



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



Yüksek Lisans Tezi

**UZUN SÜRELİ IŞIMA GÖSTEREN KISA GAMA IŞINI
PATLAMALARININ ARAŞTIRILMASI**

Şeyma Ceren SANLI

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Ocak, 2022

İSTANBUL

Bu alışma, 10.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ersin GÖĞÜş
Sabancı Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Can GÜNGÖR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez, 119F335 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi ile desteklenmiştir.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın konusunu oluşturan Gama Işını Patlamaları bilimine, ileri araştırma alanı bağlamında merak duymamı sağlayan ve tez sürecimin her aşamasında bilgi ve birikimini benimle paylaşıp bana rehberlik eden sevgili danışmanım Sn. Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER'e tüm emeklerinden dolayı her zaman minnettar olacağım.

Tez çalışmamın üzerinde yükseldiği öncü araştırmaları danışman hocamla birlikte ortaya koymuş olan, ilgili çalışmalarının ayrıntılarını paylaşıp tüm sorularımızda yönlendirmeleriyle yardımcı olan ve araştırma süreçlerimizi takip ederek yapıcı eleştirilerde bulunan Sn. Prof. Dr. Ersin GÖĞÜŞ ile Sn. Doç. Dr. Yuki KANEKO'ya teşekkür ederim.

Tezimi oluşturan adımları farklı açılardan sorgulamamı sağlayan soruları ve değerli tavsiyeleri için Sn. Dr. Öğr. Üyesi Can GÜNGÖR'e,

Kritik anlarda sağladığı teknik desteği ile çalışmaların kesintisiz ilerlemesine katkıda bulunan Sn. Prof. Dr. Tolga GÜVER'e,

GRB konseptini kavramama yardımcı olan Sn. Dr. Öğr. Üyesi Massimiliano de PASQUALE'a ve verdikleri dersler ile bilimsel donanımıza katkıda bulunmuş tüm hocalarıma teşekkür borçluyum.

GRB dünyasını öğrenme yolundaki arkadaşlarım, gece-gündüz demeden her fırsatta iletişime geçip fikirlerimizi birbirimizle paylaştığımız Ceyda KÖK'e ve sevgili Deniz KÖK'e,

Tezimle ilgili tüm yardımları için Remziye CANBAY ve Hasret ATASOY YAVUZ'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca yanımda olup daima iyiliğimi isteyen ve her bir ferdini canımdan çok sevdiğim biricik aileme,

Ömürlük dostlarım Emine Sultan ÇAKIR, Hale İZ, Şule İZ, Zehra ÖZATİK ve Zehranur TORUN'a ve bir şekilde hayatıma dokunmuş olan tüm sevgili arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi sürecimde desteklerinden dolayı Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK),

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümünün sağlamış olduğu bilimsel ortam için Bölüm Başkanlığına ve fiziksel emekleriyle bu ortamın rahat ve güvenli bir şekilde sürdürülmesine katkıda bulunan tüm personele içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, incelenilme potansiyeli olan sayısız doğal fenomen ile hayat daha çekilebilir kılındığı için teşekkür ederim.

Ocak 2022

Şeyma Ceren SANLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	7
2.1. GAMA IŞINI PATLAMALARI BİLİMİNİN GELİŞİMİ	7
2.1.1. GRB'lerin Keşfi ve İlk Araştırmalar	8
2.2. EE BİLEŞENİ GÖSTEREN GRB ARAŞTIRMALARI	13
2.2.1. Gözlemsel Araştırmalar	13
2.2.2. Teorik Çalışmalar	18
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
3.1. NEIL GEHRELS SWIFT GÖZLEMEVİ	20
3.1.1. BAT Verilerinin İşlenmesi	21
3.2. ÖNCÜ IŞINIM İÇİN MORFOLOJİK KRİTER.....	22
3.3. EE BİLEŞENİ ARAMA METODU	24
3.3.1. EE Bileşeninin Doğrulanma Aşamaları.....	25
3.4. BAYES BLOKLARI METODU	26
3.5. TAYF ANALİZİ	26
3.5.1. Tayfların Oluşturulması.....	26
3.5.2. RMFIT Programı	26
3.5.3. Model Sonuçlarından Türetilen Parametrelerin Hesaplanması	27
4. BULGULAR.....	28
4.1. KISA PATLAMA KABUL EDİLEN ADAYLAR	28
4.2. EE BİLEŞENİ BELİRLENEN PATLAMALAR	30
4.3. PATLAMA BİLEŞENLERİNİN SÜRELERİ	32
4.4. TAYF ANALİZİ SONUÇLARI	34

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	37
5.1. İKİ BİLEŞENLİ JET MODELİNE UYUMLULUK.....	38
5.2. KORELASYONLARIN ARAŞTIRILMASI	40
KAYNAKLAR.....	44
EKLER	51
EK 1. 1 Şubat 2013 ile 31 Ağustos 2020 tarihleri aralığında gözlenmiş <i>Swift</i> /BAT GRB verilerinin katalog bilgilerinin listesi.....	51
EK 2. Morfolojik kriteri sağlayan uzun patlamaların ışık eğrileri.	52
EK 3. EE bileşenleri tespit edilen GRB'ler.	57
EK 4. EE'li GRB'lerin Bayes blok ışık eğrileri.	62
EK 5. Tayf analizi yapılan tüm EE'li GRB patlamalarına ait öncü ışıınım ve EE tayfları ile en iyi uyumu veren foton modelleri.	68
EK 6. Parametre çiftleri arasında bulunan korelasyonların grafikleri.	78
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 1.1: Ateştopu şok modeline göre gama ışını patlamalarının farklı fazlarının (öncü ışınım ve ardıl ışınım) ve yayımlayabilecekleri farklı dalga boylarına sahip ışınım çeşitlerinin gösterimi. (©NASA/Goddard Space Flight Center/ICRAR). 1
- Şekil 1.2: GRB'lerin oluşumlarına dair; uzun patlamaların çekirdek çökme senaryosu (solda) ile kısa süreli GRB'lerin birleşme senaryosu (sağda) illüstrasyonları (©NASA/ASD). 3
- Şekil 2.1: 22 Ağustos 1970 tarihine ait, üç farklı Vela uydusu ile gözlenmiş bir patlamanın ışık eğrileri. Lineer zaman ile gösterilen kısım, zemin ışınımı seviyesini temsil etmektedir. Düşey oklar benzer yapılara işaret etmektedir. 8
- Şekil 2.2: Vela 6A ve Apollo 16 uydularının ortak gözlediği GRB patlamasına ait ölçeklenmiş ışık eğrisi. (Metzger ve diğ., 1973) 10
- Şekil 2.3: BATSE dedektörünün 1991 - 2000 yılları arasında gözlediği 2704 GRB'nin gökyüzü dağılım haritası. Renk skalası, 50 - 300 keV enerji akısını (erg cm^{-2}) göstermekte ve her bir nokta ayrı bir gözleme işaret etmektedir. 11
- Şekil 2.4: BATSE ile 21 Nisan 1991 – 5 Mart 1992 arasında gözlenmiş 222 GRB'ye ait uzun ve kısa patlamaların sertlik oranı histogramları (a) ve patlamaların T_{90} süresine göre ikili moda sahip olduğu görülen dağılım grafikleri (b) (Kouveliotou ve diğ., 1993). HR_{32} ile dedektörün üçüncü enerji kanalına (100 - 300 keV) ait sayımın ikinci enerji kanalına (50 - 100 keV) ait sayıma oranı temsil edilmektedir. 12
- Şekil 3.1: Swift uydusu üzerinde bulunan BAT dedektörünün bileşenlerinin gösterimi. (Barthelmy ve diğ., 2005)..... 20
- Şekil 3.2: GRB060614A patlamasının öncü ışınım yapısı. Üst panelde dikey kesikli çizgi $T_0 + 5$ sn zamanını göstermektedir. Alt panelde morfolojik tarama kriterleri ifade edilmiştir. Sayım / sn'nin sıfır değerindeki kesikli yatay çizgi zemin ışınım seviyesini, üstteki kesikli yatay çizgi ile üçüncü sn civarındaki düşey kesikli çizgi ise patlamanın maksimum değerinin %30'u olan değerini ifade etmektedir. 23
- Şekil 4.1: Uzun süreli GRB olarak kataloglanmış *Swift*/BAT patlamaları arasından kısa süreli öncü ışınım yapısı gösterdiği belirlenen iki patlama örneği. Üst panellerde dikey kesikli çizgi $T_0 + 5$ sn zamanını göstermektedir. Alt panellerde morfolojik tarama kriterleri ifade edilmiştir. Yatay noktalı çizgi patlamanın maksimum değerinin %30'u olan limit değeri, alttaki patlamaya ait grafiğin üstteki kesikli çizgisi ise en yüksek sayım değerinin %50 seviyesini göstermektedir. Dikey kesikli çizgiler de sayım oranı limit değerinin altında kalan %60 ve üzerindeki zaman aralığını temsil etmektedir. 30

Şekil 4.2: EE araştırma sonucu grafiği. Üst panel dört enerji kanalının zemin ışıması çıkarılmış toplamını göstermektedir. Yatay kırmızı kesikli çizgi zemin ışımasının seviyesini göstermektedir. Son dört panel, zamanın bir fonksiyonu olarak sinyal-gürültü oranını (SNR) göstermektedir. Dikey kırmızı kesikli çizgiler arasındaki gölgeli alanlar, SNR'nin en az ardışık 12 saniye boyunca 1.5σ ve üzeri olduğu zaman aralıklarını belirtmekte ve yatay kesikli ve noktalı çizgiler sırasıyla zemin ışın seviyesini ve 1.5σ seviyesini göstermektedir.	31
Şekil 4.3: İki farklı EE bileşenine sahip olduğu belirlenen GRB160425A patlamasına ait öncü bileşen (solda) ve EE bileşenlerinin (sağda) ışık eğrileri (siyah) ve Bayes blok grafikleri (kırmızı).	32
Şekil 4.4: <i>Swift</i> /BAT ile gözlenmiş GRB171120A patlamasının güç kanunu foton modeli ile fit edilmiş öncü ışıınım (sol) ve komptonizasyon foton modeli ile fit edilmiş EE bileşeninin (sağ) tayfları. Sürekli çizgiler foton modellerini, “+” sembolleri ise veriyi temsil etmektedir. Grafiklerdeki alt panellerde veri ile model arasındaki farkların dağılımları verilmiştir.	34
Şekil 5.1: Öncü ve EE bileşenleri arasındaki indeks (üst grafik) ve tayfsal sertlik oranı (alt grafik) ilişkileri. Kesikli çizgiler bire-bir fonksiyonu göstermektedir.	42

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Literatürde T_{90} süresi beş saniyeden uzun olarak verilmesine rağmen, bu çalışmada uygulanan kriterlere göre kısa öncü patlama yapısı gösterdiği belirlenen 25 GRB'nin katalog bilgisi.....	29
Tablo 4.2: Bayes istatistiği ile EE'li GRB'lerin ışık eğrilerinde bulunan bloklardan itibaren tespit edilen öncü ışıınım süresi ($T_{\text{öncü}}$), EE ışıınımı süresi (T_{EE}) ve sırasıyla bu bileşenlerin T_0 zamanı itibariyle başlangıç zamanları ($B_{\text{öncü}}$ ve B_{EE}).....	33
Tablo 4.3: EE'li GRB bileşenlerinin tayflarını en iyi tanımlayan foton model parametre sonuçları ve akı ölçüm sonuçlarından itibaren hesaplanan tayfsal sertlik oranı, enerji akısı ve bileşenlerin en yüksek sayıma ulaştığı en küçük aralıktaki enerji akısı değerleri.....	35
Tablo 5.1: EE'li GRB bileşenleri süresince 15 - 350 keV enerji aralığında ölçülen toplam enerji akı oranlarına ($E_{\text{EE}}/E_{\text{öncü}}$) göre iki bileşenli jet modelinin öngördüğü açılma açısı oranları.....	39
Tablo 5.2: Tayfsal analiz sonuçlarının ikili parametrelerinden hesaplanan korelasyonlar arasından $P < 10^{-4}$ ve $ \rho > 0.5$ kriterlerini sağlayan parametre çiftlerine ait sonuçlar. Kaneko ve diğ., (2015) çalışmasındaki sonuçlarla birleştirilmiş olarak verilen sonuçlar da tabloya karşılaştırma amacıyla “birleştirilmiş örneklem” sütunlarına işlenmiştir.	41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
E	: Toplam enerji (fluence)
F	: Enerji akısı
GeV	: Giga-elektronvolt
H₀	: Hubble sabiti
keV	: Kilo-elektronvolt
ks	: Kilosaniye
L	: Lüminozite
m	: Metre
mCrab	: mili-Crab
MeV	: Mega-elektronvolt
mm	: Milimetre
ms	: Milisaniye
M_☉	: Güneş kütlesi
N	: Veri sayısı
P	: İstatistiksel değerin şansa olma olasılığı
sn	: Saniye
t	: Jet salınım süresi
T	: Bayes bloklarından elde edilen süre değerleri
T₉₀	: Toplam gama ışın akısının %90'ının dedektör tarafından algılanma süresi
z	: Kırmızıya kayma
θ	: Jet açılma açısı
λ	: Tayfsal indeks
ν_̄	: Nötrino anti-nötrino çifti
ρ	: Korelasyon katsayısı
σ	: İstatistiki dağılımın standart sapması
Ω	: Kozmolojik yoğunluk parametresi
χ²	: Ki-kare testi

