * (Tdom_samples or 30))))
lo = max(0, tr - pad)
hi = min(len(resid), tq + pad)
loc = resid[lo:hi]
if (not HIGH_CONF_Z) and loc.size > 4:
    zcr_loc = float(np.mean((np.signbit(loc[1:]) != np.signbit(loc[:-1]))))
    if zcr_loc > 0.40:
        continue

```

```

frac_win = (aki[tr:tq + 1] / max(zemin, 1e-12)) - 1.0
_dx = float(np.median(np.diff(zmn))) if len(zmn) > 1 else 1.0
pos_area = float(np.trapz(np.clip(frac_win, 0, None), dx=_dx))
neg_area = float(np.trapz(np.clip(-frac_win, 0, None), dx=_dx))
if (pos_area / max(neg_area, 1e-12)) < 1.30:
    continue

```

```

# kabul
yeni_tr.append(int(tr))
yeni_tp.append(int(tp))
yeni_tq.append(int(tq))

```

```

return (np.array(yeni_tr, dtype=int),
        np.array(yeni_tp, dtype=int),
        np.array(yeni_tq, dtype=int))

```

```

# Tek pencere referansı
flare_viewer_instance = None
# Ana callback

```

```

def desk_callback(root, label_durum=None):
    global flare_viewer_instance

    # durum etiketi temizle
    try:
        if label_durum and label_durum.winfo_exists():
            label_durum.config(text="")
    except Exception:
        pass

    # önceki pencereleri kapat
    plt.close('all')
    if flare_viewer_instance is not None:
        try:
            flare_viewer_instance.destroy()
        except Exception:
            pass
        flare_viewer_instance = None

    # dosya seç
    dosya_yolu = filedialog.askopenfilename(
        filetypes=(
            ("Veri Dosyaları", "*.fits *.fit *.tsv *.csv *.txt"),
            ("Tüm Dosyalar", "*.*")
        )
    )
    if not dosya_yolu:
        try:
            if label_durum and label_durum.winfo_exists():
                label_durum.config(text="Dosya seçiniz", fg="blue")
        except Exception:
            pass
        return

    uzanti = os.path.splitext(dosya_yolu)[-1].lower()

    try:
        # ----- DOSYA OKUMA -----
        if uzanti in [".fits", ".fit"]:
            with fits.open(dosya_yolu) as hdul:
                veri = next((hdu.data for hdu in hdul
                             if hasattr(hdu, "data") and hdu.data is not None), None)
                if veri is None or not hasattr(veri, "names"):
                    raise ValueError("FITS dosyasında uygun tablo bulunamadı.")

                isimler = [x.lower().strip() for x in veri.names]
                zaman_adi = next((veri.names[i] for i, x in enumerate(isimler)
                                  if x in ["time", "times", "t"]), veri.names[0])

```

```

        aki_adi = next((veri.names[i] for i, x in enumerate(isimler)
                        if x in ["pdcsap_flux", "sap_flux", "flux", "fluxes",
                                "f", "ap_flux", "mag", "magnitude",
                                "brightness", "cal_mag"]), veri.names[1])

        zmn = np.array(veri[zaman_adi])
        aki = np.array(veri[aki_adi])

elif uzanti in [".tsv", ".csv", ".txt"]:
    try:
        df = pd.read_csv(dosya_yolu,
                        sep='\t' if uzanti == ".tsv" else ',',
                        header=0, encoding='utf-8')
    except UnicodeDecodeError:
        df = pd.read_csv(dosya_yolu,
                        sep='\t' if uzanti == ".tsv" else ',',
                        header=0, encoding='latin1')

    columns_lower = [c.lower().strip() for c in df.columns]
    zaman_adi = next((df.columns[i] for i, x in enumerate(columns_lower)
                      if x in ["time", "times", "t"]), df.columns[0])
    aki_adi = next((df.columns[i] for i, x in enumerate(columns_lower)
                    if x in ["flux", "pdcsap_flux", "sap_flux", "ap_flux",
                            "brightness", "f", "mag", "magnitude", "cal_mag"]),
                    df.columns[1])

    zmn = to_float_array(df[zaman_adi])
    aki = to_float_array(df[aki_adi])
else:
    raise ValueError("Desteklenmeyen dosya formatı.")

# maskesiz temizleme
valid = np.isfinite(zmn) & np.isfinite(aki)
zmn = zmn[valid]
aki = aki[valid]

# kadans modu (bilgi amaçlı)
if len(zmn) > 1:
    dt_med = np.median(np.diff(zmn)) * 1440 # dakika
else:
    dt_med = np.nan

mode = "Bilinmiyor"
if np.isfinite(dt_med):
    if 25 < dt_med < 35:
        mode = "Kepler LC (~29.4 dk)"
    elif 0.5 < dt_med < 1.5:
        mode = "Kepler SC (~1 dk)"

```

```

elif 1.5 < dt_med < 2.5:
    mode = "TESS 2 dk"
elif 0.2 < dt_med < 0.5:
    mode = "TESS 20 s"
elif 8 < dt_med < 12:
    mode = "TESS 10 dk FFI"
print(f"⌚ Kadans modu: {mode}")

# parlaklık → akı dönüşümü (gerekirse)
aki_adi_lower = str(aki_adi).lower().strip()
flux_names = {"pdcsap_flux", "sap_flux", "flux", "fluxes", "f", "ap_flux"}
if aki_adi_lower not in flux_names:
    zp = 20
    aki = 10 ** (-0.4 * (aki - zp))
    aki_adi += " (converted)"

# veri_adi ve görev (etiket)
veri_adi = os.path.basename(dosya_yolu).lower()
gorev = ""
if uzanti in [".fits", ".fit"]:
    try:
        with fits.open(dosya_yolu) as hdul:
            header = hdul[0].header
            mission = header.get("MISSION", "").lower()
            origin = header.get("ORIGIN", "").lower()
            if "kepler" in mission or "ksci" in origin:
                gorev = "kepler"
            elif "tess" in mission or "tess" in origin:
                gorev = "tess"
    except Exception:
        pass
if not gorev:
    ort_zmn = np.median(zmn)
    if ort_zmn < 500:
        gorev = "kepler"
    elif ort_zmn < 10000:
        gorev = "tess"

zaman_etiketi = "Zaman (BJD)"
if gorev == "kepler":
    zaman_etiketi = "Zaman (BJD – 2454833)"
elif gorev == "tess":
    zaman_etiketi = "Zaman (BJD – 2457000)"

# ----- DALGALI TESPİT + k ADAPTASYONU -----
dalgali = bool(detect_dalgali(zmn, aki,
                             trend_sigma_mul=1.6,
                             trend_frac_min=0.006,

```

```

        var_explained_min=0.18,
        lf_power_frac_min=0.45,
        zcr_max=0.38,
        roll_iqr_ratio_min=1.4))

# k için LF/var/zcr tabanlı skor
import numpy.fft as _fft
if len(zmn) > 1 and np.isfinite(zmn).all():
    dt_min = float(np.median(np.diff(zmn)) * 1440.0)
else:
    dt_min = 2.0
win = int(max(7, min(101, round(360.0 / max(dt_min, 1e-6)))))
if win % 2 == 0:
    win += 1
_box = np.ones(win) / win
_pad = np.pad(aki, (win // 2, win // 2), mode="edge")
_smooth = np.convolve(_pad, _box, mode="valid")
_resid = aki - _smooth

_var_tot = float(np.var(aki))
_var_res = float(np.var(_resid))
_var_exp = max(_var_tot - _var_res, 0.0) / max(_var_tot, 1e-12)
_x = aki - np.mean(aki)
_F = _fft.rfft(_x)
_P = np.abs(_F) ** 2
if _P.sum() > 0:
    _freqs = _fft.rfftfreq(len(_x), d=max(dt_min, 1e-6))
    _lf = _P[_freqs <= (1.0 / 180.0)].sum() / _P.sum()
else:
    _lf = 0.0
_s = np.signbit(_resid[1:]) != np.signbit(_resid[:-1])
_zcr = float(np.mean(_s)) if _s.size else 0.0
_dsm = np.diff(_smooth)
_runs = int(np.sum(np.sign(_dsm[1:]) != np.sign(_dsm[:-1]))) if _dsm.size else 0

_sc_lf = np.clip((_lf - 0.35) / 0.45, 0, 1)
_sc_var = np.clip((_var_exp - 0.15) / 0.45, 0, 1)
_sc_zcr = np.clip((0.40 - _zcr) / 0.40, 0, 1)
_sc_run = np.clip(1.0 - min(_runs, 6) / 6.0, 0, 1)
_score = 0.35 * _sc_lf + 0.35 * _sc_var + 0.20 * _sc_zcr + 0.10 * _sc_run
_k0 = float(np.clip(1.85 + 1.20 * _score, 1.80, 3.05))

tr, tp, tq, fark_aki, fark_zmn = desk_flr.flare_tespiti(
    zmn, aki, veri_adi,
    k=2.6, # <- SABİT k
    dalgali=dalgali,
    fit_refine=True
)

```

```

# aşırı aday oranı için k yükselt (opsiyonel)
try:
    _days = (zmn.max() - zmn.min())
    _rate = (len(tp) / max(_days, 1e-6))
except Exception:
    _rate = 0.0
if _rate > 12.0:
    _k1 = float(min(3.20, _k0 * 1.15))
    _tr2, _tp2, _tq2, _, _ = desk_flr.flare_tespiti(
        zmn, aki, veri_adı, k=_k1, dalgali=dalgali, fit_refine=True
    )
    if len(_tp2) <= 0.8 * len(tp):
        tr, tp, tq = _tr2, _tp2, _tq2
        _k0 = _k1

print(f"🔧 k_auto={_k0:.2f} (LF={_lf:.2f}, VarExp={_var_exp:.2f},
ZCR={_zcr:.2f}, runs={_runs})")

# ----- TEK POST-FİLTRE -----
tr, tp, tq = sahte_flareleri_ele(zmn, aki, tr, tp, tq)

# ----- TEK TP KİLİDİ (final) -----
if len(tp):
    tp_locked = np.array(tp, dtype=int)
    for i in range(len(tp_locked)):
        a = int(tr[i]); b = int(tq[i])
        if b > a:
            j_local = int(np.argmax(aki[a:b + 1]))
            tp_locked[i] = a + j_local
    tp_locked = np.minimum(np.maximum(tr + 1, tp_locked), tq - 1)
    tp = tp_locked

# çıktı bilgisi
print(f"📁 Dosya : {os.path.basename(dosya_yolu)}")
print(f"Toplam flare: {len(tr)}")

zaman_birim = {
    "kepler": "BKJD (BJD-2454833)",
    "tess": "BTJD (BJD-2457000)"
}.get(gorev.lower(), "BJD")

# tablo
print(f'{"No":>3} | {"TR [" + zaman_birim + "]:>23} | {"TP [" + zaman_birim +
"]:>23} | "
      f'{"TQ [" + zaman_birim + "]:>23} | {"Fp/Fq":>6} | {"ED (dk)":>8}')
print("-" * 96)
for i, (tr_i, tp_i, tq_i) in enumerate(zip(tr, tp, tq), start=1):

```