Kısaltmalar	Açıklama
ACS	: Örtüşmesiz radyasyon kalkanı (Anti-Coincidence Shield)
ASD	: Astrofizik bilimi bölümü (Astrophysics Science Division)
BAT	: Patlama alarm teleskobu (Burst Alert Telescope)
BATSE	: Patlama ve geçici kaynak deneyi (Burst and Transient Source Experiment)
BB	: Bayes blokları
BZ	: Blandford–Znajek
CALDB	: Kalibrasyon veri tabanı (Calibration Data Base)
CGRO	: Compton gama ışını gözlemevi (Compton Gamma-Ray Observatory)
COMP	: Komptonizasyon foton modeli (Comptonization)
DoF	: Serbestlik derecesi (Degrees of Freedom)
EE	: Uzun süreli ışıma (Extended emission)
GBM	: Gama ışını patlaması görüntüleyici (Gamma-Ray Burst Monitor)
GCN	: Gama ışını patlaması koordinatları ağı (Gamma-Ray Burst Coordinates Network)
GRB	: Gama ışını patlaması (Gamma-Ray Bursts)
GW	: Kütleçekim dalgası (Gravitational wave)
HR	: Tayfsal sertlik oranı (Hardness ratio)
ICRAR	: Uluslararası radyo astronomi araştırma merkezi (International Centre for Radio Astronomy Research)
IDL	: İnteraktif veri dili (Interactive Data Language)
INTEGRAL	: Uluslararası gama ışınları astrofiziği laboratuvarı (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory)
ISM	: Yıldızlararası ortam (Interstellar medium)
KD	: Karadelik
NASA	: Ulusal havacılık ve uzay dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
NY	: Nötron yıldızı
PL	: Plato emisyonu
PSF	: Nokta dağılım fonksiyonu (Point spread function)
PWRL	: Kuvvet yasası foton modeli (Power-law)
SN	: Süpernova
SNR	: Sinyal-gürültü oranı (Signal to noise ratio)
SPI	: INTEGRAL spektrometresi (Spectrometer on INTEGRAL)
TDE	: Gelgitsel bozulma olayı (Tidal Disruption Events)

TDRSS	: Takip ve veri aktarma uydusu (Tracking and Data Relay Satellite)
UVOT	: Morötesi ve optik teleskobu (Ultra Violet Optical Telescope)
XRT	: X-ışın teleskobu (X-Ray Telescope)



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZUN SÜRELİ IŞIMA GÖSTEREN KISA GAMA IŞINI PATLAMALARININ ARAŞTIRILMASI

Şeyma Ceren SANLI

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Gama ışını patlamaları (GRB’ler), geleneksel olarak kısa süreli ve uzun süreli olmak üzere iki temel sınıfa ayrılır. Kısa süreli patlamaların genellikle ikili kompakt cisim birleşmeleri ile, uzun süreli patlamaların ise büyük kütleli yıldızların çekirdeğinin çökmesi ile karadelik oluşturması sonucu oluşabileceği düşünülmektedir. Günde ortalama birkaç defa gerçekleşen bu olayların tespitine adanmış uzay görevlerinden elde edilen verilerin artmasıyla, bahsedilen genel çerçeveye uymayan birçok gözlem de kaydedilmiştir. Öyle ki bu “aykırı” GRB’lerin ayrı popülasyonlara ait olabileceği düşüncesi yaygınlaşmıştır. Bahsedilen popülasyonlardan biri hem kısa hem uzun patlamaların karakteristik özelliklerini barındırması nedeniyle hibrit bir sınıf olarak değerlendirilen ve bu tez çalışmasının da odak noktasını oluşturan “uzun süreli ışınım (extended emission: EE) bileşenine sahip kısa gama ışını patlamaları”dır.

EE’li GRB’lerin oluşumları genellikle yeni doğmakta olan nötron yıldızı veya iki bileşenli jet modeli aracılığı ile açıklansa da bu hibrit sınıf ile ilgili teorilerin test edilebilmesi ve yeni düşüncelerin geliştirilebilmesi adına gözlemsel temellerinin sağlamlaştırılması elzemdir. Bu bağlamda Şubat 2013 ila Ağustos 2020 tarihleri arasında *Swift*/BAT dedektörü ile gözlenmiş tüm GRB’lerin ışık eğrilerine, EE’li kısa GRB sınıfında incelenebilecek patlamaların belirlenebilmesi amacıyla belirli kriterler uygulanmıştır. İlgili kriterler, hibrit sınıfın bariz bir örneği olan GRB060614A patlamasının ışık eğrisine olan morfolojik benzerliğe dayanmaktadır. Araştırmanın sonucunda ilgili zaman aralığında gerçekleşen GRB’lerden 25 tanesinin uzun GRB olarak kataloglanmasına rağmen ışık eğrisinin kısa GRB yapısına uygun

olduğu tespit edilmiştir. Tüm kısa GRB’ler dikkate alındığında aralarından 17 tanesinin ilk 350 saniyesinde en az bir EE ışıınım bileşenine sahip olduğu belirlenmiştir. Belirlenen 17 EE’li GRB’nin öncü ve EE bileşenleri için detaylı tayfsal inceleme yapılmış ve bileşen sürelerinin; tayfsal sertlik oranı, maksimum enerji akısı ve tayfsal kırılma indisi ile kuvvetli bir şekilde bağlantılı olduğu bulunmuştur. Diğer bazı önemli parametreler arasındaki korelasyon katsayıları da tez çalışması çerçevesinde sunulmuş ve ayrıca tüm *Swift*/BAT kataloğu üyesi GRB’lerin iki bileşenli jet modeline uygun olduğu gösterilmiştir.

Literatürde aynı kriterlerle Şubat 2013 öncesi *Swift*/BAT kataloğu halihazırda taranmış olduğundan, bu tez çalışması tüm *Swift*/BAT GRB kataloğundaki patlamaların kısa, uzun ve EE bileşenli kısa GRB ayrımının yapılabilmesi açısından tamamlayıcı niteliktedir.

Ocak 2022, 98 sayfa.

Anahtar kelimeler: Gama Işını Patlamaları, Tayf Analizi

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF SHORT GAMMA - RAY BURSTS WITH EXTENDED EMISSION

Şeyma Ceren SANLI

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Gamma-ray bursts (GRBs) are traditionally divided into two basic classes as short and long GRBs. The general idea about the formation of these bursts is that short bursts are caused by the merger of binary compact objects, while longs are caused by massive star's core collapse to form a black hole. With the increase in data from space missions dedicated for these bursts that occur on average several times a day, many observations that do not fit this theoretical framework have been recorded, so that the idea that these "outlier" GRBs may belong to the separate populations. One of the populations mentioned is "short GRBs with extended emission (EE)", which is a hybrid class that has the characteristics of both short and long bursts and is the focus of this thesis.

Although the formation of GRBs with EE is usually explained with the protomagnetars or two-component jet model, it is essential to solidify their observational basis in order to test theories about this hybrid class and develop new ideas. In this context, certain criteria were applied to the light curves of all GRBs observed with the *Swift*/BAT detector between February 2013 and August 2020 in order to determine the explosions that should be examined in the short GRB with EE class. The relevant criteria are based on morphological similarity to the light curve of the GRB060614A burst, an obvious example of the hybrid class. As a result of the research, although 25 of the GRBs in the relevant time period were cataloged as long GRBs, it was determined that the light curve was suitable for the short GRB structure. Considering all short

GRBs, it was determined that 17 of them had at least one EE component in the first 350 seconds. Detailed spectral analysis was performed for the prompt and EE components of the identified 17 EE GRBs and it was found that the component times were strongly correlated with the spectral hardness ratio, maximum energy flux, and spectral index. Correlation coefficients between some other important parameters are also presented within the framework of the thesis study, and it has also been shown that all *Swift*/BAT catalog member GRBs are suitable for the two-component jet model.

Since the *Swift*/BAT catalog was searched with the same criteria in the literature before February 2013, this thesis study is complementary in terms of distinguishing short, long and short GRB with EE components for bursts in the entire *Swift*/BAT GRB catalog.

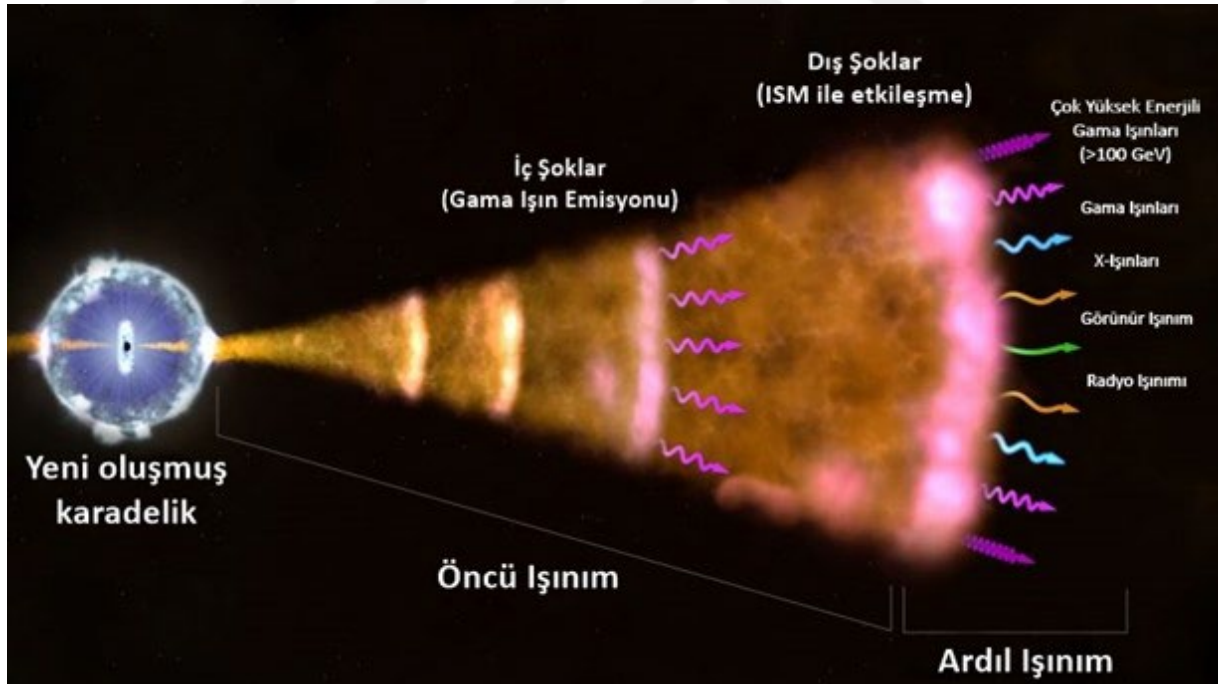
January 2022, 98 pages.

Keywords: Gamma Ray Bursts, Spectral Analysis



1. GİRİŞ

Gama ışını patlamaları (GRB'ler), evrende meydana gelen en yüksek enerjili geçici olaylar arasındadır (Stecker, 2003). Günde ortalama birkaç defa gerçekleşen bu olayların toplam süreleri ms-ks mertebelerinde değişse de bu patlamalar tipik olarak birkaç saniye sürmekte ve bu süre boyunca çevrelerine ortalama 5×10^{50} erg büyüklüğünde izotropik enerji yayımlamaktadır (Frail ve diğ., 2001). Bu değer ise Güneş'in tüm ömrü boyunca yayımladığı enerji veya Samanyolu'nun birkaç yılda yaydığı toplam enerji ile karşılaştırılabilir bir büyüklüktür (Mészáros, 2006). GRB'lerden, kısa sürelerde bu denli yüksek enerjilerin salınması, elektron-pozitron plazması ve elektromanyetik radyasyon içerikli rölativistik jetlerin varlığını gerektirmektedir (Paczynski, 1986). Salınan materyalin yıldızlararası ortam (ISM) ile etkileşmesi sonucu nispeten daha düşük enerjili ardıl ışınım da ilgili uzay bölgesinden yayımlanabilmektedir.



Şekil 1.1: Ateştopu şok modeline göre gama ışını patlamalarının farklı fazlarının (öncü ışınım ve ardıl ışınım) ve yayımlayabilecekleri farklı dalgalıboylarına sahip ışınım çeşitlerinin gösterimi. (©NASA/Goddard Space Flight Center/ICRAR).

Şekil 1.1’de ateştopu şok modeli (Piran, 1999) dikkate alınarak görselleştirildiği üzere GRB’ler ile evrene elektromanyetik tayfın, gama ışınları başta olmak üzere, neredeyse tüm dalgalıboyu

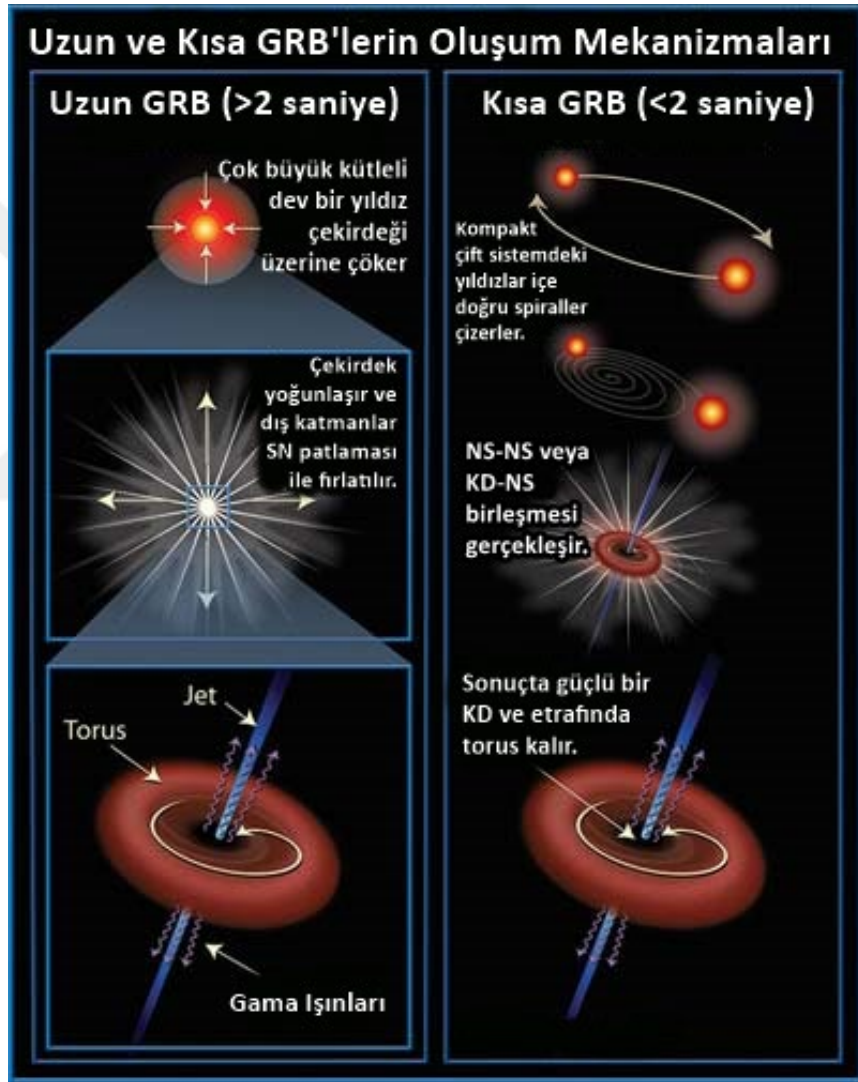
bölgelerine ait radyasyon salınabilmektedir (Sari ve Piran, 1997). Bu modele göre öncü ışıınım fazında arkadan gelen yavaş kabuk daha hızlı kabukla çarpıştığında iç şoklar GeV mertebelerine varabilen gama ışını emisyonunu üretir. Jet plazması ISM ile çarpıştığında ise haftalar mertebesinde sürebilen ve nispeten daha düşük enerjilerde gözlenebilen ardıl ışıınımlar üretilir.

Elektromanyetik ışıının yanında; ultra yüksek enerjili kozmik ışıınlar (Waxman, 1995), kütleçekimsel dalgalar (Kochanek ve Piran, 1993), nötrinolar (Paczynski ve Xu, 1994), süpernova (Paczynski, 1998) ve kilonova sinyalleri (Li ve Paczynski, 1998) oluşum koşullarına bağlı olarak gama ışını patlaması bölgesinden yayımlanabilmektedir. Dolayısıyla bu sinyallerin tespit edilip araştırılması GRB oluşum mekanizmalarının anlaşılması ve astronominin çoklu ulak biliminin gelişmesi adına önemli katkılar sunacaktır (Bustamante ve diğ., 2017). İlgilenilen bir GRB'nin hangi türden astrofiziksel olaylarla ilişkili olduğunu öngörebilmek açısından o patlamanın hangi alt sınıfa ait olduğunu belirlemek gerekir. Bunun için patlama fazlarının zamansal ve tayfsal özelliklerinin ortaya çıkarılması önem arz etmektedir.

GRB'ler elektromanyetik radyasyon ve plazma materyalini, temelde, öncü ışıınım ve ardıl ışıınım olmak üzere iki fazda yaymaktadırlar (Şekil 1.1). GRB sınıflaması patlamaların öncü ışıınım sürelerine göre; patlamaların toplam kümülatif foton akısının, gözlemi yapan dedektörün belli bir enerji kanalındaki zemin ışııma seviyesinin %5'inden %95'ine ulaştığı süre olarak tanımlanan T_{90} süresine göre yapılmaktadır. Buna göre genellikle T_{90} süresi iki saniyeden kısa olan patlamalar "kısa GRB", iki saniyeden uzun patlamalar ise "uzun GRB" olarak sınıflanmaktadır. Patlama sınıflarının tayfsal özellikleri incelendiğinde; kısa patlamaların, yüksek enerjili kanaldaki enerji akısının düşük enerjili kanaldaki enerji akısına oranı olarak tanımlanan sertlik oranlarının daha yüksek olmasından sert tayflara, uzun patlamaların ise daha yumuşak tayflara sahip olduğu görülmüştür (Kouveliotou ve diğ., 1993).

Bu temel çerçeveden yola çıkıldığında GRB'lerin oluşum nedeni olarak uzun çok büyük kütleli tekil yıldızların ($M > 30M_{\odot}$) Tip Ic süpernovası ile çekirdek çökmesi sonucu oluşabileceği öngörülmüş ve gözlemsel olarak da uzun GRB'ler süpernovalar ile ilişkilendirilebilmiştir (örn.: Iwamoto ve diğ., 1998). Bu denli büyük kütleli tekil yıldızların, geç tipten galaksilerde veya erken tip galaksilerin yıldız oluşum oranı yüksek bölgelerinde bulunacağı ve ev sahibi galakside oluştuğu bölgeden çok fazla uzaklaşmadan evrimini tamamlayıp GRB geçirmesi beklenir (Bloom ve diğ., 2002). Bunun aksine kısa patlamaların çift sistemdeki bir karadelik ile nötron yıldızının (KD-NY) veya iki nötron yıldızının (NY-NY) birleşmesi sonucu oluştuğu

düşünüldüğünden birleşme öncesi kütleçekim dalgaları yaymaları beklenir (Faber ve Rasio, 2012). Bu tip kısa patlamaların genelde erken tip galaksilerde veya geç tip galaksilerin yıldız oluşum oranı düşük olan bölgelerinde ve galaksi merkezinden çok büyük uzaklıklarda meydana gelebildiği görülmüştür (Fruchter ve diğ., 2006). Bir diğer gözlemsel fark olarak uzun patlamaların, farklı enerjili fotonların dedektöre varış zamanları arasındaki fark üzerinden tanımlanan tayfsal gecikme göstermesi ve kısa patlamaların ihmal edilebilir tayfsal gecikme değerlerine sahip olmasını sayabiliriz (Norris ve diğ., 2000).



Şekil 1.2: GRB'lerin oluşumlarına dair; uzun patlamaların çekirdek çökme senaryosu (solda) ile kısa süreli GRB'lerin birleşme senaryosu (sağda) illüstrasyonları (©NASA/ASD).

Şekil 1.2'de kısa ve uzun GRB'lerin oluşum senaryolarının ayrım noktası için verilen iki saniye limitine göre çizilen genel çerçeve, bazı GRB gözlemlerini açıklayamamaktadır (örn.: Della Valle ve diğ., 2006; Sazanov ve diğ., 2004). Sözgelimi, uzun bir GRB patlamasına yol açacak

yeterlilikte büyük kütleli bir yıldızın, evrenin erken zamanlarında oluşması beklenir ki GRB'lerin kırmızıya kayma dağılımlarına bakıldığında genel olarak uzun patlamaların yüksek z değerlerinde bulunduğu görülmüştür. Ancak bazı uzun patlamaların oldukça yakın olmalarına ve uzun poz süreleri verilerek ilgili uzay bölgeleri çok düşük parlaklıklara kadar gözlenebilmesine rağmen süpernovanın eşlik etmediği uzun GRB'ler bulunmuştur (Woosley ve Bloom, 2006).

Çarpıcı bir istisnai popülasyonu ise kısa patlamalarla benzer tayfsal özellik göstermesine rağmen T_{90} süresinden ötürü uzun patlama olarak sınıflandırılan ve ışık eğrilerinde birbirleriyle benzer morfolojik özellikler gösteren patlamalar oluşturmaktadır (Gehrels ve diğ., 2006). Bu patlamaların ışık eğrilerinde öncü ışınım fazında gama ışınlarında yayımlanan kısa ve tayfsal olarak sert bir öncü ışınım yapısını, yumuşak ve uzun süreli ikincil bir yapı (extended emission: EE) takip etmektedir. Işık eğrisinde EE bileşeni gösteren GRB'lerin araştırılması, bu patlamaların her iki sınıfa ait özellikleri de göstermeleri nedeniyle uzun/kısa patlama ayrımının ve dolayısıyla GRB oluşum mekanizmalarının anlaşılabilmesi açısından gereklidir.

Gama ışını patlamalarının kırmızıya kaymalarının $z = 9.4$ (Cucchiara, 2011) değerine kadar ulaşabildiği göz önünde bulundurulduğunda, T_{90} süresinin genel rölativite etkilerinden ötürü z 'ye bağlı olarak olay referans çerevesine göre farklı algılanabilmesi (Zhang ve Mészáros, 2003) ve geleneksel sınıflama yöntemine göre oluşturulan patlama süre dağılım histogramlarının zaman eksenlerinde iki saniye civarında geniş bir örtüşme bölgesinin bulunması, süreye bağlı sınıflama çalışmalarını daha ayrıntılı yapmayı ve farklı parametreleri bir arada göz önünde bulundurmayı gerektirmektedir. Bu bağlamda hem kısa hem uzun patlama özelliklerini gösteren GRB hibrit sınıfının detaylı araştırmalarını yapmak üzere protomagnetar kökenli olduğu düşünülen EE'li GRB adaylarının farklı kataloglar bazında tespit edilebilmesi için ilk kez 2013'te *CGRO/BATSE* GRB'leri için bir tarama yöntemi geliştirilmiştir. İlgili yöntem, ileriki bölümlerde ayrıntılarıyla açıklanacağı üzere GRB060614A patlamasının morfolojisini referans almaktadır. Zira Swift ile gözlenen GRB060614A patlaması, hibrit sınıf olarak anılan patlamaların özelliklerini; 100 sn'den uzun T_{90} süresi, kısa patlamanın tayf özellikleri ve karakteristik ışık eğrisi yapısıyla bariz bir şekilde göstermektedir. Aday tespiti için öncelikle farklı kataloglarda öncü ışınım yapısı beş saniyeden kısa GRB'ler belirlenmektedir. Bu GRB'lerin ışık eğrisinde tetiklenme anından itibaren 350. sn'ye kadar EE bileşen araması SNR yöntemi ile yapılmakta; $SNR > 1.5\sigma$ olan ve belirli koşulları (bkz.: Bölüm

3.3) sağlayan patlamalar EE adayı olarak ileri incelemeye alınmaktadır. *CGRO/BATSE* kataloğunda bulunan tüm GRB ışık eğrileri bu yöntemle tarandığında 19 adet EE bileşenine sahip GRB tespit edilmiştir (Bostancı ve diğ., 2013). 2015 yılında *Fermi/GBM* ve *Swift/BAT* GRB’leri için de bahsedilen sistematik tarama yöntemi kullanılarak hibrit sınıfa dahil edilebilecek sırasıyla 14 ve 16 patlama bulunmuştur (Kaneko ve diğ., 2015). Bu tez çalışmasında aynı yöntem, 2013 sonrası *Swift/BAT* kataloğunu taramak için kullanılmıştır. Adaylar tespit edildikten sonra ayrıntılı incelemesinin her aşaması tez çalışmasında sunulmuştur.

Tezin genel kısımlar bölümünde; ilk olarak gama ışını patlamaları biliminin ortaya çıkışının ana hatları özetlenmiş ve EE’li GRB araştırmalarının ivmelenmesini sağlayan kilit taşı konumundaki gözlemler üzerinde durulmuştur. Gözlemsel verilerden yola çıkılarak, özellikle Swift uydusunun yörüngeye fırlatılmasıyla ardıl ışınım tespitlerinin neredeyse ana patlamayla eř zamanlı başlatılabilmesi sonucu teorik çalışmaların çeşitlenmesi ve yapılan sınıflandırma çalışmaları tanıtılmıştır. Genel kısımların ikinci bölümünde ise EE’li GRB araştırmaları doğrultusunda günümüze kadar yapılmış gözlemsel çalışmalarda kullanılan verilerin özellikleri üzerinde durulmuş ve yapılan teorik çalışmalar özetlenmiştir. Bu sayede ilgili tez çalışmasının literatürde hangi araştırmalarla ilişkili olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır.