```

TRv = float(zmn[tr_i]); TPv = float(zmn[tp_i]); TQv = float(zmn[tq_i])
zemin = float(np.median(aki[max(0, tr_i - 10):tr_i + 1]))
fp = float(aki[tp_i])
fp_fq = fp / zemin if zemin != 0 else np.nan
fark_frac = np.clip((aki[tr_i:tq_i + 1] / zemin) - 1.0, 0, None)
ed_days = float(trapz(fark_frac, zmn[tr_i:tq_i + 1]))
ed_dk = ed_days * 1440.0
print(f'{i:3d} | {TRv:23.6f} | {TPv:23.6f} | {TQv:23.6f} | {fp_fq:6.3f} |
{ed_dk:8.2f}')
print("-" * 96)

# ----- GRAFIK -----
fig, axs = plt.subplots(2, 1, figsize=(7, 5), sharex=True)

# aki
axs[0].plot(zmn, aki, 'b.', markersize=1)
if len(tr): axs[0].plot(zmn[tr], aki[tr], 'go', markersize=3)
if len(tp): axs[0].plot(zmn[tp], aki[tp], 'ro', markersize=3)
if len(tq): axs[0].plot(zmn[tq], aki[tq], 'bo', markersize=3)
axs[0].set_ylabel("Aki")

# fark_aki ekseni (fark_zmn = zmn)
max_fark_idx = len(fark_aki) - 1
valid_tr = tr[(tr >= 1) & ((tr - 1) <= max_fark_idx)]
valid_tp = tp[(tp >= 1) & ((tp - 1) <= max_fark_idx)]
valid_tq = tq[(tq >= 1) & ((tq - 1) <= max_fark_idx)]

axs[1].plot(fark_zmn, fark_aki, 'b.', markersize=1)
if len(valid_tr): axs[1].plot(fark_zmn[valid_tr - 1], fark_aki[valid_tr - 1], 'go',
markersize=3)
if len(valid_tp): axs[1].plot(fark_zmn[valid_tp - 1], fark_aki[valid_tp - 1], 'ro',
markersize=3)
if len(valid_tq): axs[1].plot(fark_zmn[valid_tq - 1], fark_aki[valid_tq - 1], 'bo',
markersize=3)
axs[1].set_xlabel(zaman_etiketi)
axs[1].set_ylabel("Fark Aki")

plt.suptitle(f'{os.path.basename(dosya_yolu)} | Toplam flare: {len(tr)}')
plt.tight_layout(rect=[0, 0.10, 1, 0.95])
plt.show(block=False)
try:
    fig.canvas.manager.window.wm_geometry("+0+0")
except Exception:
    pass

# ----- DÜZENLEME ARACI + VIEWER -----
editor = ekle_sil.butonlari_ekle(
    fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn, fark_aki,
    dosya_adi=os.path.basename(dosya_yolu)

```

```

    )
    flare_viewer_instance = desk_flr_viewer.FlareViewer(
        zmn, aki, tr, tp, tq,
        fark_zmn=fark_zmn, fark_aki=fark_aki,
        parent_editor=editor,
        zaman_etiketi=zaman_etiketi
    )
    flare_viewer_instance.deiconify()
    flare_viewer_instance.lift()

except Exception as e:
    try:
        if label_durum and label_durum.winfo_exists():
            label_durum.config(text=f"Hata: {e}")
    except Exception:
        pass
    print(f"[HATA]: {e}")

```

#desk_flr.py

```

# Recall odaklı, sade ve stabil flare bulucu (grafiksiz çekirdek)
# - NumPy trapz (SciPy integrate/trapz yerine)
# - Opsiyonel fit kapısı (scipy.optimize.curve_fit)
# - Yakın tepe çatışmalarında güçlü olanı seçen küçük NMS

```

```

import numpy as np
from scipy.signal import find_peaks
from scipy.optimize import curve_fit
from numpy import trapz # <-- ÖNEMLİ: SciPy yerine NumPy

```

```

# --- AltaiPony doğrulama katmanı (opsiyonel, kapalı başlar) ---
try:

```

```

    import ap_validate # kendi modülünse burada bulunur
    _AP_OK = hasattr(ap_validate, "ap_available") and ap_validate.ap_available()
except Exception:
    ap_validate = None
    _AP_OK = False

```

```

# ===== Mod & fit anahtarları =====

```

```

USE_AP_FINAL = False # İstersen True yap; yoksa sessizce atlar
AP_TP_TOL_PTS = 6
AP_MERGE_GAP_PTS = 10
AP_MIN_ADD_SNR = 3.0
AP_VERBOSE = False

```

```

MODE = "recall" # "balanced" | "recall" | "strict"
USE_FIT_GATE = True # Fit kapısı (scipy.optimize gerekir)

```



```

DECAY_FINAL = True
# Final-pass kapalı başlasın; desk.py ile çalışmasın
# ===== Parametre profilleri =====
def _params(mode=MODE):
    if mode == "strict":
        return dict(
            anti_minima_coef=0.35,
            anti_minima_sig_k=4.0,
            curvature_k=0.15,
            curvature_snr_override=6.0,
            fit_delta_bic=-10.0,
            fit_snr=4.8,
            fit_required_normal=True,
            snr_accept_normal=4.4
        )
    if mode == "balanced":
        return dict(
            anti_minima_coef=0.45,
            anti_minima_sig_k=3.2,
            curvature_k=0.10,
            curvature_snr_override=5.2,
            fit_delta_bic=-5.0,
            fit_snr=3.8,
            fit_required_normal=False,
            snr_accept_normal=3.6
        )
    # recall (yüksek yakalama)
    return dict(
        anti_minima_coef=0.70,
        anti_minima_sig_k=3.0,
        curvature_k=0.05,
        curvature_snr_override=4.5,
        fit_delta_bic=-1.2,
        fit_snr=3.1,
        fit_required_normal=False,
        snr_accept_normal=3.2
    )

# ===== Yardımcılar =====
def tp_tepeye_oturt(aki, tp_idx, pencere=30):
    n = len(aki)
    if n == 0:
        return 0
    tp = int(np.clip(tp_idx, 0, n - 1))
    win = int(max(3, pencere))
    arr = np.asarray(aki, dtype=float)
    if not np.isfinite(arr).all():
        arr = np.where(np.isfinite(arr), arr, -np.inf)

```

```

def _pick_peak(bas, son, tp_anchor):
    seg = arr[bas:son]
    if seg.size == 0:
        return tp_anchor
    m = np.max(seg)
    idxs = np.flatnonzero(seg == m)
    cand = bas + idxs[int(np.argmin(np.abs((bas + idxs) - tp_anchor)))]
    return int(cand)

bas = max(0, tp - win); son = min(n, tp + win + 1)
peak = _pick_peak(bas, son, tp)
expanded = 0
while (peak == bas or peak == son - 1) and (bas > 0 or son < n) and expanded < 5:
    add = int(max(4, win // 2))
    bas = max(0, bas - add); son = min(n, son + add)
    peak = _pick_peak(bas, son, tp); expanded += 1
if (peak == bas or peak == son - 1):
    b2 = max(0, tp - 5 * win); s2 = min(n, tp + 5 * win + 1)
    peak = _pick_peak(b2, s2, tp)
return int(peak)

def _robust_sigma(x):
    if len(x) == 0:
        return 0.0
    med = float(np.median(x))
    mad = float(np.median(np.abs(x - med)))
    return 1.4826 * mad if mad > 0 else float(np.std(x))

def _bic(n, sse, p):
    sse = max(sse, 1e-18)
    return n * np.log(sse / n) + p * np.log(n)

def _H(x, sharp):
    return 1.0 / (1.0 + np.exp(-sharp * x))

def _flare_model(t, b, m, A, tau, t0, sharp):
    H = _H(t - t0, sharp)
    return b + m * (t - t0) + np.maximum(A, 0.0) * np.exp(-(t - t0) / max(tau, 1e-9)) * H

# ===== Fit kapısı & TQ refine =====
def _fit_gate(zmn, aki, tr, tp, tq, dalgali, k_snr=4.0, delta_bic_thr=-6.0,
              alpha_sigma=1.5, frac_A=0.02):
    n = len(aki)
    if not (0 <= tr < tp < tq < n):
        return (False, tq, +1e9)
    diffs = np.diff(zmn); diffs = diffs[np.isfinite(diffs)]
    dt = float(np.median(diffs)) if diffs.size else 1.0

```

```

L = 8
R = min(40, max(12, tq - tp + 6))
j0 = max(0, tp - L); j1 = min(n - 1, tp + R)
t = zmn[j0:j1 + 1].astype(float); y = aki[j0:j1 + 1].astype(float)
if t.size < 6:
    return (False, tq, +1e9)

z_pre = aki[max(0, tr - 10):tr] if tr >= 10 else aki[max(0, tp - 20):tp]
if z_pre.size == 0: z_pre = aki[max(0, tp - 10):tp + 1]
sigma_pre = _robust_sigma(z_pre) if z_pre.size else float(np.std(y))
t0 = float(zmn[tp]); wtime = max(t[-1] - t[0], 1e-9)

b0 = float(np.median(y[:max(3, min(6, tp - j0))])); m0 = 0.0
A0 = max(float(aki[tp] - b0), 1e-5)
tau0 = max((t[-1] - t[0]) / 3.0, 2.0 * dt)
drift_max = 5.0 * sigma_pre / wtime
b_lo, b_hi = b0 - 5 * sigma_pre, b0 + 5 * sigma_pre
m_lo, m_hi = -drift_max, drift_max
A_lo, A_hi = 1e-6, 10.0 * max(np.max(y) - b0, 1e-5)
tau_lo = max(1.0 * dt, 1e-6); tau_hi = max(10.0 * dt, wtime * 5.0)
sharp = 1.0 / max(4.0 * dt, 1e-6)

try:
    pop, _ = curve_fit(
        lambda tt, b, m, A, tau: _flare_model(tt, b, m, A, tau, t0, sharp),
        t, y, p0=[b0, m0, A0, tau0],
        bounds=([b_lo, m_lo, A_lo, tau_lo], [b_hi, m_hi, A_hi, tau_hi]),
        maxfev=4000
    )
    b, m, A, tau = [float(x) for x in pop]
except Exception:
    return (False, tq, +1e9)

if A <= 0: return (False, tq, +1e9)
K = (k_snr + 0.5) if dalgali else k_snr
if (A / max(sigma_pre, 1e-12)) < K:
    return (False, tq, +1e9)

yhat_full = _flare_model(t, b, m, A, tau, t0, sharp)
sse_full = float(np.sum((y - yhat_full) ** 2))
yhat_base = b + m * (t - t0)
sse_base = float(np.sum((y - yhat_base) ** 2))
bic_full = _bic(t.size, sse_full, p=4)
bic_base = _bic(t.size, sse_base, p=2)
delta_bic = bic_full - bic_base
if delta_bic > delta_bic_thr:
    return (False, tq, delta_bic)

```