Malzeme ve yöntem kısmında, tez çalışmasında verileri kullanılacak olan Swift uydusunun özellikleri ve BAT dedektörüne ait gözlem dosyalarının bilimsel araştırma süreçlerine dahil edilme süreçleri açıklanmıştır. Tayfsal analiz kısa GRB’lere uygulanacağından ve T_{90} süresi limiti ile uzun/kısa ayırımının yapılması güvenilir bir yöntem olmadığından, bu tezde kullanılacak olan seçim kriterleri açıklanmıştır. Belirlenen patlamalarda EE bileşeninin tespit edilme süreçleri tanıtılmış, kriterleri sağlayan bileşenlerin patlama kaynaklı olup olmadığına karar verme aşamaları açıklanmıştır. EE’li GRB’lere ait öncü ışınım ve EE bileşen sürelerinin hangi komut ve programlar kullanılarak hesaplandığı bildirilmiş, son olarak da tayf analizi aşamaları açıklanmıştır.

Bulgular kısmında EE adaylarının belirlenmesi sürecinde elde edilen bilgisayar program çıktılarının istatistikleri, örnek grafikleri ve tabloları ile sunulmuş ve tayfsal incelemesi yapılan EE’li GRB’lerin analiz sonuçları bildirilmiştir. Bu sonuçlardan itibaren türetilen ikincil parametre hesapları sunulmuştur. Sonuç grafik ve tablolarının tamamı ise tezin “EKLER” bölümünde sunulmuştur.

Sonuç kısmında ilgili tarih aralığında tespit edilen EE’li GRB’lerin literatür bilgileri verilmiştir. GRB’lerin farklı kanallarda ölçülen enerji değerlerinden itibaren elde edilen jet açılma açısı oranları ve elde edilen çıktıların önceki teorik çalışmalarla uyumu yorumlanmıştır. Analiz sonuçlarından hesaplanan parametreler arasındaki korelasyonlar güvenirlik dereceleri ile bildirilmiş ve toplam Swift kataloğundaki EE’li kısa GRB yüzdeleri önceki çalışmalarla birlikte sunulmuştur.



2. GENEL KISIMLAR

2.1.GAMA IŞINI PATLAMALARI BİLİMİNİN GELİŞİMİ

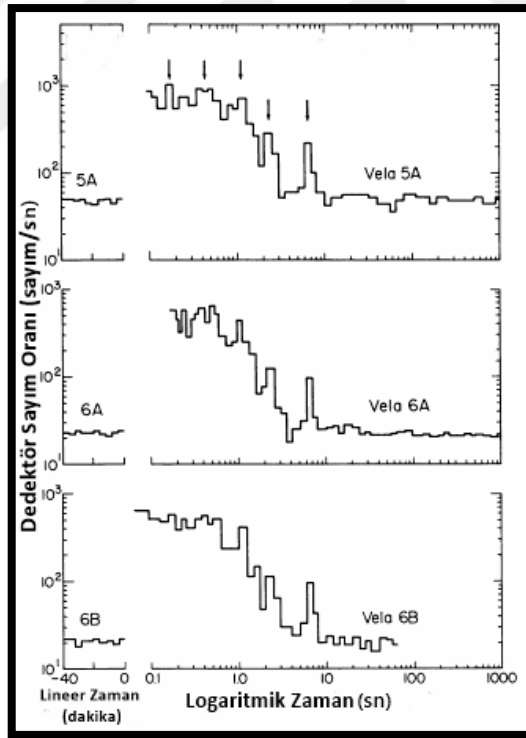
Gama ışını patlamaları (GRB'ler), evrende ortalama her gün birkaç defa gerçekleşmesine rağmen emisyonunun çok büyük bir kısmını X-ışını ve gama ışınları bölgelerinde yayımladığından, bu fenomenin varlığının keşfi gama ışını dedektörlerinin geliştirilmesini beklemek durumunda kalmıştır. Ancak ilk zamanlarında yüksek enerjili fotonları algılayabilen dedektörlerin büyük çoğunluğu güneş parlamalarının incelenmesi gibi yakın uzayı araştırma amacıyla yörüngeye gönderilmiş durumdaydı. Bu nedenle çoğu zaman gökyüzünün Güneş veya yüksek enerjilerde emisyon yayan diğer kataloglanmış kaynakları doğrultusunda meydana gelen GRB patlamaları, Bölüm 2.1.1'de örnekleri ile açıklanacağı gibi, farklı astronomik fenomenlerin aktiviteleri ile ilişkilendirilebilmiştir. GRB'ler gökyüzünde izotropik bir dağılım gösterdiğinden, kaynak kimliklemesinin güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için farklı gökyüzü bölgelerinden gelen sinyalleri aynı anda algılayabilen uyduların varlığı veya aynı olayın birden fazla uydu dedektörü tarafından kaydedilebilmesi gibi olanaklar, GRB sinyallerin aletsel bir hata veya yer kaynaklı bir olay değil, farklı astrofiziksel fenomenler olarak değerlendirilebilmesi açısından gereklidir. Neyse ki bu tip gelişmeler 20. yüzyılın son yarısında meydana gelmiş ve bu yeni tür astronomik olayların varlığının doğrulanmasıyla birlikte zamansal ile tayfsal özelliklerini araştırma faaliyetleri de başlamıştır.

Yapılan çalışmalarda ışık eğrilerinden, GRB'lerden gelen foton sayımının zamana göre değişimlerinin oldukça çeşitli olduğu görülmüş ve gözlem verilerinin sayısı arttıkça bu çeşitliliğin sınıflandırılma ihtiyacı doğmuştur. Başlarda bu sınıflandırma toplam akının dedektöre varış süresine göre yapılmıştır. Ancak ardıl ışımların keşfi ile GRB'lerin galaksi dışı kökenli olduğu anlaşıldıktan sonra yalnızca zamana dayalı sınıflamanın bazı problemleri fark edilmiş ve başka parametrelerin de işe koşulmasıyla GRB'lerin oluşumlarına dair daha güvenilir tahminler yapılabileceği öne sürülmüştür. 2004 yılında Swift uydusunun yörüngeye gönderilmesiyle takip gözlemleri kolaylaşmış ve patlama oluşum mekanizmaları ile ilişkili GRB sınıfları araştırmalarında artış gözlenmiştir. Özellikle 2006 yılında hem kısa hem de uzun GRB'lere ait özellikleri gösterebilen EE'li GRB popülasyonunun duyurulmasıyla bu patlamalara ilgi artmış ve tıpkı GRB'lerin ilk keşfedildiğinde yapıldığı gibi, gama ışını gözlem uydularının verileri geriye dönük incelenmeye başlanmıştır.

Bu tez çalışması da bu çabanın *Swift*/BAT tarafından belirli tarihler aralığında gözlenmiş GRB'leri için sistematik şekilde yapılmasını amaçlamaktadır. Varılan sonuçların GRB bilimine katkısının tam olarak anlaşılabilmesi için GRB'lerin ilk keşfinden günümüzdeki durumuna gelene kadar yapılan çalışmaların bir özeti bu bölümde sunulacaktır.

2.1.1. GRB'lerin Keşfi ve İlk Araştırmalar

Gama ışını patlamaları (GRB'ler), 1963 yılında ABD hava kuvvetleri tarafından yürütülen programla Dünya üzerinde gerçekleştirilen nükleer testleri uzaydan tespit edebilme amacıyla yörüngeye gönderilen Vela uydu serisi verilerinin, Klebesadel ve diğ. (1973) tarafından geriye dönük incelemeleri sonucunda keşfedilmiştir. Bahsedilen araştırma esasen Colgate (1968) tarafından öne sürülen ve süpernovaların ilk aşamalarından bir gama ışını emisyonunun algılanması gerektiğine dair çalışmasının test edilmesi için başlatılmış olsa da söz konusu bağlantı bulunamamıştır.



Şekil 2.1: 22 Ağustos 1970 tarihine ait, üç farklı Vela uydusu ile gözlenmiş bir patlamanın ışık eğrileri. Lineer zaman ile gösterilen kısım, zemin ışınlama seviyesini temsil etmektedir. Düşey oklar benzer yapılara işaret etmektedir.

Bunun yerine bu ilk çalışmada; Vela 5A, 5B, 6A ve 6B uydularının 1969-1972 yılları arasında toplam 16 GRB olayını kaydettiği duyurulmaktadır. Şekil 2.1'de, 1970 yılında gerçekleşmiş ve

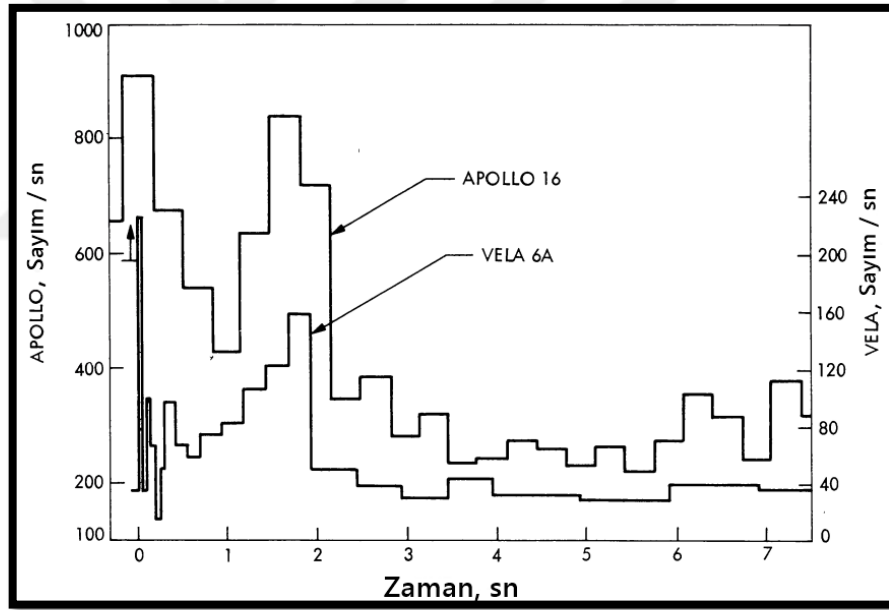
Vela 5A, 6A ve 6B uydularıyla gözlenmiş patlamalardan birinin ışık eğrisi örnek olarak verilmiştir. Bu 16 patlama, her bir uyduda altışar adet bulunan ve enerji duyarlılığı en geniş ölçüde 0.2 ila 1.5 MeV enerji aralığını kapsayan dedektörler tarafından kaydedilmiştir. İlgili patlamaların toplam süresi 0.1 ila 30 sn arasında değişmektedir. Araştırmada, herhangi fiziksel bir olaya karşılık gelme ihtimali olmayan sözde tetiklenmelerin, yüksek enerjili kozmik parçacıkların veya Güneş parlamalarının neden olduğu sinyaller belirlenerek dışarıda tutulmuştur. Bahsedilen patlamaların en az iki uydu dedektörünü tetiklemesi ve tetiklenme zamanları arasında dört saniyeden fazla fark olmaması seçim kriteri olarak belirlenmişse de bu sürenin hiçbir patlama için 0.8 sn'yi geçmediği bildirilmiştir. Üç farklı uydunun aynı olayı algılaması durumunda ise kaynağın konumunun tayin edilebilme olanağı (Bonnell ve Klebesadel, 1996) ve yayımlanan enerjinin büyüklüğünden yola çıkılarak patlamaların Dünya atmosferinden değil, kozmik kökenli olduğu belirtilmiştir.

Vela uydu verileri ile yapılan ilk duyurudan sonra, 1991 yılında CGRO uydusu yörüngeye gönderilene kadar yayımlanan yüzlerce çalışmanın temelinde, patlamaların kozmik kökenli olduğunun doğrulanması, gözlemlerin analizi, teorik yorumlar ve gelişmelerin özetlenmesi bağlamında ilerlediğini söyleyebiliriz.

Öncelikle araştırmacıların ilgisini çeken bu kısa süreli ve yüksek enerjili olayların ayrı bir astronomik fenomene ait olduğunu doğrulayan birtakım gözlemler duyurulmuştur. 16 Vela patlamasının kaydedildiği tarih aralığında yörüngede gözlem yapmış olan diğer uyduların geriye dönük katalog taramalarında bu patlamalardan bir veya birkaçının gözlenmiş olduğunun duyurulmasının (Cline ve diğ., 1973; Wheaton ve diğ., 1973; Heures, 1974; Metzger, 1974; Oegelman, 1975; Cline ve diğ., 1979) yanısıra listeye benzer özellikteki yeni patlama adayları da eklenmiştir (Oegelman ve diğ., 1975; Johnson ve diğ., 1976; Terrell ve diğ., 1982; Özel ve diğ., 1983). Sözgelimi, Vela uyduları ile ilk GRB keşiflerinin yapıldığının duyurulduğu sene, Cline ve Desai (1973), IMP-6 uydusundaki gama ışını dedektörünün algıladığı kayıtlardan sekiz tanesinin yapısının Vela uydularıyla algılanan GRB'ler ile örtüştüğünü ve bu patlamaların altı tanesine tayfsal inceleme yaptıklarını duyurmuşlardır. Bu çalışmayla birlikte GRB'lerin en yüksek enerji salınımının ~ 150 keV civarında olmasından ve toplam enerji değerinin büyüklüğünden dolayı bu sinyallerin ayrı bir astronomik olayı temsil ettikleri doğrulanmıştır. Dolayısıyla BeppoSAX uydusu ilk ardıl ışına kaydını duyurana kadar yörüngede var olan uydular tarafından GRB'lerin yalnızca yüksek enerjili gama ışınları tespit edilebilmiştir. Bu

gözlemlerden kabaca konumlama tahminleri yapılmış, patlamaların zamansal ve tayfsal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Özellikle örtüşen patlamaların tayfsal ve zamansal analizleri, gözlemleri yapan uyduların hassasiyeti gibi birtakım teknik ayrıntılarını da ortaya koymuştur (Wheaton ve diğ., 1973; Jennings, 1988).

Şekil 2.2’de, 27 Nisan 1972 tarihinde Vela uydusu ile gözlenmiş ve toplam süresi 27 saniye olan GRB patlamasının, esasen ay yüzeyinin kompozisyonunu ortaya çıkarma amacıyla yörüngeye gönderilmiş Apollo 16 uydusu tarafından yapılmış ortak gözlemi, örnek olarak verilmiştir. Bu GRB için, patlamanın üç atımlı yapısı ve tayfsal analiz sonuçlarından yola çıkarak Metzger ve diğ. (1973), yıldız parlamaları (Stecker ve Frost, 1973; Brecher ve Morrison, 1973) ve kompakt cismin üzerine madde aktarımı (Lamb ve diğ., 1973) gibi senaryoları bu olay bağlamında tartışmıştır.

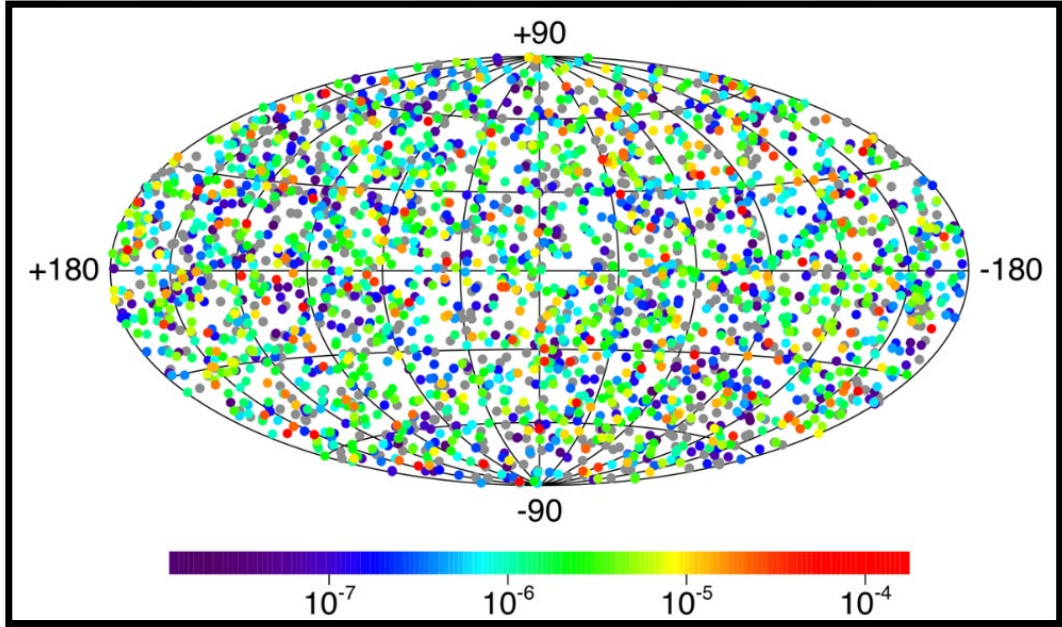


Şekil 2.2: Vela 6A ve Apollo 16 uydularının ortak gözlediği GRB patlamasına ait ölçeklenmiş ışık eğrisi. (Metzger ve diğ., 1973)

Bu modeller dışında da gözlemlerden hareketle başka hiçbir astronomik olayla eşleşmediği belirlenen patlamaların özellikleri, olayla ilgili önceki çalışmaların özetleri şeklinde sunulmuş (Klebesadel ve Strong, 1976; Cline ve Desai, 1976) ve bu durum, patlamaların üretim ve ışınlım mekanizmalarının ortaya çıkarılması amacı ile ilgili farklı galaktik ve galaksi dışı fiziksel modeller (Harwit ve Salpeter, 1973; Colgate, 1974; Prilutskii ve Usov, 1975; Bisnovatyi -

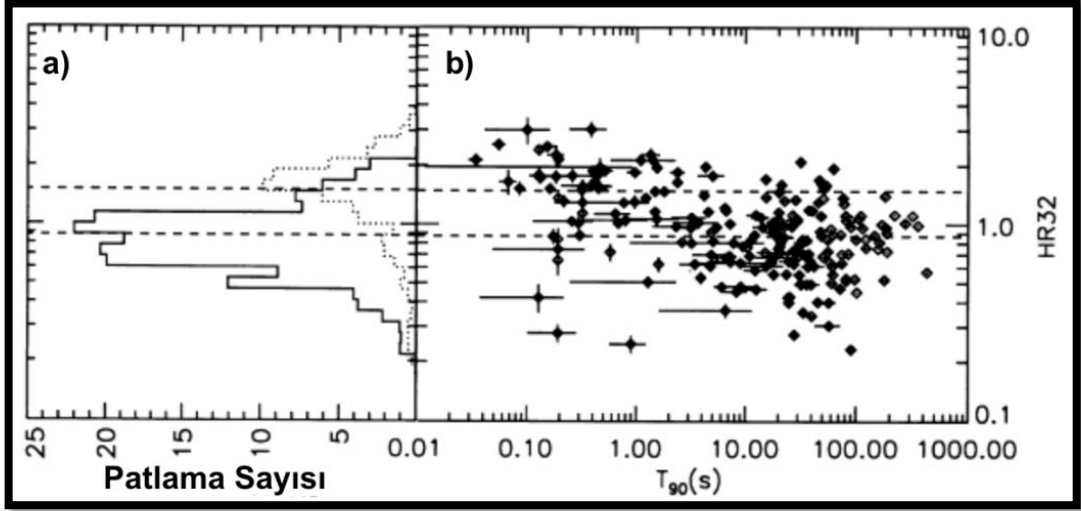
Kogan ve diğ., 1975; Page ve Hawking, 1976) ve simülasyonlar (Pozdnyakov ve diğ., 1976; Orion ve diğ., 2006) oluşturmaya araştırmacıları yöneltmiştir.

1991 yılında CGRO uydusunun yörüngeye gönderilmesiyle, uzay aracı üzerindeki BATSE dedektörü sayesinde tüm gökyüzü belirli periyotlarla 20 keV – 2 MeV enerji aralığında taranmış ve evrendeki GRB dağılım haritası çıkarılmıştır (bkz: Şekil 2.3). Şekil 2.3 ile görülebileceği gibi *CGRO/BATSE* sayesinde GRB’lerin gökyüzünde izotropik bir dağılım gösterdiği ortaya çıkmış ve çok çeşitli teorik modeller arasından bu sayede eleme yapılabilmiştir. Patlama konumlarının hassaslaştırılmasının yanında BATSE ile patlamaların zamansal profilleri ve tayfsal özellikleri ile ilgili genellemelere gidilebilmiştir (Fishman ve diğ., 1994).



Şekil 2.3: BATSE dedektörünün 1991 - 2000 yılları arasında gözlediği 2704 GRB’nin gökyüzü dağılım haritası. Renk skalası, 50 - 300 keV enerji akısını (erg cm^{-2}) göstermekte ve her bir nokta ayrı bir gözleme işaret etmektedir.

Teorik modellerin yanında, BATSE’nin oluşturulan bu kataloğundan faydalanarak Kouveliotou ve diğ. (1993), patlamaları sürelerine ve tayfsal sertliklerine göre sınıflandırmıştır (bkz: Şekil 2.4). Buna göre iki saniyeden kısa ve sert tayfa sahip patlamalar “kısa GRB” ve iki saniyeden uzun olan yumuşak tayflı patlamalar “uzun GRB” olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca aynı çalışmada bu alt sınıfların farklı tip astronomik kaynaklar tarafından üretilmesi gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 2.4: BATSE ile 21 Nisan 1991 – 5 Mart 1992 arasında gözlenmiş 222 GRB’ye ait uzun ve kısa patlamaların sertlik oranı histogramları (a) ve patlamaların T_{90} süresine göre ikili moda sahip olduğu görülen dağılım grafikleri (b) (Kouveliotou ve diğ., 1993). HR_{32} ile dedektörün üçüncü enerji kanalına (100 - 300 keV) ait sayımın ikinci enerji kanalına (50 - 100 keV) ait sayıya oranı temsil edilmektedir.

Patlamaların izotropik dağılım gösterdiğinin doğrulanmasına rağmen henüz ardıl ışıınım gözlemi olmadığından, bu mekanizmalar için galaktik/galaksi dışı ayrımı yapılamamıştır. Ardıl ışıınımların varlığı teorik olarak ateştopu şok modeli ile öngörülmüş olsa dahi gözlemsel eksiklikten dolayı GRB’ler hakkında yüzlerce teori ortaya atılmıştır.

1997 yılına gelindiğinde BeppoSAX uydusunun gözleme başlamasıyla ilk defa uzun patlamaların ardıl ışıınım gözlemi yapılmış ve buradan kırmızıya kayma ve ev sahibi galaksi bilgileri edinilebildiğinden patlamaların kozmolojik uzaklıklarda gerçekleştiği doğrulanabilmiştir (Costa ve diğ., 1997). Ancak patlamaların sınıflandırılmasında bu gözlemlerin kullanılabilmesi için öncü gama ışın akısının takip gözlemlerinin yer tabanlı teleskoplar ile değil, yörüngedeki dedektörler ile algılanması ve kısa patlamaların da ardıl ışıınımlarının gözlenmesi gerekmektedir.

Swift uydusu ile 2004 yılından itibaren, uydu üzerinde bulunan üç farklı dalgaboyu aralığına duyarlı dedektör (BAT, XRT ve UVOT) sayesinde ardıl ışıınım gözlemlerine, esas gama ışını akısının GRB’den geldiği doğrulandıktan hemen sonra başlanabilmektedir. Bu sayede nispeten düşük enerjili ardıl ışıınım yayan kısa GRB’lere ait erken emisyonlar da ilk kez sistematik olarak kaydedilebilmiştir. Bu verilerden hareketle GRB’lerin bulunduğu galaksilerin tespiti ve uzaklıkları gibi özelliklerin yanında merkezi mekanizmaları hakkında yorumlamalarda

bulunulabilmiştir. Örneğin ardıl ışıının gözlemlerinde yalnızca optik karşılığı olmayan “karanlık GRB’ler” Swift öncesi dönemde, çoğunlukla yüksek kırmızıya kayma değerlerinde gerçekleşmelerinden kaynaklanan gözlemsel kısıtlamalar ile açıklanmaktaydı (Fynbo ve diğ., 2001). Ancak erken ardıl ışıma tespitleri sayesinde bu tip olayların tüm GRB’lerin yaklaşık %25-40’ını kapsadığı ve ayrı bir oluşum senaryosu gerektiren bir sınıf olarak incelenmesi gerektiği ortaya konulmuştur (Greiner ve diğ., 2010). Benzer bir gelişme Levan ve diğ. (2014) tarafından *Swift*/BAT ile gözlenmiş birbiriyle benzer özellikteki üç GRB için “ultra uzun GRBler” sınıfını önermesi ile meydana gelmiştir. Ultra uzun GRB’lerin ardıl ışıının ışık eğrilerinde gösterdikleri beklenmedik zamansal değişkenliklerden ötürü bu sınıfa ait patlamaların, genellikle uzun GRB’ler için düşünülen çekirdek çökmesi senaryosu dışında gelgitsel bozulma olayları (TDEs) ile de açıklanabileceği gösterilmiştir.

2008 yılında yörüngeye fırlatılmış olan ve üzerindeki GBM (12 sodyum ve iki bizmut germanat) ve LAT (geniş alan teleskobu) dedektörleri ile tüm gökyüzünü en geniş aralıkta 10 keV - 300 GeV’de tarayan Fermi uydusunun, esasen BATSE görevinin devamı niteliğinde olduğunu söyleyebiliriz (Atwood ve diğ., 2009). Bu uydunun bulguları sayesinde GRB’lerin sınıflandırılmaları ile ilgili çalışmalar ivme kazanmıştır. Özellikle 2017 senesinde GW170817 kütleçekim dalgası ve takip eden GRB170817A gama ışını patlamasının aynı gökyüzü bölgesinden algılanmasıyla GRB’lerin kökenine dair gözlemsel kanıt elde edilmesi sonucu bu araştırma alanı küresel ölçüde ilgileri merkezi konumuna gelmiştir. Bu durum araştırmacıları kısa ve uzun GRB sınıfları arasında bir geçiş niteliğinde olan EE bileşeni gösteren GRB hibrit sınıfını araştırmaya hem tekil patlamalar hem de geniş GRB kataloglarının taranması bazında teşvik etmiştir. Bahsedilen araştırmaların ayrıntıları tezin 2.2. bölümünde derlenmiştir.