```

# TQ model-türevli
delta = max(alpha_sigma * sigma_pre, frac_A * A)
base_line = b + m * (t - t0)
excess = yhat_full - base_line
idx = np.where(excess <= delta)[0]
tq_fit = tq
if idx.size:
    tq_fit = j0 + int(idx[0])
    tq_fit = int(np.clip(tq_fit, tp + 2, j1))
return (True, tq_fit, delta_bic)

def _exp_decay(t, b, A, tau, t0):
    return b + np.maximum(A, 1e-12) * np.exp(-(t - t0) / max(tau, 1e-9))

def _refine_tq_by_exp_decay(zmn, aki, tr, tp, tq, alpha_sigma=1.5, frac_A=0.02):
    n = len(aki)
    if not (0 <= tr < tp < tq < n):
        return tq
    W = min(40, max(12, (tq - tp) + 6))
    j0 = int(tp); j1 = int(min(n - 1, tp + W))
    tseg = np.asarray(zmn[j0:j1 + 1], float)
    yseg = np.asarray(aki[j0:j1 + 1], float)
    if tseg.size < 5:
        return tq

    z_pre = aki[max(0, tr - 10):tr] if tr >= 10 else aki[max(0, tp - 20):tp]
    if z_pre.size == 0: z_pre = aki[max(0, tp - 10):tp + 1]
    sigma_pre = _robust_sigma(z_pre) if z_pre.size else float(np.std(yseg))

    b0 = float(np.median(yseg[-min(5, yseg.size):]))
    A0 = max(float(yseg[0] - b0), 1e-5)
    tau0 = max((tseg[-1] - tseg[0]) / 3.0, (tseg[1] - tseg[0]) * 2.0)

    ystd = float(np.std(yseg)) + 1e-9
    b_lo, b_hi = b0 - 5 * ystd, b0 + 5 * ystd
    A_lo, A_hi = 1e-6, max(10.0 * (np.max(yseg) - b0), 1e-5)
    tau_lo = max((tseg[1] - tseg[0]) * 0.5, 1e-6)
    tau_hi = max((tseg[-1] - tseg[0]) * 10.0, tau_lo * 2)

    t0 = float(tseg[0])
    try:
        popt, _ = curve_fit(lambda tt, b, A, tau: _exp_decay(tt, b, A, tau, t0),
                            tseg, yseg, p0=[b0, A0, tau0],
                            bounds=([b_lo, A_lo, tau_lo], [b_hi, A_hi, tau_hi]),
                            maxfev=5000)
        b_fit, A_fit, tau_fit = [float(x) for x in popt]
        delta = max(alpha_sigma * sigma_pre, frac_A * max(A_fit, 1e-12))

```

```

ratio = min(max(delta / max(A_fit, 1e-12), 1e-6), 0.9999999)
t_thresh = t0 - tau_fit * np.log(ratio)
if t_thresh < tseg[0] or t_thresh > tseg[-1]:
    return tq
idx = int(j0 + np.argmin(np.abs(zmn[j0:j1 + 1] - t_thresh)))
return int(np.clip(idx, tp + 2, min(n - 1, tp + W)))
except Exception:
    return tq

# ===== TR / TQ belirleyiciler =====
def tr_belirle(aki, fark_aki, tp, veri_adi, dalgali=False):
    if tp is None or tp < 5 or tp >= len(aki) - 3:
        return None
    max_geri = 6 if dalgali else 25
    bas = max(0, tp - max_geri)
    zemin_aralik = aki[bas:tp]
    if len(zemin_aralik) < 5:
        return max(0, tp - 3)
    zemin = np.median(zemin_aralik)
    std = np.std(zemin_aralik)
    tol = max(0.5 * std, 0.008) if dalgali else max(0.6 * std, 0.01)

    secilen_tr = None
    en_iyi_grad = 0.0
    for i in range(tp - 3, bas + 1, -1):
        if (aki[i] < zemin + tol and aki[i + 1] > aki[i] and aki[i + 2] > aki[i + 1]
            and fark_aki[i] > 0 and fark_aki[i + 1] > 0):
            grad = (aki[i + 1] - aki[i]) + (aki[i + 2] - aki[i + 1])
            if grad > en_iyi_grad:
                en_iyi_grad = grad
                secilen_tr = i
    return secilen_tr if secilen_tr is not None else max(0, tp - 3)

def tq_belirle(aki, fark_aki, tp, tr=None, dalgali=False, tp_max=None):
    n = len(aki)
    if tp is None or tp >= n - 3:
        return None

    default_cap = 60 if dalgali else 35
    if (tp_max is not None) and (tp_max > tp):
        cap = int(min(default_cap, tp_max - tp))
    else:
        cap = int(default_cap)
    cap = max(6, min(cap, n - 1 - tp))

    if dalgali:
        if (tr is not None) and (tr >= 5):
            z_slice = aki[max(0, tr - 8):tr]

```

```

else:
    z_slice = aki[max(0, tp - 12):tp]
    if len(z_slice) == 0:
        z_slice = aki[max(0, tp - 8):tp + 1]
    Fq = float(np.median(z_slice))
    A = float(aki[tp] - Fq)
    if A <= 0:
        return int(min(tp + cap, n - 1))

sigma_f = _robust_sigma(z_slice) if len(z_slice) else 1e-5
sigma_f = float(max(sigma_f, 1e-5))

if (tr is not None) and (tr >= 8):
    d_base = fark_aki[max(0, tr - 18):tr]
else:
    d_base = fark_aki[max(0, tp - 24):max(0, tp - 6)]
if len(d_base) == 0:
    d_base = fark_aki[max(0, tp - 12):tp]
sigma_d = 1.4826 * (np.median(np.abs(d_base - np.median(d_base)))) + 1e-12

# DAHA GEÇ KAPAT: yarım genlik + gevşek yakınlık
H = Fq + 0.55 * A
abs_close = 1.8 * sigma_f
rel_close = 0.12 * A

start = tp + 2
stop = min(tp + cap, n - 2)
best = None
for i in range(start, stop):
    if aki[i] > H:
        continue
    if (aki[i] - Fq) > max(abs_close, rel_close):
        continue
    w = fark_aki[i:i + 3]
    if len(w) < 3:
        break
    if (np.std(w) < 1.1 * sigma_d) and (np.mean(w) < 0.0):
        best = i
        if aki[i] <= H:
            break
if best is None:
    seg = aki[start:stop + 1]
    best = int(start + np.argmin(np.abs(seg - Fq))) if len(seg) else min(tp + cap, n -
1)
    return int(min(best, tp + cap))

# normal veri
std_esik = 0.0006; ort_esik = 0.0004

```

```

bas = tp + 4; bit = min(tp + min(20, cap), n - 3)

zemin = None; tol = 0.003
if tr is not None and tr >= 10:
    zemin = np.median(aki[tr - 10:tr])
    tol = 0.002 + 0.5 * np.std(aki[tr - 10:tr])

en_iyi = None; en_kucuk_std = float("inf")
for i in range(bas, bit):
    pencere = fark_aki[i:i + 3]
    if any(f < -0.0001 for f in pencere):
        continue
    std = np.std(pencere); ort = np.mean(np.abs(pencere))
    if std < std_esik and ort < ort_esik:
        tq_aday = i + 1
        if zemin is not None:
            flare_yuk = aki[tp] - zemin
            tq_yuk = aki[tq_aday] - zemin
            if flare_yuk > 0 and tq_yuk / flare_yuk > 0.55:
                continue
            egim = (aki[tp] - aki[tq_aday]) / (tq_aday - tp)
            if egim < 0.0009:
                continue
            if (aki[tp] - aki[tq_aday]) < 0.25 * flare_yuk:
                continue
        if tq_aday - tp < 4:
            continue
        if std < en_kucuk_std:
            en_kucuk_std = std; en_iyi = tq_aday

tq = en_iyi if en_iyi is not None else None
if tq is None and zemin is not None:
    for i in range(tp + 4, min(tp + min(28, cap), n)):
        if abs(aki[i] - zemin) < tol:
            tq = i; break
if tq is None:
    tq = min(tp + min(28, cap), n - 1)

if zemin is not None and abs(aki[tq] - zemin) > tol:
    for i in range(tq + 1, min(tq + min(22, cap), n)):
        if abs(aki[i] - zemin) < tol:
            tq = i; break
return int(tq)

```

```

# ===== ANA ALGORİTMA =====
def flare_tespiti(zmn, aki, veri_adi, k=2, min_peak_distance=3, min_flare_sure=3,
    dalgali=False, fit_refine=True):
    """

```

Dönüş:

tr, tp, tq -> int dizileri
fark_aki -> ΔF dizisi (aynı uzunlukta)
zmn -> aynen giriş
"""

P = _params()

```
aki = np.asarray(aki, float)
zmn = np.asarray(zmn, float)
fark_aki = np.diff(aki, prepend=aki[0])
```

```
# medyan dt
med_dt = None
if zmn is not None and len(zmn) >= 3:
    diffs_all = np.diff(zmn)
    diffs_all = diffs_all[~np.isnan(diffs_all)]
    if diffs_all.size:
        med_dt = float(np.median(diffs_all))
```

```
#  $\Delta F$  bazlı aday skoru (kısa yükseliş + uzun negatif CUSUM)
medyan = float(np.nanmedian(fark_aki))
std = float(np.nanstd(fark_aki))
base_dist = max(2, min_peak_distance - 1)
```

```
pos_df = np.maximum(fark_aki, 0.0)
inc_score = np.convolve(pos_df, np.ones(3, dtype=float), mode="same")
```

```
mu_n = float(np.percentile(fark_aki, 25))
k_cu = 0.25 * std
neg_cusum = np.zeros_like(fark_aki, dtype=float)
for i in range(1, len(fark_aki)):
    inc = -((fark_aki[i] - mu_n)) - k_cu
    neg_cusum[i] = max(0.0, neg_cusum[i - 1] + inc)
```

```
rs_inc = _robust_sigma(inc_score) or 1.0
rs_cus = _robust_sigma(neg_cusum) or 1.0
inc_n = inc_score / rs_inc
cus_n = neg_cusum / rs_cus
alpha = 1.0
beta = 1.3 if dalgali else 1.0
S = alpha * inc_n + beta * cus_n
```

```
thr_S = float(np.percentile(S, 90.0))
if not np.isfinite(thr_S) or thr_S <= 0:
    thr_S = float(np.percentile(S, 85.0))
```

```
peak_idx, _ = find_peaks(S, height=thr_S, distance=max(base_dist, 4))
```



```

# TP adaylarını flux tepesine oturt
if peak_idx.size:
    peak_idx = np.array([tp_tepeye_oturt(aki, int(i), pencere=(18 if dalgali else 30))
                        for i in peak_idx], dtype=int)
    peak_idx = np.unique(np.clip(peak_idx, 0, len(aki) - 1))

tp_list, tr_list, tq_list, amp_list = [], [], [], [] # amp_list: NMS için skor
pozitif_esik = (medyan + max(1.3, k) * std) + 0.2 * std

for tp_cand in peak_idx:
    # Güçlü flare override için varsayılan (her veto öncesi tanımlı olsun)
    strong = False
    if tp_cand < 5 or tp_cand > len(aki) - 10:
        continue

    tp = tp_tepeye_oturt(aki, tp_cand, pencere=(12 if dalgali else 30))
    tr = tr_belirle(aki, fark_aki, tp, veri_adi, dalgali=dalgali)
    tq = tq_belirle(aki, fark_aki, tp, tr, dalgali=dalgali)
    if (tq is None) or (tr is None):
        continue
    if tq <= tp:
        tq = min(tp + 2, len(aki) - 1)

    # GAP veto (6*med_dt)
    if med_dt is not None:
        if (tp - 1) >= 0 and (tp + 1) < len(zmn):
            if (zmn[tp] - zmn[tp - 1] > 6.0 * med_dt) or (zmn[tp + 1] - zmn[tp] > 6.0 *
med_dt):
                continue
            a = max(0, tr - 2); b = min(len(zmn) - 1, tq + 2)
            if b - a >= 2 and np.any(np.diff(zmn[a:b + 1]) > 6.0 * med_dt):
                continue

    # yerel baz & SNR
    z_pre = aki[max(0, tr - 10):tr] if tr >= 10 else aki[max(0, tp - 20):tp]
    if z_pre.size == 0:
        z_pre = aki[max(0, tp - 10):tp + 1]
    z_med = float(np.median(z_pre)) if z_pre.size else float(np.median(aki[max(0, tp -
15):tp + 1]))
    sigma_pre = _robust_sigma(z_pre) if z_pre.size else float(np.std(aki[max(0, tp -
15):tp + 1]))
    A_local = float(aki[tp] - z_med)
    if A_local <= 0:
        continue
    # SNR'a göre güçlü flare bayrağı
    snr_loc = A_local / max(sigma_pre, 1e-12)
    strong = snr_loc >= (6.5 if dalgali else 7.5)

```

```

# anti-minima (yumuşak)
# anti-minima (yumuşak) — güçlülerde esnet/kapalı
preL = max(0, tp - 10);
preR = max(preL + 1, tp - 3)
pre_med = float(np.median(aki[preL:preR])) if (preR > preL) else z_med
if not strong:
    if (z_med - pre_med) > max(P["anti_minima_coef"] * A_local,
P["anti_minima_sig_k"] * sigma_pre):
        continue
    # strong ise bu veto uygulanmaz

# eğrilik kontrolü (yumuşak)
pass_curv = True
if 1 <= tp < len(aki) - 1:
    d2 = aki[tp + 1] - 2 * aki[tp] + aki[tp - 1]
    need = -P["curvature_k"] * max(sigma_pre, 1e-9)
    three_up = (aki[tp - 2] < aki[tp - 1] < aki[tp]) if tp >= 2 else False
    if not (d2 < need or (A_local / max(sigma_pre, 1e-12)) >=
P["curvature_snr_override"]) or three_up):
        pass_curv = False
    # Güçlü flare ise eğrilik vetosunu geç
    if not (pass_curv or strong):
        continue

# --- (A) Tepe öncesi derin yerel çukur vetosu ---
preW = 14
L = max(0, tp - preW);
R = max(L + 1, tp)
pre_seg = aki[L:R]
if pre_seg.size >= 5:
    imin_loc = int(np.argmin(pre_seg))
    pre_min = float(pre_seg[imin_loc])
    pre_idx = L + imin_loc
    depth = float(aki[tp] - pre_min)
    close_enough = (tp - pre_idx) <= 8
    deep_enough = depth >= max(0.55 * A_local, 3.0 * sigma_pre)
    z_shift = float(z_med - pre_min)
    well_below_base = z_shift >= max(0.35 * A_local, 2.5 * sigma_pre)
    if close_enough and deep_enough and well_below_base:
        if not strong:
            continue # egress-benzeri; sahte

# --- (B) Pre/Post baz simetrisi vetosu ---
postL = min(len(aki) - 1, tq + 3)
postR = min(len(aki), tq + 14)
if postR - postL >= 4:
    post_base = float(np.median(aki[postL:postR]))
    base_diff = abs(post_base - z_med)

```

```

        if (post_base > z_med) and (base_diff >= max(0.18 * A_local, 2.0 *
sigma_pre)):
            if not strong:
                continue # dipten kurtulma; sahte olasılığı yüksek

# --- (C) tp sonrası negatif ΔF mini-şeridi zorunluluğu ---
segL = tp + 1
segR = min(len(fark_aki), tp + 6)
if segR - segL >= 3:
    mean_neg3 = float(np.mean(fark_aki[segL:segL + 3]))
    mean_neg4 = float(np.mean(fark_aki[segL:segR]))
    need_neg = -0.35 * max(std, 1e-12)
    if strong:
        need_neg *= 0.6 # güçlülerde daha yumuşak
    if not ((mean_neg3 < need_neg) or (mean_neg4 < need_neg)):
        if not strong:
            continue

# normal dal koşulları
sure = tq - tr + 1
if sure < max(3, min_flare_sure):
    continue

# ΔF işaret kanıtı
etraf = fark_aki[tr:tq + 1]
pozitif_say = int(np.sum(etraf > pozitif_esik))
negatif_say = int(np.sum(etraf < -(1.1 * std)))
if not (pozitif_say >= 1 and (negatif_say > 0)):
    continue

# Fit kapısı (opsiyonel, snr düşükse şart)
# Fit kapısı (opsiyonel, snr düşükse şart) — güçlülerde zorunlu değil
snr_loc = A_local / max(sigma_pre, 1e-12)
if strong:
    if USE_FIT_GATE:
        ok_fit, tq_fit, _ = _fit_gate(zmn, aki, tr, tp, tq, dalgali=dalgali,
k_snr=P["fit_snr"], delta_bic_thr=P["fit_delta_bic"])
        if ok_fit:
            tq = tq_fit
    else:
        if P["fit_required_normal"] or (snr_loc < P["snr_accept_normal"]):
            ok_fit, tq_fit, _ = (False, tq, 0.0)
            if USE_FIT_GATE:
                ok_fit, tq_fit, _ = _fit_gate(zmn, aki, tr, tp, tq, dalgali=dalgali,
k_snr=P["fit_snr"], delta_bic_thr=P["fit_delta_bic"])
            if not ok_fit:
                continue
            tq = tq_fit

```

```

else:
    if USE_FIT_GATE:
        ok_fit, tq_fit, _ = _fit_gate(zmn, aki, tr, tp, tq, dalgali=dalgali,
                                      k_snr=P["fit_snr"], delta_bic_thr=P["fit_delta_bic"])
        if ok_fit:
            tq = tq_fit

    if fit_refine and (tq - tp >= 3):
        tq = _refine_tq_by_exp_decay(zmn, aki, tr, tp, tq, alpha_sigma=1.5,
        frac_A=0.02)

    # Yakın tepe çatışması → güçlü olanı tut
    yakin_thr = 8 if not dalgali else 6
    replaced = False
    for j, tpp in enumerate(tp_list):
        if abs(tp - tpp) < yakin_thr:
            z_ref_prev = np.median(aki[max(0, tr_list[j] - 10):tr_list[j]])
            area_prev = trapz(np.maximum(aki[tr_list[j]:tq_list[j] + 1] - z_ref_prev, 0.0))
            score_prev = 0.7 * (aki[tpp] - z_ref_prev) + 0.3 * area_prev

            z_ref_new = z_med
            area_new = trapz(np.maximum(aki[tr:tq + 1] - z_ref_new, 0.0))
            score_new = 0.7 * (aki[tp] - z_ref_new) + 0.3 * area_new

            if score_new > score_prev:
                tr_list[j], tp_list[j], tq_list[j] = int(tr), int(tp), int(tq)
                amp_list[j] = float(score_new)
                replaced = True
                break
    if replaced:
        continue

    # kabul et
    z_ref = z_med
    area = trapz(np.maximum(aki[tr:tq + 1] - z_ref, 0.0))
    score = 0.7 * (aki[tp] - z_ref) + 0.3 * area
    tr_list.append(int(tr)); tp_list.append(int(tp)); tq_list.append(int(tq));
    amp_list.append(float(score))

    # ----- Küçük NMS / örtüşme birleştirme -----
    if len(tp_list) > 1:
        idx = np.argsort(tp_list)
        tr_list = [int(tr_list[i]) for i in idx]
        tp_list = [int(tp_list[i]) for i in idx]
        tq_list = [int(tq_list[i]) for i in idx]
        amp_list = [float(amp_list[i]) for i in idx]

    out_tr, out_tp, out_tq, out_amp = [], [], [], []

```

```

i = 0
while i < len(tp_list):
    tr_i, tp_i, tq_i, sc_i = tr_list[i], tp_list[i], tq_list[i], amp_list[i]
    j = i + 1
    best = i
    while j < len(tp_list):
        tr_j, tp_j, tq_j, sc_j = tr_list[j], tp_list[j], tq_list[j], amp_list[j]
        sol = max(tr_i, tr_j); sag = min(tq_i, tq_j)
        overlap = max(0, sag - sol + 1)
        len_i = tq_i - tr_i + 1; len_j = tq_j - tr_j + 1
        if overlap >= 0.75 * min(len_i, len_j) or abs(tp_j - tp_i) < 6:
            if sc_j > amp_list[best]:
                best = j
                tr_i, tq_i = min(tr_i, tr_j), max(tq_i, tq_j)
                j += 1
            else:
                break
        out_tr.append(tr_list[best]); out_tp.append(tp_list[best]);
    out_tq.append(tq_list[best]); out_amp.append(amp_list[best])
    i = j
    tr_list, tp_list, tq_list, amp_list = out_tr, out_tp, out_tq, out_amp

# ----- (Opsiyonel) AltaiPony doğrulama katmanı -----
if USE_AP_FINAL and _AP_OK:
    try:
        if hasattr(ap_validate, "reconcile_with_ap"):
            tr_list, tp_list, tq_list = ap_validate.reconcile_with_ap(
                zmn, aki, tr_list, tp_list, tq_list,
                tp_tol_pts=AP_TP_TOL_PTS,
                merge_gap_pts=AP_MERGE_GAP_PTS,
                min_add_snr=AP_MIN_ADD_SNR,
                verbose=AP_VERBOSE
            )
        elif hasattr(ap_validate, "validate_and_merge"):
            tr_list, tp_list, tq_list = ap_validate.validate_and_merge(
                zmn, aki, tr_list, tp_list, tq_list,
                AP_TP_TOL_PTS, AP_MERGE_GAP_PTS, AP_MIN_ADD_SNR,
                AP_VERBOSE
            )
        except Exception:
            pass

    # ===== FINAL PASS: decay ≥ rise güvencesi + TP yeniden
    kilit (opsiyonel) =====
    # ===== FINAL PASS: decay_time ≥ need_decay_time
    (dakika) + TP yeniden kilit =====
    if DECAY_FINAL and len(tp_list):
        # med_dt (gün) → nokta-sayısı tavanı için kullanacağız

```

```

if med_dt is None or not np.isfinite(med_dt) or med_dt <= 0:
    med_dt = 2.0 / 1440.0 # ~2 dk varsayımı (gün)

# dalgali dizilerde daha sert oran ve daha geniş uzatma tavanı
ratio_base = 1.30 if dalgali else 1.10
abs_floor = 12.0 if dalgali else 6.0 # dk, mutlak taban
hours_cap = 24.0 if dalgali else 18.0 # max uzatma saat cinsinden
max_extend_pts = int(round(min(160, max(8, (hours_cap * 60.0) / (med_dt *
1440.0))))))

kill_mask = np.zeros(len(tp_list), dtype=bool)

for i in range(len(tp_list)):
    tr_i, tp_i, tq_i = int(tr_list[i]), int(tp_list[i]), int(tq_list[i])
    if not (0 <= tr_i < tp_i < tq_i < len(aki)):
        kill_mask[i] = True
        continue

# yerel baz & tolerans
preF = aki[max(0, tr_i - 10):tr_i] if tr_i >= 10 else aki[max(0, tp_i - 20):tp_i]
if preF.size == 0: preF = aki[max(0, tp_i - 10):tp_i + 1]
sigma_pre = _robust_sigma(preF) if preF.size else float(np.std(aki[max(0, tp_i -
15):tp_i + 1]))
zemin = float(np.median(aki[max(0, tr_i - 10):tr_i + 1])) if tr_i >= 1 else float(
    np.median(aki[max(0, tp_i - 15):tp_i + 1]))
tol = max(0.20 * sigma_pre, 0.01 * max(zemin, 1e-12))