2.2. EE BİLEŞENİ GÖSTEREN GRB ARAŞTIRMALARI

2.2.1. Gözlemsel Araştırmalar

Gama ışını patlamalarının genel sınıflandırması 2006 yılına kadar temelde ikili kompakt cismin birleşmesiyle meydana geldiği düşünülen kısa patlamalar ve Tip Ic süpernovası ile büyük kütleli tekil yıldızın çekirdek çökmesi ile karadeliğe dönüşmesi sonucu oluştuğu düşünülen uzun patlamalar olarak yapılmaktaydı. Ancak zamansal özelliklere bağlı sınıflamanın birçok patlamayı açıklamadaki yetersizliği ortaya çıkmıştı. 2004 yılı itibariyle Swift uydusunun kısa patlamaların da ardıl ışıınlarını keşfi sayesinde farklı tip patlamaların ayrıntılı tayfsal

özellikleri ve meydana geldiği çevre özellikleri gibi diğer faktörleri de işe koşuldu. Bu sayede patlamaların mekanizmasını daha güvenli bir şekilde ortaya koyabilecek parametreleri aracılığıyla sınıflamayı yapmayı öneren birçok çalışma yayımlanmış oldu (Horvath ve diğ., 2008; Bromberg ve diğ., 2013; Minaev ve Pozanenko, 2020). Bu çalışmalardan biri de öncü ışıma fazı iki bileşene sahip olan “EE’li kısa patlamalar”dır. Toplam süre bakımından uzun ancak bazı tayfsal özellikleri bakımından kısa patlama popülasyonuna dahil edilmesi gereken bu GRB’ler birçok farklı uydu gözlemlerinde benzer morfolojiye sahip olmaları nedeniyle ayrıca araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu GRB’lerde uzun süreli EE fazında salınan fotonlar, kısa süreli öncü ışıma fazında salınan foton sayımlarıyla karşılaştırılabilir büyüklüktedir (Barthelmy ve diğ., 2005; Villasenor ve diğ., 2005). Sözgelimi GRB050709 olayının 30-400 keV enerji bandında gözlenen öncü patlamanın süresi $T_{90} \approx 0.07$ saniye iken, 2-25 keV aralığında tespit edilen EE bileşeninin süresinin yaklaşık 130 saniye olduğu ve EE bileşeninin toplam akısının öncü patlamanın 2.5 katı fazla olduğu rapor edilmiştir (Villasenor ve diğ., 2005). EE bileşeni belirlenen GRB050724 patlamasında EE süresinin yaklaşık 100 saniye, toplam akısının ise öncü patlamanın sadece %10’u olduğu saptanmıştır (Barthelmy ve diğ., 2005). Sıradışı bir örnek ise GRB080503 patlamasıdır; EE bileşeninin toplam akısının, öncü patlamanın 32 katı olduğu ölçülmüştür (Perley ve diğ., 2009).

EE’li GRB’lerin ayrı bir sınıf olarak değerlendirilmesi gerektiğine dikkatlerin çekilmesi GRB060614 patlaması ile olmuştur. Swift uydusu ile gözlenen GRB060614 patlaması, ışık eğrisinde yaklaşık 5 sn süren kısa bir öncü ışıma yapısına sahip olmasına rağmen hemen sonrasında, yaklaşık 120 sn süren ve patlamanın öncü ışıması ile karşılaştırıldığında nispeten daha düşük enerjili X-ışını yayılımı gösteren spesifik bir patlamadır (Gehrels ve diğ., 2006). Ayrıca GRB060614’ün meydana geldiği gökadanın uzun GRB’ler ile eşleştirilen gökadalardan daha düşük ışıma gücüne sahip ve yıldız oluşum oranının daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Gal-Yam ve diğ., 2006). Patlama ile ilintili süpernova gözlenmemesi de tetikleyici mekanizmasının büyük kütleli yıldızın çekirdek çökmesi olmadığı savını güçlendirmektedir.

Bu ilk teşviğin ardından halihazırda kataloglanmış gözlemlerde ve yeni GRB misyon kataloglarında EE bileşeni araştırmaları hızlanmıştır (örn.: Gehrels ve diğ., 2006; La Parola ve diğ., 2006; Minaev ve diğ., 2009; Bostancı ve diğ., 2013; Kaneko ve diğ., 2015; Mozgunov ve diğ., 2021). Bu çalışmalardan, öncü patlama süresi genellikle beş saniyeden daha kısa iken EE bileşeninin 100 saniyeyi bulabildiği, ayrıca EE bileşenlerinin genellikle kısa öncü patlamaların

ışımalarından daha sönük ve tayfsal olarak daha yumuşak olduğu görülmüştür. EE bileşeni bulunan GRB'ler hem kısa hem de uzun patlamalara özgü karakteristik özellikler sergiledikleri için her iki patlama grubunu anlamada da önemli rol oynayacağı anlaşılmıştır.

Benzer bir motivasyonla *CGRO/BATSE* gama ışını teleskobu ile gözlenen GRB'lerin ışık eğrilerinin görsel incelenmesi ile uzun patlama sınıfında değerlendirilen sekiz olayın aslında EE bileşeni bulunan patlama olduğu belirlenmiştir (Norris ve Bonnell, 2006). Bu çalışmada EE'lerin toplam sayım oranlarının öncü patlamanınkinin ~ 40 katına kadar çıktığı ve bu oranın şiddette ve toplam akıdaki dinamik aralığının 104 civarında olduğu gösterilmiştir. Ayrıca EE'li ve EE'siz kısa GRB'lerin öncü patlamalarında ihmal edilebilir tayf gecikmesi olduğu da belirlenmiştir.

Minaev ve diğ. (2010) tarafından EE'li GRB'lerin araştırılması INTEGRAL uydusu üzerindeki SPI-ACS ile yapılmıştır. Bu çalışmada INTEGRAL uydusu ile 2002-2007 yılları arasında gözlenmiş kısa süreli ($T_{90} < 2$ s) GRB'ler ve GRB olduğu doğrulanmamış kısa GRB adayları arasından, analize uygun patlama verileri seçilmiştir. Seçilen patlamaların zemin ışıması modellemeleri yapıldıktan sonra beş saniyelik ortalaması alınmış ışık eğrilerinde olası uzun süreli EE ışıınım yapıları aranmıştır. Araştırmada kaynak kimliklemesi yapılamamış bazı kısa süreli sinyallerin GRB olması gerektiğine karar verilmiştir. Sonuçta, ilgili çalışma kapsamında EE bileşeni çok belirgin olmayan altı EE'li GRB adayı bulunmasına rağmen bu çalışmayla SPI-ACS ile gözlenmiş kısa GRB oranının %30 - %45 arası, dolayısıyla beklenenden daha fazla olduğu duyurulmuştur.

Bostancı ve diğ. (2013), geniş GRB veri tabanı olan BATSE arşivini kullanarak ilk kez sistematik yöntemlerle EE'li kısa patlamaların belirlenmesi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada Swift uydusu ile gözlenen GRB060614 patlamasıyla benzer morfolojik ışık eğrisi özelliklerine sahip EE'li patlamalar araştırılmıştır. Tarama kriterlerine uygun 19 GRB'de EE bileşeni teşhis etmişler ve patlamaların öncü ve EE bileşenlerinin zamansal ve tayfsal özelliklerini irdemişler, ayrıca tayfsal gecikme ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Öncü ışımların tayfsal gecikmelerinin 10 ms'den küçük olduğunu ve bu değerın kısa süreli GRB'lerle tutarlı olduğunu bulmuşlardır. Sadece dört patlamanın EE bileşeninin tayfsal gecikmelerini hesaplayabilmiş ve bunlardan ikisinin tayfsal gecikme göstermezken diğer ikisinin uzun GRB'lerle karşılaştırılabilir değerde tayfsal gecikme gösterdiğini bulmuşlardır. Bu durum, bazı EE bileşenlerin öncü bileşenle aynı orijinli olabileceğini bazılarının da farklı

olabileceği sonucunu doğurmaktadır. Bileşenlerin tayf analizinden belirledikleri sertlik oranına dayanarak, EE'nin genellikle öncü ışımadan daha yumuşak doğası olduğunu rapor etmişlerdir.

Kaneko ve diğ. (2015) çalışmasında; Bostancı ve diğ. (2013) çalışmasını *Fermi*/GBM ve *Swift*/BAT veri arşivinin Şubat 2013'e kadar gözlenen tüm GRB'lerini içerecek şekilde örneklerini genişleterek EE'li GRB'lerin kapsamlı sistematik araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Tarama kriterlerine uygun BAT ile gözlenen 16 patlamada ve GBM ile gözlenen 14 patlamada EE bileşeni teşhis edip, daha önceki çalışmalarını da dikkate alıp EE'li GRB'lerin karakteristik özelliklerini ortaya koymuşlardır. İnceledikleri EE bileşenli GRB'lerin öncü bileşenlerin ihmal edilebilir tayfsal gecikme gösterdiğini ve kısa GRB'lerle tutarlı olduklarını rapor etmişlerdir. Öte yandan, EE bileşenlerinin süreleri yaklaşık 10 ile 150 sn arasında değiştiğini ve uzun GRB'lerle tutarlı tayfsal bir gecikme gösterdiklerini bulmuşlardır. EE bileşenindeki ve öncü bileşendeki toplam enerji akısı oranının (E_{EE}/E_{spike}) 0.21 ile 33.5 arasında olduğunu hesaplayarak, pek çok patlamanın öncü bileşenine nazaran EE bileşeninde daha fazla enerji salındığını belirtmişlerdir. İlaveten, araştırmacılar BATSE, GBM ve BAT detektörleriyle gözlenen EE'li GRB'lerin öncü bileşen ve EE'lerinin genel özelliklerini araştırmak için bileşenlerin tayfsal parametreleri, süreleri, tayfsal gecikmeleri ve enerji akıları arasındaki korelasyonu da incelemişlerdir. Tüm data setleri birlikte düşünüldüğünde, EE'lerin toplam enerji akıları ile öncü bileşenlerin toplam enerji akıları arasında pozitif bir ilişki bulmuşlardır (şans olma olasılığı; $P = 7 \times 10^{-3}$). Araştırmacılar, iki bileşenli jet modelini, jetlerin açılma açılarının oranını bu listelerindeki her bir EE'li GRB için de elde ederek incelemişlerdir. Bu oranının BAT ve GBM ile gözlenen EE'li GRB'ler için 0.07 to 0.95 arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Svinkin ve diğ. (2016) ise Konus-Wind GRB arşivini kullanarak EE'li kısa GRB'lerin sistematik araştırmasını yapmışlardır. Burada Bostancı ve diğ. (2013) ve Kaneko ve diğ. (2015) çalışmasından farklı kriterler kullanarak tespit ettikleri 21 EE'li patlamanın tayfsal analizini gerçekleştirmişlerdir. $E_{EE}/E_{öncü}$ oranının 0.06 ile 15 arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

Bir diğer EE'li GRB'leri tespit etme çalışması, Zhang ve diğ. (2016) tarafından yapılmıştır. *CGRO*/BATSE kataloğundaki 2037 patlamanın tümünü, *Swift*/BAT - I ve *Swift*/BAT - II kataloğundaki toplam 1,006 GRB ve GBM kataloğundaki 1,741 GRB'yi T_{90} süreleri ile her bir dedektörün özelliğine göre enerji akısı, pik akısı, kırmızıya kayma, pik enerjisi ve kırılma indisi ilişkileri bakımından incelemişlerdir. Ayrıca çoğu yukarıdaki çalışmalarda EE'li GRB olarak

kimliklenmiş patlama listelerine Bayes blok metodunu uygulayarak EE bileşenini bu metodla tespit etmeye çalışmışlardır. Ayrıca EE'li GRB'lerin de incelendiği logaritmik T_{90} süresi ile T_{90}/T_{50} uzayında patlamaların iki ayrı gruba ayrılabilirdiğini rapor etmişlerdir.

Kisaka ve diğ. (2017), EE'li GRB adaylarını fenomenolojik bir yöntemle gözlemsel verilerden yola çıkarak belirlemiştir. Ocak 2005 ile Haziran 2017 arasında *Swift*/BAT ile gözlenmiş kısa GRB'leri T_{90} sürelerine göre iki saniye limitinden seçtikten sonra ilgilendikleri patlamaların öncü ışınlamı sonrası ışık eğrisinde uzun süreli ışıma (EE) ve plato (PL) emisyon bileşenlerinin bulunduğunu ifade etmişlerdir. Bu bileşenlerin ışık eğrilerini fenomenolojik formülleri yardımı ile modellemişlerdir. İlgili formül EE ve plato bileşenlerinin süre ve izotropik lüminozitelerine (L_{iso}) bağlıdır. Aday bir bileşenin EE olarak nitlendirilebilmesi için $L_{iso,EE} / L_{iso,PL} > 10$ olma kriterini belirlemiştir. Bu sayede olası bir zayıf EE bileşenini X-ışın parlamasından ayırmışlardır. Sonuçlarında ise kriterlerini sağlayan EE'li GRB oranını %75 olarak vermişlerdir.