# süreler (dk)
rise_time = float((zmn[tp_i] - zmn[tr_i]) * 1440.0)
decay_time = float((zmn[tq_i] - zmn[tp_i]) * 1440.0)

need_decay = max(rise_time * ratio_base, rise_time + abs_floor)

if not np.isfinite(rise_time) or rise_time <= 0:
    continue # patolojik durum; dokunma

if decay_time + 1e-9 < need_decay:
    # 1) TQ'yu hedefe ulaşana kadar ileri uzat
    j_max = min(len(aki) - 1, tq_i + max_extend_pts)
    new_tq = int(tq_i)
    for j in range(tq_i + 1, j_max + 1):
        ok = False
        if (aki[j] <= aki[new_tq] + tol) and (aki[j] <= aki[j - 1] + tol):
            ok = True
        else:
            jj = max(tp_i + 1, j - 2)
            if np.mean(np.diff(aki[jj:j + 1])) <= tol / 3.0:
                ok = True

```

```

    if ok:
        new_tq = j
        decay_time = float((zmn[new_tq] - zmn[tp_i]) * 1440.0)
        if decay_time >= need_decay:
            break
    tq_i = int(new_tq)

# 2) hâlâ kısa ise: TR'yi yerel min'e (dalgalıda 8, normalde 5 nokta) geri al ve
tekrar dene
if float((zmn[tq_i] - zmn[tp_i]) * 1440.0) + 1e-9 < need_decay and tr_i > 0:
    back = 8 if dalgali else 5
    left = max(0, tr_i - back)
    tr2 = left + int(np.argmax(aki[left:tr_i + 1]))
    if tr2 < tp_i:
        tr_i = int(tr2)
        # güncel hedef
        rise_time = float((zmn[tp_i] - zmn[tr_i]) * 1440.0)
        need_decay = max(rise_time * ratio_base, rise_time + abs_floor)
        # kalan uzatma payı kadar tekrar dene
        j_max = min(len(aki) - 1, tq_i + max_extend_pts)
        new_tq = int(tq_i)
        for j in range(tq_i + 1, j_max + 1):
            ok = False
            if (aki[j] <= aki[new_tq] + tol) and (aki[j] <= aki[j - 1] + tol):
                ok = True
            else:
                jj = max(tp_i + 1, j - 2)
                if np.mean(np.diff(aki[jj:j + 1])) <= tol / 3.0:
                    ok = True
        if ok:
            new_tq = j
            decay_time = float((zmn[new_tq] - zmn[tp_i]) * 1440.0)
            if decay_time >= need_decay:
                break
    tq_i = int(new_tq)

# 3) yine yetmiyorsa: yalnız güçlü olayları tut, diğerlerini ele
decay_time = float((zmn[tq_i] - zmn[tp_i]) * 1440.0)
if decay_time + 1e-9 < need_decay:
    A_loc = float(aki[tp_i] - zemin)
    snr_loc = A_loc / max(sigma_pre, 1e-12)
    frac = np.clip((aki[tr_i:tq_i + 1] / max(zemin, 1e-12)) - 1.0, 0, None)
    ed_days = float(trapz(frac, zmn[tr_i:tq_i + 1])) if len(zmn) else 0.0
    strong_keep = (snr_loc >= (5.0 if dalgali else 3.8)) or (
        (ed_days * 1440.0) >= (6.0 if dalgali else 3.0))
    if not strong_keep:
        kill_mask[i] = True

```

```

# güncel değerleri geri yaz
tr_list[i], tp_list[i], tq_list[i] = int(tr_i), int(tp_i), int(tq_i)

# elenecekleri kaldır
if np.any(kill_mask):
    keep_idx = [i for i in range(len(tp_list)) if not kill_mask[i]]
    tr_list = [tr_list[i] for i in keep_idx]
    tp_list = [tp_list[i] for i in keep_idx]
    tq_list = [tq_list[i] for i in keep_idx]

# [TR..TQ] aralığında TP'yi global tepeye kilitle (tek sefer)
if len(tp_list):
    tp_locked = np.array(tp_list, dtype=int)
    for i in range(len(tp_locked)):
        a = int(tr_list[i]);
        b = int(tq_list[i])
        if b > a:
            j_local = int(np.argmax(aki[a:b + 1]))
            tp_locked[i] = a + j_local
    tp_locked = np.minimum(np.maximum(np.array(tr_list) + 1, tp_locked),
np.array(tq_list) - 1)
    tp_list = list(map(int, tp_locked))

return (np.array(tr_list, dtype=int),
        np.array(tp_list, dtype=int),
        np.array(tq_list, dtype=int),
        fark_aki,
        zmn)

```

#ekle_sil.py

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import matplotlib.widgets as mwidgets
from zaman import zaman_istatistik_grafigi
import desk_flr_viewer

flare_viewer_instance = None # Global değişken

def jd_offset(zmn):
    if len(zmn) == 0:
        return 0
    val = np.median(zmn)
    if val > 2400000:
        return int(val // 1000 * 1000)
    return 0

```



```

def set_suptitle(fig, text):
    if hasattr(fig, "_suptitle") and fig._suptitle:
        fig._suptitle.set_text(text)
    else:
        fig._suptitle = fig.suptitle(text, fontsize=12)
    fig.canvas.draw_idle()

class FlareEditor:
    def __init__(self, fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn=None, fark_aki=None,
dosya_adi=""):
        # --- veri ve eksenler
        self.offset = jd_offset(zmn)
        self.zmn = np.array(zmn) - self.offset
        self.aki = np.array(aki)
        self.tr = list(tr)
        self.tp = list(tp)
        self.tq = list(tq)
        self.dosya_adi = dosya_adi

        self.fark_zmn = np.array(fark_zmn) - self.offset if fark_zmn is not None else None
        self.fark_aki = np.array(fark_aki) if fark_aki is not None else None

        self.fig = fig
        self.ax_aki = axs[0]
        self.ax_fark = axs[1]

        # --- durum
        self.mode = None          # 'ekle' | 'sil' | None
        self.click_stage = 0      # ekle akışı için 0->tr, 1->tp, 2->tq
        self.tr_temp = None
        self.tp_temp = None
        self.tq_temp = None

        # --- geçici/highlight artist referansları
        self.temp_markers = []
        self.highlight_markers = []
        self.highlight_texts = []

        # --- event bağla (varsa eskisini kopar)
        if hasattr(self.fig.canvas, "flare_cid") and self.fig.canvas.flare_cid is not None:
            self.fig.canvas.mpl_disconnect(self.fig.canvas.flare_cid)
            self.fig.canvas.flare_cid = self.fig.canvas.mpl_connect('button_press_event',
self.onclick)

        # --- alt boşlukta kalmış eksenleri temizle ve margin
        for ax in list(self.fig.axes):
            if ax.get_position().y0 < 0.05:
                try:

```

```

        ax.remove()
    except Exception:
        pass
self.fig.subplots_adjust(left=0.12, right=0.97, top=0.87, bottom=0.15)

# --- butonlar
if not hasattr(self, "btn_ekle"):
    ax_button_ekle = fig.add_axes([0.18, 0.01, 0.15, 0.05])
    self.btn_ekle = mwidgets.Button(ax_button_ekle, 'Flare Ekle')
    self.btn_ekle.on_clicked(self.activate_ekle_mode)

    ax_button_flare = fig.add_axes([0.49, 0.01, 0.20, 0.05])
    self.btn_flare = mwidgets.Button(ax_button_flare, 'Flare Grafik')
    self.btn_flare.on_clicked(self.open_flare_viewer)

    ax_button_zaman = fig.add_axes([0.71, 0.01, 0.20, 0.05])
    self.btn_zaman = mwidgets.Button(ax_button_zaman, 'Zaman Grafik')
    self.btn_zaman.on_clicked(self.open_zaman_grafikleri)

# --- ilk çizim
self.draw_plots()
self.highlight_flare(-1)

# =====
# Yardımcılar / Modlar
# =====
def open_zaman_grafikleri(self, event):
    zaman_istatistik_grafigi(self.zmn + self.offset, self.aki, self.tr, self.tp, self.tq,
show=True)

def activate_ekle_mode(self, event):
    self.mode = 'ekle'
    self.click_stage = 0
    self.tr_temp = None
    self.tp_temp = None
    self.tq_temp = None
    self.clear_temp_markers()
    set_suptitle(self.fig, "Ekleme modunda: sırayla tr -> tp -> tq tıkla")

def reset_mode(self):
    self.mode = None
    self.click_stage = 0
    self.tr_temp = None
    self.tp_temp = None
    self.tq_temp = None
    self.clear_temp_markers()
    set_suptitle(self.fig, f'{self.dosya_adi} | Toplam flare: {len(self.tr)}')
    self.clear_highlight()

```

```

# =====
# Konsola tablo yazdır (ED ve Fp/Fq HESAPLAR BURADA)
# =====
def _print_flare_table(self):
    """PyCharm konsoluna güncel flare listesini yazdırır (sadece Flare Grafik'te
    çağrılır)."""
    try:
        bk = self.zmn + self.offset # BJD bazlı zaman dizisi
        n = len(self.tr)

        # Kadans (dakika) tahmini
        kadans_dk = None
        if len(self.zmn) > 1:
            med_dt_day = float(np.median(np.diff(self.zmn))) # gün
            kadans_dk = med_dt_day * 1440.0 # dakika

        # Zaman etiketi (hedef: dosya adına göre BTJD/BKJD yazmak)
        dosya_upper = (self.dosya_adi or "").upper()
        if "TIC" in dosya_upper or "TESS" in dosya_upper:
            zaman_etiketi = "BTJD (BJD-2457000)"
        else:
            zaman_etiketi = "BKJD (BJD-2454833)"

        # Başlık
        if kadans_dk is not None:
            if 1.8 <= kadans_dk <= 2.2:
                print("Kadans modu: TESS 2 dk")
            elif 28.0 <= kadans_dk <= 31.0:
                print("Kadans modu: Kepler LC (~29.4 dk)")
            else:
                print(f"Kadans modu: ~{kadans_dk:.1f} dk")
        else:
            print("Kadans modu: (bilgi yok)")

        print(f"Dosya : {self.dosya_adi if self.dosya_adi else '(adı verilmemiş)'}")
        print(f"Toplam flare: {n}")
        print(f"No | TR [{zaman_etiketi}] | TP [{zaman_etiketi}] | TQ [{zaman_etiketi}]
        | Fp/Fq | ED (dk)")
        print("-" * 100)

        # ED (dk) hesaplayıcı: [i0,i1] aralığında (F/Fq - 1)_+ integrali (trapez), dakika
        birimi
        def ed_minutes(idx_start, idx_end, fq):
            if fq is None or not np.isfinite(fq) or fq <= 0:
                return None
            if idx_start is None or idx_end is None:
                return None
            i0 = int(max(0, min(idx_start, idx_end)))

```

```

i1 = int(min(len(self.zmn) - 1, max(idx_start, idx_end)))
if i1 - i0 < 1:
    return 0.0
# normalize fazla: (F/Fq - 1), negatifleri 0'a bas
f_excess = np.clip(self.aki[i0:i1 + 1] / fq - 1.0, 0.0, None)
# zaman adımı (gün -> dakika)
t = self.zmn[i0:i1 + 1]
dt_min = np.diff(t) * 1440.0
if not np.all(np.isfinite(dt_min)):
    return None
area_min = np.sum(0.5 * (f_excess[:-1] + f_excess[1:]) * dt_min)
return float(area_min)

# Satırlar
for i in range(n):
    tri = int(self.tr[i])
    tpi = int(self.tp[i])
    tqi = int(self.tq[i])

    tr_i = bk[tri]
    tp_i = bk[tpi]
    tq_i = bk[tqi]

    # Fq: tr öncesi pencere medyanı (yoksa global medyan)
    pre_win = 10
    s = max(0, tri - pre_win)
    e = tri
    if e - s >= 3:
        fq = float(np.median(self.aki[s:e]))
    else:
        fq = float(np.median(self.aki))

    # Fp: tepe akısı
    fp = float(self.aki[tpi]) if 0 <= tpi < len(self.aki) else np.nan

    ratio = None
    if np.isfinite(fp) and np.isfinite(fq) and fq > 0:
        ratio = fp / fq

    # ED (dk)
    ed = ed_minutes(tri, tqi, fq)
    ratio_txt = f"{ratio:5.3f}" if (ratio is not None and np.isfinite(ratio)) else " -- "
    ed_txt = f"{ed:7.2f}" if (ed is not None and np.isfinite(ed)) else "  --"

    print(f'{i + 1:3d} | {tr_i:22.6f} | {tp_i:22.6f} | {tq_i:22.6f} | {ratio_txt} | {ed_txt}')

print("-" * 100)

```

```

except Exception as e:
    print(f"[print] Hata: {e}")

# =====
# Etkinlik / Tıklama
# =====
def onclick(self, event):
    # eksen dışı veya xdata None ise çık
    if event.inaxes not in [self.ax_aki, self.ax_fark]:
        return
    if event.xdata is None:
        return

    if self.mode == 'ekle':
        self.add_flare(event)
    elif self.mode == 'sil':
        self.delete_flare(event)

# =====
# Ekleme akışı
# =====
def add_flare(self, event):
    if event is None or event.xdata is None:
        return
    if len(self.zmn) == 0:
        return

    zaman = event.xdata + self.offset
    idx = int(np.argmin(np.abs((self.zmn + self.offset) - zaman)))

    if self.click_stage == 0:
        self.tr_temp = idx
        self.clear_temp_markers()
        self.draw_temp_marker(self.tr_temp, 'go')
        self.click_stage = 1
        set_suptitle(self.fig, "İkinci tıklama: tp için maksimum noktayı seç")

    elif self.click_stage == 1:
        pencere = 5
        bas = max(0, idx - pencere)
        son = min(len(self.aki) - 1, idx + pencere)
        local_max_idx = bas + int(np.argmax(self.aki[bas:son + 1]))
        self.tp_temp = local_max_idx
        self.clear_temp_markers()
        self.draw_temp_marker(self.tp_temp, 'ro')
        self.click_stage = 2
        set_suptitle(self.fig, "Üçüncü tıklama: tq için son noktayı seç")

```

```

elif self.click_stage == 2:
    self.tq_temp = idx
    self.clear_temp_markers()
    self.draw_temp_marker(self.tq_temp, 'bo')

    self.tr.append(self.tr_temp)
    self.tp.append(self.tp_temp)
    self.tq.append(self.tq_temp)

    # tp'ye göre sıralama
    sorted_idx = sorted(range(len(self.tp)), key=lambda i: self.tp[i])
    self.tr = [self.tr[i] for i in sorted_idx]
    self.tp = [self.tp[i] for i in sorted_idx]
    self.tq = [self.tq[i] for i in sorted_idx]

    # burada konsola yazdırma yok; sadece butonla istenir
    self.draw_plots()
    self.reset_mode()

# =====
# Silme akışı
# =====
def delete_flare(self, event):
    if len(self.tp) == 0:
        set_suptitle(self.fig, "Silinecek flare yok.")
        self.reset_mode()
        return

    # tıklanan x'e en yakın TP'yi bul
    zaman = event.xdata # BKJD (offset çıkarılmış)
    tp_x = np.array([self.zmn[i] for i in self.tp])
    nearest = int(np.argmin(np.abs(tp_x - zaman)))
    del_idx = nearest

    # güvenli sil
    try:
        del self.tr[del_idx]
        del self.tp[del_idx]
        del self.tq[del_idx]
    except Exception:
        pass

    self.draw_plots()
    set_suptitle(self.fig, f'Silindi. Kalan flare: {len(self.tr)}')
    self.reset_mode()

# =====
# Çizim yardımcıları

```

```

# =====
def draw_temp_marker(self, idx, fmt):
    if idx is None or idx < 0 or idx >= len(self.zmn):
        return
    color = fmt[0]
    p, = self.ax_aki.plot(self.zmn[idx], self.aki[idx], color + 'x', markersize=10,
markedgedwidth=2)
    self.temp_markers.append(p)
    self.fig.canvas.draw_idle()

def clear_temp_markers(self):
    for p in self.temp_markers:
        if hasattr(p, "remove") and getattr(p, "_remove_method", None) is not None and
p.axes is not None:
            try:
                p.remove()
            except Exception:
                pass
    self.temp_markers.clear()
    self.fig.canvas.draw_idle()

def draw_plots(self):
    # mevcut limitleri koru
    xlim_aki = self.ax_aki.get_xlim()
    ylim_aki = self.ax_aki.get_ylim()
    xlim_fark = self.ax_fark.get_xlim()
    ylim_fark = self.ax_fark.get_ylim()

    self.ax_aki.cla()
    self.ax_fark.cla()

    # cla() sonrası kopmuş artist referanslarını sıfırla
    self.temp_markers = []
    self.highlight_markers = []
    self.highlight_texts = []

    # Akı grafiği
    self.ax_aki.plot(self.zmn, self.aki, 'b.', markersize=1)
    self.ax_aki.plot([self.zmn[i] for i in self.tr], [self.aki[i] for i in self.tr], 'go',
markersize=5)
    self.ax_aki.plot([self.zmn[i] for i in self.tp], [self.aki[i] for i in self.tp], 'ro',
markersize=5)
    self.ax_aki.plot([self.zmn[i] for i in self.tq], [self.aki[i] for i in self.tq], 'bo',
markersize=5)

    # Y eksenini etiketi ve bilimsel format
    self.ax_aki.set_ylabel("Akı", labelpad=2)
    self.ax_aki.ticklabel_format(style='scientific', scilimits=(-3, 3), axis='y')

```

```

self.fig.canvas.draw() # offset yazısını hesaplat

# Bilimsel çarpanı üst köşeye yaz
offset_text = self.ax_aki.get_yaxis().get_offset_text().get_text()
self.ax_aki.get_yaxis().get_offset_text().set_visible(False)
self.ax_aki.tick_params(axis='y', labelsz=6)
if offset_text:
    self.ax_aki.text(0.02, 0.98, f"Ak1 (×{offset_text})",
transform=self.ax_aki.transAxes,
ha='left', va='top', fontsize=9)

# Fark Ak1 grafiği
if self.fark_zmn is not None and self.fark_aki is not None:
    self.ax_fark.plot(self.fark_zmn, self.fark_aki, 'b.', markersz=1)

    max_idx = len(self.fark_aki) - 1
    valid_tr = [i for i in self.tr if (i - 1) <= max_idx]
    valid_tp = [i for i in self.tp if i < len(self.fark_zmn)]
    valid_tq = [i for i in self.tq if (i - 1) <= max_idx]

    self.ax_fark.plot([self.fark_zmn[i - 1] for i in valid_tr], [self.fark_aki[i - 1] for i in
valid_tr], 'go',
markersz=5)
    self.ax_fark.plot([self.fark_zmn[i] for i in valid_tp], [self.fark_aki[i] for i in
valid_tp], 'ro',
markersz=5)
    self.ax_fark.plot([self.fark_zmn[i - 1] for i in valid_tq], [self.fark_aki[i - 1] for i
in valid_tq], 'mo',
markersz=5)

    self.ax_fark.set_xlabel("Zaman (BJD)")
    self.ax_fark.set_ylabel("Fark Ak1", labelpad=-5)
    self.ax_fark.set_visible(True)
    self.ax_fark.tick_params(axis='y', labelsz=6)
    self.ax_fark.ticklabel_format(style='scientific', scilimits=(-3, 3), axis='y')
    self.fig.canvas.draw() # offset yazısını hesaplat

    fark_offset = self.ax_fark.get_yaxis().get_offset_text().get_text()
    self.ax_fark.get_yaxis().get_offset_text().set_visible(False)
    if fark_offset:
        self.ax_fark.text(0.02, 0.98, f"Fark Ak1 (×{fark_offset})",
transform=self.ax_fark.transAxes,
ha='left', va='top', fontsize=9)
    else:
        self.ax_fark.text(0.02, 0.98, "Fark Ak1", transform=self.ax_fark.transAxes,
ha='left', va='top', fontsize=9)
    else:
        self.ax_fark.set_visible(False)

```



```

# Eksen limitlerini koru
self.ax_aki.set_xlim(xlim_aki)
self.ax_aki.set_ylim(ylim_aki)
self.ax_fark.set_xlim(xlim_fark)
self.ax_fark.set_ylim(ylim_fark)

set_suptitle(self.fig, f'{self.dosya_adi} | Toplam flare: {len(self.tr)}')
self.fig.canvas.draw_idle()

# =====
# Highlight
# =====
def highlight_flare(self, index):
    for m in self.highlight_markers:
        if hasattr(m, "remove") and getattr(m, "_remove_method", None) is not None and
m.axes is not None:
            try:
                m.remove()
            except Exception:
                pass
    self.highlight_markers.clear()

if index < 0 or index >= len(self.tr):
    self.fig.canvas.draw_idle()
    return

tp_idx = self.tp[index]
ylim = self.ax_aki.get_ylim()
y_range = ylim[1] - ylim[0]

txt_tp = self.ax_aki.text(
    self.zmn[tp_idx],
    self.aki[tp_idx] + 0.03 * y_range,
    f'{index + 1}',
    color='black',
    fontsize=9,
    fontweight='bold',
    ha='center',
    va='bottom'
)
self.highlight_markers.append(txt_tp)
self.fig.canvas.draw_idle()

def clear_highlight(self):
    for m in self.highlight_markers:
        if hasattr(m, "remove") and getattr(m, "_remove_method", None) is not None and
m.axes is not None:
            try:

```

```

        m.remove()
    except Exception:
        pass
    self.highlight_markers.clear()

    for t in self.highlight_texts:
        if hasattr(t, "remove") and getattr(t, "_remove_method", None) is not None and
t.axes is not None:
            try:
                t.remove()
            except Exception:
                pass
    self.highlight_texts.clear()
    self.fig.canvas.draw_idle()

# =====
# Flare Viewer
# =====
def open_flare_viewer(self, event=None):
    import __main__
    import desk_flr_viewer

    try:
        if (
            hasattr(__main__, "flare_viewer_instance")
            and __main__.flare_viewer_instance is not None
            and __main__.flare_viewer_instance.wininfo_exists()
        ):
            print("[FlareEditor] Eski FlareViewer bulundu, güncelleniyor...")
            __main__.flare_viewer_instance.guncelle_flare_listesi(self.tr, self.tp, self.tq)
            __main__.flare_viewer_instance.listeyi_guncelle()
            # sadece burada konsola yaz
            self._print_flare_table()
            return
    except Exception as e:
        print(f"[FlareEditor] Flare grafik penceresi açılırken hata (eski): {e}")
        __main__.flare_viewer_instance = None # bozulmuşsa sıfırla

    try:
        print("[FlareEditor] Yeni FlareViewer açılıyor...")
        viewer = desk_flr_viewer.FlareViewer(
            self.zmn + self.offset,
            self.aki,
            self.tr,
            self.tp,
            self.tq,
            self.fark_zmn + self.offset if self.fark_zmn is not None else None,
            self.fark_aki,