2017 yılında GRB170817 gama ışını patlamasının, GW170817 kütleçekim dalgası sinyali ile aynı uzay bölgesinden geldiğinin bulunmasıyla kütleçekim dalgalarının kısa patlama özelliği gösteren EE'li GRB'ler ile de olası bir ilişki bulma araştırmaları devam ederek (Burns, 2018) EE'li GRB'lerin teorik çalışmaların temelini atılması sağlanmıştır. Birçok gözlemsel çalışma genellikle yukarıda sıralanan kataloglar üzerinden yapılan hesaplamalar ve kriterler üzerinden sınıflandırma önerilerini içermektedir (Minaev, 2019; Zhang ve diğ., 2020; Lan ve diğ., 2020; Dainotti, 2021). Ancak son olarak Li ve diğ. (2021), araştıracakları EE'li GRB'leri farklı çözünürlükteki ışık eğrilerini fit etme yöntemi ile belirlemiştir. Araştırmacılar, 2004 ile 2019 yılları arasında *Swift*/BAT ile gözlenmiş kısa patlamaların ışık eğrilerinde öncü ışıma öncesi bileşen (precursor), uzun ışıma bileşeni (EE) ve öncü ışınlamı yapılarını teşhis etmişlerdir. Farklı enerji bantlarında (15–25, 25–50, 50–100 ve 100–350 keV) SNR değerine dayalı olarak zemin ışımasını modelledikten sonra öncü, EE ve precursor aday bileşenleri belli kriterleri sağlamalarına göre belirlemiştir. Buna göre, EE adayının maksimum akısı öncü bileşeninkinden daha düşükse, öncü ve EE aday bileşenlerinin SNR değeri zemin ışıması üzerinde üçten büyükse ve 50 keV altı bölgede en parlak ve 50-350 keV kanalında belirgin şekilde sönükleşiyorsa EE bileşeninden bahsedilebileceğini varsaymışlardır. Sonuçta, EE'li GRB'lerin, inceledikleri *Swift* kısa patlamalarının %25'i olduğunu rapor etmişlerdir.

2.2.2. Teorik Çalışmalar

Başlarda EE’li GRB’lerin gama ışını ışık eğrilerindeki ikincil yapılar, erken ardıl ışınımın izleri olarak değerlendirilmişse de (Burenin, 2000; Lazzati ve diğ., 2001) bu yapıların merkezi mekanizmaya ait olmaları durumunda teorik olarak bu yeni sınıfın oluşum mekanizmalarını açıklamaya çalışan pek çok girişim de olmuştur. Sözelimi, MacFadyen ve diğ. (2005) tarafından önerilen modelde, öncü ışına bir nötron yıldızının üzerine yığılan maddeden dolayı kara deliğe dönüşmesiyle oluşuktan hemen sonra rölativistik jet ile dev yıldız bileşeninin zarfının etkileşmesi EE bileşeninin oluşmasına neden olabileceği şeklindedir.

Metzger ve diğ. (2008), EE’li kısa patlamaların oluşumunu hızlı dönen bir protomagnetar (çok kuvvetli manyetik alana sahip yeni oluşmakta olan bir nötron yıldızı) ile açıkladıkları modelde, protomagnetarın ya bir beyaz cücenin üzerine yığılan maddeyle çökmesi sonucu ya da ikili sıkı cisimlerin (nötron yıldızı-nötron yıldızı veya beyaz cüce-beyaz cüce) bileşmesi sonucu oluşabileceğini önermişlerdir. Bu senaryoda, öncü ışına merkezi cismin üzerine madde yığılması ile oluşurken EE ise protomagnetarın rotasyon enerjisini açığa çıkaran rölativistik bir rüzgâr ile oluşmaktadır.

Metzger ve diğ. (2010), öncü ışına ile EE arasındaki boşluğun r-süreci nükleosentezinden kaynaklanan ısınmadan dolayı merkezi cismin üzerine geri yığılan maddenin bir anlığına durduğunu önermişlerdir. Bu senaryoda patlamaların EE’li veya EE’siz olması r-süreci ısınmasının zaman ölçeğine bağlıdır; eğer bu zaman ölçeği ~ 1 sn’den uzun olursa yığılan madde tamamıyla kesilip EE bileşeni oluşmakta, EE’nin olduğu olaylarda duraklamadan sonra yığılma kaldığı yerden devam etmektedir.

Barkov ve Pozanenko (2011), EE’li GRB sınıfının öncü ve EE ışınım bileşenlerinin spesifik özelliklerini açıklamak için “iki bileşenli jet modeli” önermişlerdir. İkili sıkı cisimlerin birleşmesine dayanan iki bileşenli jet modelde, öncü bileşenin nötrino ısınmasıyla nötrino anti-nötrino çiftinin yok oluşu sonucu oluşan kısa süreli bir jetten kaynaklanırken EE bileşeninin Blandford-Znajek (BZ) mekanizmasıyla oluşan daha uzun süreli ve dar bir açılma açısına sahip jetten oluştuğu önerilmiştir. Öncü bileşen bu modele göre hızlı akresyon nedeniyle nötrino içerikli jet şeklinde meydana gelmektedir. Birkaç saniye sonrasında nötrino ısınması sürecinin etkisinin azalmasına rağmen BZ süreci sayesinde merkezi mekanizma bir süre daha aktif

kalabilmektedir. BZ mekanizmasıyla oluşan jetin süresinin ise akresyon diskinin kütlesine bağlı olarak değişebileceği belirtilmiştir.

Bucciantini ve diğ., (2012) magnetar modelinin biraz farklı bir versiyonunu tartışmışlardır. Bu modelde, EE'nin başlangıcındaki gecikmenin protomagnetardan baryon yüklü rüzgâr şeklinde çıkan rölativistik jetin ani genişlemesinden kaynaklandığı önerilmektedir.

Gompertz ve diğ. (2014), öncekiler gibi magnetar modelini kullanmış, EE emisyonu ile ardıl ışımalarda görülen plato emisyonunu tek bir modelle açıklamışlardır. “Manyetik pervane” modeli varsayımıyla aktarım yapan disk kütlesinin 10^{-2} ila $10^{-3} M_{\odot}$ arasında, manyetik alanın 10^{15} G mertebesinde ve magnetarın dönme periyodunun birkaç milisaniye olması gerektiğini hesaplamışlardır. Benzer hesaplamalar, farklı EE'li GRB örneklemeleri üzerinden farklı gruplarca yapılmıştır (örn.: Gibson ve diğ., 2017; Desai ve diğ., 2018; Matsumoto ve diğ., 2020)

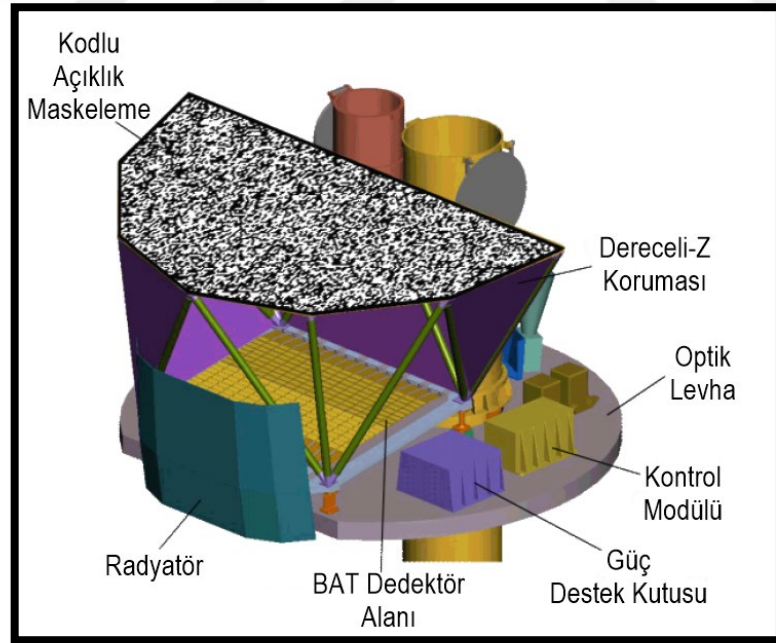
Kimura ve diğ. (2019), öncü ışıınım fazında kısa patlamayı tetikleyen mekanizmanın devam eden aktivitesini açıklamak için “koza emisyonu (Toma ve diğ., 2009)” modelinden yararlanmışlardır. Bu modelde, kompakt çift yıldız birleşmesi sonrası, esas gama ışınlarını algıladığımız jet üretilmeden önce yayımlanan ejekta içerisinde, jet ile etkileşilen bölgede ters Compton süreci sonucunda üretilen fotonlar tarafından EE fotonlarının üretildiği öne sürülmektedir.

Bu bölümde özetlenen tüm teorik araştırmalar, bir önceki bölümde özetlenen EE katalogları üzerinden yapılan hesaplamalar ve üretilen simülasyonlar sonucu oluşturulabilmiştir. Dolayısıyla istatistiki açıdan güvenilir hesaplamaların yapılması için, gözlem verilerinin yeterli sayıda olması gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da bu motivasyonla, sonraki bölümde anlatılacak olan gereç ve yöntemler kullanılarak *Swift*/BAT kataloğunun EE bileşeni içeren patlamalarını tespit etme aşamaları anlatılmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. NEIL GEHRELS SWIFT GÖZLEMEVİ

20 Kasım 2004 tarihinde göreve başlayan Swift, Gama Işın Patlamaları biliminin çoklu dalga boyu gözlemlerini yapmaya adanmış olması bakımından türünün ilk örneğidir. Uydudaki üç dedektör: patlama alarm teleskobu (BAT: Gehrels ve diğ., 2004), X-ışın teleskobu (XRT: Burrows ve diğ., 2005) ve morötesi ve optik teleskobu (UVOT: Roming ve diğ., 2005) beraber çalışarak gama ışını patlamalarını ve ardıl ışınlamalarını gama ışınları, X-ışınları, mor ötesi ışınlar ve optik ışınları dalga boyunda gözlemler. Swift'in Patlama Alarm Teleskobu (BAT) gama ışın patlamalarını yaklaşık 15 saniye içerisinde algılayıp 1-3 yay dakikalık bir kesinlikle konum tahminlerini yeryüzüne iletir ve uzay aracının kendini yeniden konumlandırması sayesinde diğer dedektörleri de patlama noktasını gözlemeye başlar. Bu sayede patlamaların tayfsal enerji dağılımlarını ve ardıl ışınlam süresince çoklu dalgaboylarında ışık eğrilerini almak mümkün olur. Bu tez çalışmasında 15-350 keV enerji duyarlılığına sahip, kodlu-maske teknolojisiyle üretilmiş geniş alan gama ışın dedektörü, BAT verileri kullanılacaktır.



Şekil 3.1: Swift uydusu üzerinde bulunan BAT dedektörünün bileşenlerinin gösterimi. (Barthelmy ve diğ., 2005)

Şekil 3.1’de gösterilen dedektör, 2 mm kalınlığında, 4 mm² alanını kaplayan 32,768 parçalı kadmiyum-çinko-telürid (CZT: CdZnTe) yapısından oluşmaktadır. Bu alanın 1 m üstünde 5

mm²lik kodlu diyafram bulunmaktadır. BAT dedektörü iki modda çalışır: patlama modu ve sert X-ışını araştırma verileri üreten araştırma modu. Araştırma modunda cihaz, 80 enerji kanalında beş dakikalık zaman adımlarında sayım verilerini toplar. Bir patlama gerçekleştiğinde, ön patlama bilgisini kaydetmek için dedektör patlama moduna geçer. Patlama modunda algoritma; patlama öncesi zemin ışınlamı aralıklarını, zemin ışınlamı sayım oranının ekstrapolasyonunun sırasını, patlama emisyonu test aralığının süresini, aydınlatılan dedektör düzleminin bölgesini ve enerji aralığını belirleyen çok sayıda kritere sahiptir. Patlama tetiklenme limiti, zemin gürültüsünün üzerinde 4σ ila 11σ arasında değişebilir ve tipik olarak 8σ değerindedir. BAT, patlamaları ararken tüm gökyüzünde sabit bir X-ışını taraması gerçekleştirir ve sert X-ışını geçici olaylarını izler. BAT, uzay aracındaki telemetri akışında her beş dakikada bir dedektör düzlem haritalarını toplar. Gökyüzü görüntüleri kaynakları tespit etmek ve konumlandırmak için aranır. Araştırmanın 5σ duyarlılığı, 15-150 keV bandında yaklaşık 0.8 mCrab'dir. Her bir gözlem için Swift Arşivi, verilerdeki işlem sırasında oluşturulan ve kendi tetiklenme numaralarıyla düzenlenmiş olan telemetri mesajlarını (TDRSS) ve tüm Seviye 1 (ham veri), Seviye 2 (indirgenmiş veri) ve Seviye 3 (ileri düzeyde işlenmiş veri) FITS uzantılı dosyalarını içerir. Sonraki alt başlıkta teknikleri de açıklanacağı gibi, tez çalışmasında kullanılacak patlama ışık eğrileri ile tayfları, birinci ve ikinci seviye verilerinden oluşturulmuştur.