```

```

        parent_editor=self,
    )
    __main__.flare_viewer_instance = viewer
    # sadece burada konsola yaz
    self._print_flare_table()
except Exception as e:
    print(f'[FlareEditor] Flare grafik penceresi açılırken hata: {e}')

```

```

def butonlari_ekle(fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn=None, fark_aki=None,
dosya_adi=""):
    editor = FlareEditor(fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn, fark_aki, dosya_adi)
    return editor

```

#desk_flr_viewer.py

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import matplotlib.widgets as mwidgets
from zaman import zaman_istatistik_grafigi
import desk_flr_viewer

```

```

flare_viewer_instance = None # Global değişken

```

```

def jd_offset(zmn):
    if len(zmn) == 0:
        return 0
    val = np.median(zmn)
    if val > 2400000:
        return int(val // 1000 * 1000)
    return 0

```

```

def set_suptitle(fig, text):
    if hasattr(fig, "_suptitle") and fig._suptitle:
        fig._suptitle.set_text(text)
    else:
        fig._suptitle = fig.suptitle(text, fontsize=12)
    fig.canvas.draw_idle()

```

```

class FlareEditor:
    def __init__(self, fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn=None, fark_aki=None,
dosya_adi=""):
        # --- veri ve eksenler
        self.offset = jd_offset(zmn)

```

```

self.zmn = np.array(zmn) - self.offset
self.aki = np.array(aki)
self.tr = list(tr)
self.tp = list(tp)
self.tq = list(tq)
self.dosya_adi = dosya_adi

self.fark_zmn = np.array(fark_zmn) - self.offset if fark_zmn is not None else None
self.fark_aki = np.array(fark_aki) if fark_aki is not None else None

self.fig = fig
self.ax_aki = axs[0]
self.ax_fark = axs[1]

# --- durum
self.mode = None          # 'ekle' | 'sil' | None
self.click_stage = 0      # ekle akışı için 0->tr, 1->tp, 2->tq
self.tr_temp = None
self.tp_temp = None
self.tq_temp = None

# --- geçici/highlight artist referansları
self.temp_markers = []
self.highlight_markers = []
self.highlight_texts = []

# --- event bağla (varsa eskisini kopar)
if hasattr(self.fig.canvas, "flare_cid") and self.fig.canvas.flare_cid is not None:
    self.fig.canvas.mpl_disconnect(self.fig.canvas.flare_cid)
self.fig.canvas.flare_cid = self.fig.canvas.mpl_connect('button_press_event',
self.onclick)

# --- alt boşlukta kalmış eksenleri temizle ve margin
for ax in list(self.fig.axes):
    if ax.get_position().y0 < 0.05:
        try:
            ax.remove()
        except Exception:
            pass
self.fig.subplots_adjust(left=0.12, right=0.97, top=0.87, bottom=0.15)

# --- butonlar
if not hasattr(self, "btn_ekle"):
    ax_button_ekle = fig.add_axes([0.18, 0.01, 0.15, 0.05])
    self.btn_ekle = mwidgets.Button(ax_button_ekle, 'Flare Ekle')
    self.btn_ekle.on_clicked(self.activate_ekle_mode)

    ax_button_flare = fig.add_axes([0.49, 0.01, 0.20, 0.05])

```

```

self.btn_flare = mwidgets.Button(ax_button_flare, 'Flare Grafik')
self.btn_flare.on_clicked(self.open_flare_viewer)

ax_button_zaman = fig.add_axes([0.71, 0.01, 0.20, 0.05])
self.btn_zaman = mwidgets.Button(ax_button_zaman, 'Zaman Grafik')
self.btn_zaman.on_clicked(self.open_zaman_grafikleri)

# --- ilk çizim
self.draw_plots()
self.highlight_flare(-1)

# =====
# Yardımcılar / Modlar
# =====
def open_zaman_grafikleri(self, event):
    zaman_istatistik_grafigi(self.zmn + self.offset, self.aki, self.tr, self.tp, self.tq,
show=True)

def activate_ekle_mode(self, event):
    self.mode = 'ekle'
    self.click_stage = 0
    self.tr_temp = None
    self.tp_temp = None
    self.tq_temp = None
    self.clear_temp_markers()
    set_suptitle(self.fig, "Ekleme modunda: sırayla tr -> tp -> tq tıkla")

def reset_mode(self):
    self.mode = None
    self.click_stage = 0
    self.tr_temp = None
    self.tp_temp = None
    self.tq_temp = None
    self.clear_temp_markers()
    set_suptitle(self.fig, f'{self.dosya_adi} | Toplam flare: {len(self.tr)}')
    self.clear_highlight()

# =====
# Konsola tablo yazdır (ED ve Fp/Fq HESAPLAR BURADA)
# =====
def _print_flare_table(self):
    """PyCharm konsoluna güncel flare listesini yazdırır (sadece Flare Grafik'te
çağrılır)."""
    try:
        bk = self.zmn + self.offset # BJD bazlı zaman dizisi
        n = len(self.tr)

        # Kadans (dakika) tahmini

```

```

kadans_dk = None
if len(self.zmn) > 1:
    med_dt_day = float(np.median(np.diff(self.zmn))) # gün
    kadans_dk = med_dt_day * 1440.0 # dakika

# Zaman etiketi (hedef: dosya adına göre BTJD/BKJD yazmak)
dosya_upper = (self.dosya_adi or "").upper()
if "TIC" in dosya_upper or "TESS" in dosya_upper:
    zaman_etiketi = "BTJD (BJD-2457000)"
else:
    zaman_etiketi = "BKJD (BJD-2454833)"

# Başlık
if kadans_dk is not None:
    if 1.8 <= kadans_dk <= 2.2:
        print("Kadans modu: TESS 2 dk")
    elif 28.0 <= kadans_dk <= 31.0:
        print("Kadans modu: Kepler LC (~29.4 dk)")
    else:
        print(f"Kadans modu: ~{kadans_dk:.1f} dk")
else:
    print("Kadans modu: (bilgi yok)")

print(f"Dosya : {self.dosya_adi if self.dosya_adi else '(adı verilmemiş)'}")
print(f"Toplam flare: {n}")
print(f"No | TR [{zaman_etiketi}] | TP [{zaman_etiketi}] | TQ [{zaman_etiketi}]
| Fp/Fq | ED (dk)")
print("-" * 100)

# ED (dk) hesaplayıcı: [i0,i1] aralığında (F/Fq - 1)_+ integrali (trapez), dakika
birimi
def ed_minutes(idx_start, idx_end, fq):
    if fq is None or not np.isfinite(fq) or fq <= 0:
        return None
    if idx_start is None or idx_end is None:
        return None
    i0 = int(max(0, min(idx_start, idx_end)))
    i1 = int(min(len(self.zmn) - 1, max(idx_start, idx_end)))
    if i1 - i0 < 1:
        return 0.0
    # normalize fazla: (F/Fq - 1), negatifleri 0'a bas
    f_excess = np.clip(self.aki[i0:i1 + 1] / fq - 1.0, 0.0, None)
    # zaman adımı (gün -> dakika)
    t = self.zmn[i0:i1 + 1]
    dt_min = np.diff(t) * 1440.0
    if not np.all(np.isfinite(dt_min)):
        return None
    area_min = np.sum(0.5 * (f_excess[:-1] + f_excess[1:]) * dt_min)

```

```

        return float(area_min)

# Satırlar
for i in range(n):
    tri = int(self.tr[i])
    tpi = int(self.tp[i])
    tqi = int(self.tq[i])

    tr_i = bk[tri]
    tp_i = bk[tpi]
    tq_i = bk[tqi]

    # Fq: tr öncesi pencere medyanı (yoksa global medyan)
    pre_win = 10
    s = max(0, tri - pre_win)
    e = tri
    if e - s >= 3:
        fq = float(np.median(self.aki[s:e]))
    else:
        fq = float(np.median(self.aki))

    # Fp: tepe akısı
    fp = float(self.aki[tpi]) if 0 <= tpi < len(self.aki) else np.nan

    ratio = None
    if np.isfinite(fp) and np.isfinite(fq) and fq > 0:
        ratio = fp / fq

    # ED (dk)
    ed = ed_minutes(tri, tqi, fq)

    ratio_txt = f"{ratio:5.3f}" if (ratio is not None and np.isfinite(ratio)) else " -- "
    ed_txt = f"{ed:7.2f}" if (ed is not None and np.isfinite(ed)) else "   --"

    print(f'{i + 1:3d} | {tr_i:22.6f} | {tp_i:22.6f} | {tq_i:22.6f} | {ratio_txt} | {ed_txt}')

    print("-" * 100)
except Exception as e:
    print(f'[print] Hata: {e}')
# =====
# Etkinlik / Tıklama
# =====
def onclick(self, event):
    # eksen dışı veya xdata None ise çık
    if event.inaxes not in [self.ax_aki, self.ax_fark]:
        return
    if event.xdata is None:

```

```

        return

    if self.mode == 'ekle':
        self.add_flare(event)
    elif self.mode == 'sil':
        self.delete_flare(event)

# =====
# Ekleme akışı
# =====
def add_flare(self, event):
    if event is None or event.xdata is None:
        return
    if len(self.zmn) == 0:
        return

    zaman = event.xdata + self.offset
    idx = int(np.argmin(np.abs((self.zmn + self.offset) - zaman)))

    if self.click_stage == 0:
        self.tr_temp = idx
        self.clear_temp_markers()
        self.draw_temp_marker(self.tr_temp, 'go')
        self.click_stage = 1
        set_suptitle(self.fig, "İkinci tıklama: tp için maksimum noktayı seç")

    elif self.click_stage == 1:
        pencere = 5
        bas = max(0, idx - pencere)
        son = min(len(self.aki) - 1, idx + pencere)
        local_max_idx = bas + int(np.argmax(self.aki[bas:son + 1]))
        self.tp_temp = local_max_idx
        self.clear_temp_markers()
        self.draw_temp_marker(self.tp_temp, 'ro')
        self.click_stage = 2
        set_suptitle(self.fig, "Üçüncü tıklama: tq için son noktayı seç")

    elif self.click_stage == 2:
        self.tq_temp = idx
        self.clear_temp_markers()
        self.draw_temp_marker(self.tq_temp, 'bo')

        self.tr.append(self.tr_temp)
        self.tp.append(self.tp_temp)
        self.tq.append(self.tq_temp)

    # tp'ye göre sıralama
    sorted_idx = sorted(range(len(self.tp)), key=lambda i: self.tp[i])

```



```

self.tr = [self.tr[i] for i in sorted_idx]
self.tp = [self.tp[i] for i in sorted_idx]
self.tq = [self.tq[i] for i in sorted_idx]

# burada konsola yazdırma yok; sadece butonla istenir
self.draw_plots()
self.reset_mode()

# =====
# Silme akışı
# =====
def delete_flare(self, event):
    if len(self.tp) == 0:
        set_suptitle(self.fig, "Silinecek flare yok.")
        self.reset_mode()
        return

    # tıklanan x'e en yakın TP'yi bul
    zaman = event.xdata # BKJD (offset çıkarılmış)
    tp_x = np.array([self.zmn[i] for i in self.tp])
    nearest = int(np.argmin(np.abs(tp_x - zaman)))
    del_idx = nearest

    # güvenli sil
    try:
        del self.tr[del_idx]
        del self.tp[del_idx]
        del self.tq[del_idx]
    except Exception:
        pass

    self.draw_plots()
    set_suptitle(self.fig, f'Silindi. Kalan flare: {len(self.tr)}')
    self.reset_mode()

# =====
# Çizim yardımcıları
# =====
def draw_temp_marker(self, idx, fmt):
    if idx is None or idx < 0 or idx >= len(self.zmn):
        return
    color = fmt[0]
    p, = self.ax_aki.plot(self.zmn[idx], self.aki[idx], color + 'x', markersize=10,
markedgewidth=2)
    self.temp_markers.append(p)
    self.fig.canvas.draw_idle()

def clear_temp_markers(self):

```

```

        for p in self.temp_markers:
            if hasattr(p, "remove") and getattr(p, "_remove_method", None) is not None and
p.axes is not None:
                try:
                    p.remove()
                except Exception:
                    pass
        self.temp_markers.clear()
        self.fig.canvas.draw_idle()

def draw_plots(self):
    # mevcut limitleri koru
    xlim_aki = self.ax_aki.get_xlim()
    ylim_aki = self.ax_aki.get_ylim()
    xlim_fark = self.ax_fark.get_xlim()
    ylim_fark = self.ax_fark.get_ylim()

    self.ax_aki.cla()
    self.ax_fark.cla()

    # cla() sonrası kopmuş artist referanslarını sıfırla
    self.temp_markers = []
    self.highlight_markers = []
    self.highlight_texts = []

    # Akı grafiği
    self.ax_aki.plot(self.zmn, self.aki, 'b.', markersize=1)
    self.ax_aki.plot([self.zmn[i] for i in self.tr], [self.aki[i] for i in self.tr], 'go',
markersize=5)
    self.ax_aki.plot([self.zmn[i] for i in self.tp], [self.aki[i] for i in self.tp], 'ro',
markersize=5)
    self.ax_aki.plot([self.zmn[i] for i in self.tq], [self.aki[i] for i in self.tq], 'bo',
markersize=5)

    # Y eksenini etiketi ve bilimsel format
    self.ax_aki.set_ylabel("Akı", labelpad=2)
    self.ax_aki.ticklabel_format(style='scientific', scilimits=(-3, 3), axis='y')
    self.fig.canvas.draw() # offset yazısını hesaplat

    # Bilimsel çarpanı üst köşeye yaz
    offset_text = self.ax_aki.get_yaxis().get_offset_text().get_text()
    self.ax_aki.get_yaxis().get_offset_text().set_visible(False)
    self.ax_aki.tick_params(axis='y', labelsize=6)
    if offset_text:
        self.ax_aki.text(0.02, 0.98, f"Ak1 (×{offset_text})",
transform=self.ax_aki.transAxes,
ha='left', va='top', fontsize=9)

```

```

# Fark Akı grafiği
if self.fark_zmn is not None and self.fark_aki is not None:
    self.ax_fark.plot(self.fark_zmn, self.fark_aki, 'b.', markersize=1)

    max_idx = len(self.fark_aki) - 1
    valid_tr = [i for i in self.tr if (i - 1) <= max_idx]
    valid_tp = [i for i in self.tp if i < len(self.fark_zmn)]
    valid_tq = [i for i in self.tq if (i - 1) <= max_idx]

    self.ax_fark.plot([self.fark_zmn[i - 1] for i in valid_tr], [self.fark_aki[i - 1] for i in
valid_tr], 'go',
                    markersize=5)
    self.ax_fark.plot([self.fark_zmn[i] for i in valid_tp], [self.fark_aki[i] for i in
valid_tp], 'ro',
                    markersize=5)
    self.ax_fark.plot([self.fark_zmn[i - 1] for i in valid_tq], [self.fark_aki[i - 1] for i
in valid_tq], 'mo',
                    markersize=5)

    self.ax_fark.set_xlabel("Zaman (BJD)")
    self.ax_fark.set_ylabel("Fark Akı", labelpad=-5)
    self.ax_fark.set_visible(True)
    self.ax_fark.tick_params(axis='y', labelsize=6)
    self.ax_fark.ticklabel_format(style='scientific', scilimits=(-3, 3), axis='y')
    self.fig.canvas.draw() # offset yazısını hesaplat

    fark_offset = self.ax_fark.get_yaxis().get_offset_text().get_text()
    self.ax_fark.get_yaxis().get_offset_text().set_visible(False)
    if fark_offset:
        self.ax_fark.text(0.02, 0.98, f'Fark Akı (×{fark_offset})',
transform=self.ax_fark.transAxes,
                        ha='left', va='top', fontsize=9)
    else:
        self.ax_fark.text(0.02, 0.98, "Fark Akı", transform=self.ax_fark.transAxes,
                        ha='left', va='top', fontsize=9)
    else:
        self.ax_fark.set_visible(False)

# Eksen limitlerini koru
self.ax_aki.set_xlim(xlim_aki)
self.ax_aki.set_ylim(ylim_aki)
self.ax_fark.set_xlim(xlim_fark)
self.ax_fark.set_ylim(ylim_fark)

set_suptitle(self.fig, f'{self.dosya_adi} | Toplam flare: {len(self.tr)}')
self.fig.canvas.draw_idle()

# =====

```

```

# Highlight
# =====
def highlight_flare(self, index):
    for m in self.highlight_markers:
        if hasattr(m, "remove") and getattr(m, "_remove_method", None) is not None and
m.axes is not None:
            try:
                m.remove()
            except Exception:
                pass
    self.highlight_markers.clear()

    if index < 0 or index >= len(self.tr):
        self.fig.canvas.draw_idle()
        return

    tp_idx = self.tp[index]
    ylim = self.ax_aki.get_ylim()
    y_range = ylim[1] - ylim[0]

    txt_tp = self.ax_aki.text(
        self.zmn[tp_idx],
        self.aki[tp_idx] + 0.03 * y_range,
        f'{index + 1}',
        color='black',
        fontsize=9,
        fontweight='bold',
        ha='center',
        va='bottom'
    )
    self.highlight_markers.append(txt_tp)
    self.fig.canvas.draw_idle()

def clear_highlight(self):
    for m in self.highlight_markers:
        if hasattr(m, "remove") and getattr(m, "_remove_method", None) is not None and
m.axes is not None:
            try:
                m.remove()
            except Exception:
                pass
    self.highlight_markers.clear()

    for t in self.highlight_texts:
        if hasattr(t, "remove") and getattr(t, "_remove_method", None) is not None and
t.axes is not None:
            try:
                t.remove()

```

```

        except Exception:
            pass
        self.highlight_texts.clear()
        self.fig.canvas.draw_idle()

# =====
# Flare Viewer
# =====
def open_flare_viewer(self, event=None):
    import __main__
    import desk_flr_viewer

    try:
        if (
            hasattr(__main__, "flare_viewer_instance")
            and __main__.flare_viewer_instance is not None
            and __main__.flare_viewer_instance.wininfo_exists()
        ):
            print("[FlareEditor] Eski FlareViewer bulundu, güncelleniyor...")
            __main__.flare_viewer_instance.guncelle_flare_listesi(self.tr, self.tp, self.tq)
            __main__.flare_viewer_instance.listeyi_guncelle()
            # sadece burada konsola yaz
            self._print_flare_table()
            return
    except Exception as e:
        print(f"[FlareEditor] Flare grafik penceresi açılırken hata (eski): {e}")
        __main__.flare_viewer_instance = None # bozulmuşsa sıfırla

    try:
        print("[FlareEditor] Yeni FlareViewer açılıyor...")
        viewer = desk_flr_viewer.FlareViewer(
            self.zmn + self.offset,
            self.aki,
            self.tr,
            self.tp,
            self.tq,
            self.fark_zmn + self.offset if self.fark_zmn is not None else None,
            self.fark_aki,
            parent_editor=self,
        )
        __main__.flare_viewer_instance = viewer
        # sadece burada konsola yaz
        self._print_flare_table()
    except Exception as e:
        print(f"[FlareEditor] Flare grafik penceresi açılırken hata: {e}")

```

```

def butonlari_ekle(fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn=None, fark_aki=None,

```

```
dosya_adi=""):
    editor = FlareEditor(fig, axs, zmn, aki, tr, tp, tq, fark_zmn, fark_aki, dosya_adi)
    return editor
```

#zaman.py

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import numpy as np
```

```
from matplotlib.lines import Line2D
```

```
def zaman_istatistik_grafigi(zmn, aki, tr, tp, tq, show=True):
```

```
    n = len(tp)
```

```
    tp_zaman = np.array([zmn[i] for i in tp])
```

```
    deltatr = np.array([zmn[tp[i]] - zmn[tr[i]] for i in range(n)])
```

```
    deltatq = np.array([zmn[tq[i]] - zmn[tp[i]] for i in range(n)])
```

```
    fp_fq = np.array([
        aki[tp[i]] / aki[tq[i]] if aki[tq[i]] != 0 else np.nan
        for i in range(n)
    ])
```

```
# Önceki zaman grafiklerini kapat (sadece başlığa göre)
```

```
for manager in plt._pylab_helpers.Gcf.get_all_fig_managers():
```

```
    fig = manager.canvas.figure
```

```
    if fig._suptitle and 'Yükselme' in fig._suptitle.get_text():
```

```
        plt.close(fig)
```

```
# Yeni figür oluştur
```

```
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(7, 5), sharex=True)
```

```
bar_width = 0.4
```

```
indices = np.arange(n)
```

```
ax1.bar(indices - bar_width / 2, deltatr, bar_width, color='blue')
```

```
ax1.bar(indices + bar_width / 2, deltatq, bar_width, color='green')
```

```
ax1.set_ylabel('Süre (gün)')
```

```
ax1.grid(True, axis='y')
```

```
ax2.plot(indices, fp_fq, 'r-o', linewidth=2)
```

```
ax2.set_ylabel('Fp/Fq')
```

```
ax2.set_xlabel('Flare No')
```

```
ax2.set_xticks(indices)
```

```
ax2.set_xticklabels([str(i + 1) for i in range(n)])
```

```
ax2.grid(True, axis='y')
```

```
fig.suptitle(
```

```
    '1)Yükselme-Sönümlleme Süresi    2) Peak Akı (Fp)/Sönümlleme Akı (Fq) Oranı  
Grafikleri',
```

```
    fontsize=10, y=0.96
```

```

)

legend_elements = [
    Line2D([0], [0], color='blue', marker='s', linestyle='None', markersize=10,
label='Yükselme Süresi'),
    Line2D([0], [0], color='green', marker='s', linestyle='None', markersize=10,
label='Sönümlleme Süresi'),
    Line2D([0], [0], color='red', marker='o', linestyle='-', linewidth=2, label='Fp/Fq
Oranı'),
]
fig.legend(
    handles=legend_elements,
    loc='upper center',
    bbox_to_anchor=(0.5, 0.905),
    ncol=3,
    frameon=False,
    fontsize=9
)

fig.tight_layout()
fig.subplots_adjust(top=0.85)

if show:
    fig.show() # plt.show() yerine bu, yeni pencere açmaz

```