3.1.1. BAT Verilerinin İşlenmesi

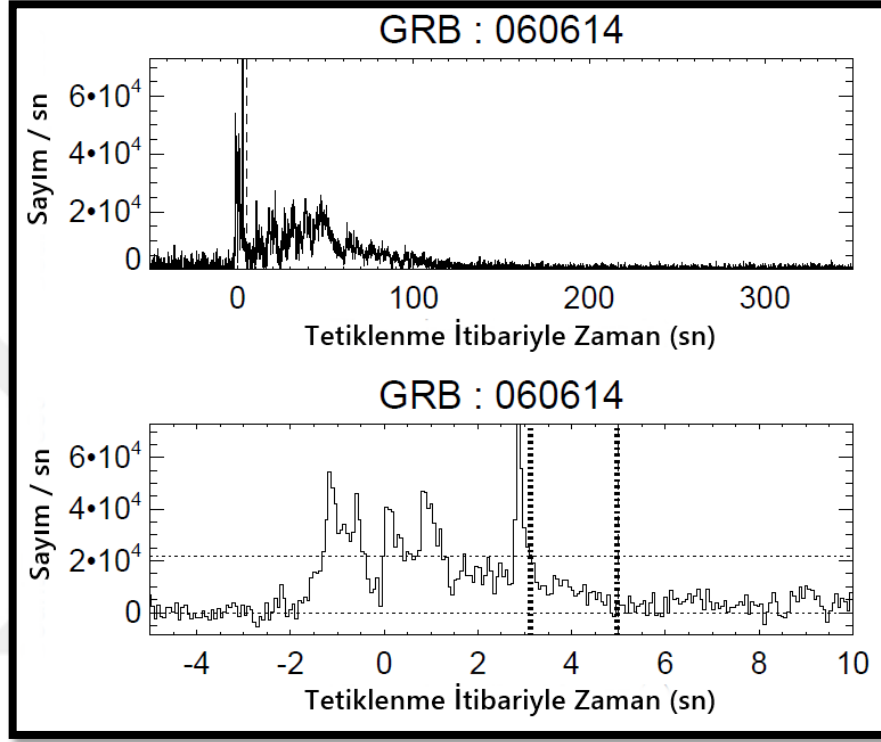
BAT, gözlemlerinde çoğunlukla araştırma modundadır. Bu moddayken ortalama beş dakikalık zaman çözünürlüğüne sahip gözlem verilerini sürekli üretmektedir. Herhangi bir enerji kanalında ani bir artış gözlemlendiğinde bu “sayım tetiklemesi” olarak TDRSS uyarılarına kaydedilir. Ancak bilimsel analiz için bu verilerin güvenilirliği, zemin ışınlamadaki ekstra gürültüler (kontaminasyon) nedeniyle düşüktür. Sayım artışının GRB'ye ait olduğu doğrulandıktan sonra maskeleme yoluyla sinyalden bu kontaminasyonların çıkarımının yapılabildiği tetiklenme verileri (event data) üretilebilmektedir. Bu veriler, kalibrasyon veri tabanında (CALDB) tanımlı paket programları yardımıyla işlenerek analize hazır hale getirilir. Çünkü kodlu diyafram analizi yönteminde her bir BAT dedektörü gökyüzündeki farklı kaynaklar tarafından aydınlatılabileceği gibi, tek bir kaynak birden fazla dedektörü de etkileyebilmektedir. Bu nedenle her bir fotonun gökyüzünün hangi bölgesinden geldiği bilinemeyeceğinden, görüntü oluşturmak için nokta dağılım fonksiyonunun (PSF) kullanılması, ışık eğrilerinin oluşturulması ve tayfların çıkartılması için ise istenen enerji ve zaman

adımlarının tanıtılması amacıyla tetiklenme verilerinin işlenmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında bu amaçla kullanılacak prosedürlerden “batmaskwtevt”, ilgili gözlem dosyasının içerdiği kozmik veya yerel parçacıklardan kaynaklanan zemin ışıınımı, dedektör gürültüsünün giderilmesi ve görüntülemesi yapılamayan X-ışını katkılarının belirlenip sinyalden çıkartılabilmesi için dedektör maskeleyme aracıdır. “bathotpix“, çok yüksek veya düşük sayıma sahip veya gürültülü dedektörlerin filtrelenmesinde kullanılırken “batbinevt” ışık eğrisi, tayf, dedektör düzlem histogram veya görüntü dosyalarını üretmekte kullanılacaktır.

3.2. ÖNCÜ IŞINIM İÇİN MORFOLOJİK KRİTER

Geleneksel olarak GRB sınıflaması Kouveliotou ve diğ. (1993) çalışmasında belirtildiği gibi patlamanın T_{90} süresi ve tayfsal sertlik özelliklerine göre yapılmaktadır. Çalışmada BATSE dedektörünün bir GRB olayında algıladığı kümülatif foton sayımları için zemin ışıınının %5’inden %95’ine çıkma süresi olarak tanımlanan T_{90} süresi iki saniyeden kısa olursa “kısa süreli GRB” ve aksi durumda “uzun GRB” olacak şekilde bir sınıflandırma yapılmıştır. Bunun sonucunda kısa GRB’lerin genellikle sert tayflara ve uzun GRB’lerin yumuşak tayflara sahip olduğu görülmüştür. Burada tayfsal sertlik oranı BATSE dedektörü tarafından 100-300 keV enerji aralığında algılanan toplam foton sayımının 50-100 keV aralığındaki toplam sayım oranı olarak tanımlanmıştır (Kouveliotou ve diğ., 1993). Ancak söz konusu sınıflandırma yönteminin $T_{90} = 2$ sn civarında ayırt edici olmaması ve farklı dedektörlerin sınırlılıklarının farklı olması nedeniyle verileri araştırılacak uyduların iyi tanınması ve tespit edilecek özelliklere göre kriterler belirlenmesi gerekmektedir. Zira sınıflandırma, patlama kaynağı hakkındaki yorumlarımızı etkileyeceğinden ve bu tez çalışmasında kısa GRB’leri takip eden uzun süreli ışıınımlar araştırılacağından GRB sınıfları için ayırım sınırlarının net olarak tespit edilmesi önemlidir. Bu nedenle BAT verileri için ilk kısa GRB seçimi, gama ışını patlamaları kataloglarında bulunan patlama sürelerine (T_{90}) göre yapılacaktır (Lien ve diğ. 2016; Narayana Bhat ve diğ., 2016). Patlama süreleri 5 sn’den kısa olan tüm patlamalar EE bileşeni için sistematik taramaya dahil edilecektir. Buna ek olarak T_{90} süresi 5 sn’den uzun olan patlamaların ışık eğrileri, bu patlamaların sürelerinin uzunluğunun öncü ışıınım fazlarında merkezi mekanizmanın devam eden aktivitesinden ötürü bir EE bileşeni barındırmasından kaynaklanma ihtimalinin kontrol edilebilmesi amacıyla incelenecektir. Uzun bir patlamanın, kısa patlama adayı olarak değerlendirilebilmesi için bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu kriterler, EE’li GRB olarak adlandırılan hibrit sınıfın en bariz temsilcilerinden olan GRB060614A

(Gehrels ve diğ., 2006, Norris ve Bonnell, 2006) patlamasının ışık eğrisine olan morfolojik benzerliğe dayanmaktadır. İlgili patlamanın ışık eğrisinin öncü yapısı Şekil 3.2'den incelendiğinde bu yapının 5 sn civarında zemin ışınlımı seviyesine indiği, sonrasında sayım oranlarının bir süre daha bu seviyede devam ettiği görülmektedir.



Şekil 3.2: GRB060614A patlamasının öncü ışınlım yapısı. Üst panelde dikey kesikli çizgi $T_0 + 5$ sn zamanını göstermektedir. Alt panelde morfolojik tarama kriterleri ifade edilmiştir. Sayım / sn'nin sıfır değerindeki kesikli yatay çizgi zemin ışınlım seviyesini, üstteki kesikli yatay çizgi ile üçüncü sn civarındaki düşey kesikli çizgi ise patlamanın maksimum değerinin %30'u olan değerini ifade etmektedir.

Buradan hareketle BAT ışık eğrilerine uygulanacak morfolojik kriterler;

- (i) Patlama sayım oranının maksimum olduğu an, T_0 tetikleme zamanına göre T_0 ile $T_0 + 5$ saniye zaman aralığı içerisinde bulunmalı,
- (ii) Patlamanın maksimum sayım oranına eriştiği andan $T_0 + 5$ saniyeye kadar zaman aralığında sayım oranının, kalan zaman diliminin en az %60'ında, maksimum değerin en fazla %30'unda olduğu bir davranış göstermeli ancak eğer maksimum değer 11,000'den az ise maksimum değerin en fazla %40'ında olduğu bir davranış göstermeli.

Öncü bileşen yapısı incelenen patlamalar, bu iki kriterden her ikisini de sağlamalıdır. Ancak araştırma, yüksek çözünürlüklü ışık eğrilerinden yapıldığından, bazı patlamaların öncü ışınım bileşenine yakın zaman adımlarında, ana yapıya dahil olmayan yükselmeler görülebilmektedir. Bu tip patlamaların tespiti için, (ii) kriterinde belirtilen %30 seviyesi ayrıca maksimum değerin %50 seviyesi referans alınarak da incelenmiş ve ilk değeri bu sınır içerisinde en fazla 3 zaman adımı kadar geçen adaylar da kısa patlama adayları listesine dahil edilmiştir.

Dolayısıyla bu tez çalışmasında, ilgili tarih aralığında *Swift*/BAT dedektörü tarafından gözlenmiş olan tüm uzun ($T_{90} > 5$ sn) GRB'lerin 15-350 keV enerji aralığında 64 ms çözünürlüklü zemin ışıma etkisi giderilerek oluşturulan ışık eğrileri önce IDL tabanlı programlarla yukarıda (i) ve (ii) maddelerinde sıralanan kriterlerle, daha sonra ayrıntılı olarak görsel bir şekilde incelenerek, morfolojik olarak GRB060614A benzeri kısa öncü ışınım yapısına sahip olanları belirlenerek EE araştırmasına tabi tutulmuştur.

3.3. EE BİLEŞENİ ARAMA METODU

Morfolojik kriter gibi EE arama kriteri de kısa ve uzun GRB'ler arasında hibrit bir sınıfı oluşturduğu keşfedilen GRB060614A gibi, daha önce gözlenen ve EE bileşenine sahip kısa GRB'lerin özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir (Bostancı ve diğ., 2013; Kaneko ve diğ., 2015). İlk olarak, tüm kısa GRB'ler ve morfolojik kriteri sağlayan uzun GRB'ler için 4 farklı enerji kanalında (15-25, 25-50, 50-100, 100-150 keV) 1 sn çözünürlüklü, zemin ışıması çıkarılmış ışık eğrileri ile sinyal-gürültü oranı hesabında kullanılmak üzere aynı özellikteki zemin ışıması çıkarılmamış ışık eğrileri oluşturulmuştur.

Öncü patlamayı takip eden EE bileşenin teşhisinde BAT ışık eğrilerinin $T_0 + 5$ ile $T_0 + 350$ sn zaman aralığı dikkate alınmış, zaman çözünürlüğü 4 sn olarak ayarlanmış ve her bir zaman adımı için, sinyal-gürültü oranı (SNR) hesaplanmıştır. SNR değerinin hesabında öncelikle, patlama sayım oranlarından zemin ışıması sayım oranları çıkarılıp çözünürlük ile çarpıldıktan sonra toplam sayımlar elde edilmiştir. Daha sonra, patlamaya ait zemin düzeltmesi yapılmamış sayım oranlarının çözünürlük ile çarpımının karekökü alınarak bir standart sapma değeri (σ) hesaplanmıştır. Toplam sayım değerinin sigmaya bölünmesi ile de sigma biriminde SNR değeri bulunmuştur.

SNR değerleri bu adımlarla 50 keV'nin altı ve 50–100 keV enerji aralıkları için hesaplanmıştır. En düşük enerji eşiği BAT için 15 keV olduğundan, yazılan EE arama algoritmasında; 15-25,

25-50, 15-50 ve 50-100 keV bantlarında en az ardışık 12 sn için zemin seviyesinin üstündeki $SNR \geq 1.5 \sigma$ olduğunda bulunan bu yapılar “EE pozitif” olarak tanımlanmıştır.

3.3.1. EE Bileşeninin Doğrulanma Aşamaları

“EE pozitif” yapılarının T_0 tetiklenme zamanına göre tespit edilme zamanı ve yapının bulunduğu enerji kanalı bilgisi belirlenen adayların her biri için kontrol edilmiştir. Yalnız bir kanalda görülen ve diğer kanallarda hiçbir izi olmayan yapıların bazıları zemin ışıını seviyesindeki dalgalanmalardan kaynaklanabildiği için, ilgili kanaldaki ışık eğrisinin bu tip bir genel davranış sergileme ihtimali kontrol edilerek bulunan çıktılarda gerekli durumda elemeler yapılmıştır. Tespit edilen EE bileşeninin öncü ışıını yapısına çok bitişik olduğu durumda ise sayımların zemin seviyesine hiç inmeden devam ettiği “kuyruk” yapıları ve yine EE olarak belirlenen “çok periyotlu öncü ışıını yapı” uzantıları da benzer şekilde listeden çıkarılmıştır.

Bu tip, ışık eğrilerinde gözle görülebilir yapay EE tespitlerinin yanında, EE bileşeni tarama işlemleri, sistematik yapay bir sinyalin varlığının kontrolü amacıyla SNR ışık eğrilerinde negatif yönde de yapılmıştır. “EE negatif” tanımlaması ardışık 4 sn’lik üç zaman adımı için $SNR < -1.5\sigma$ olarak yapılmış ve EE araştırmasına tabi tutulan tüm BAT patlamalarına bu kriterler de uygulanmıştır.

Swift/BAT dedektörü, sahip olduğu enerji aralığı kapsamı sayesinde gama ışıını patlamalarının yanı sıra, nötron yıldızı aktiviteleri, kozmik ışın aktiviteleri gibi olaylar ile Güneş’ten gelen plazma ve fotonları da algılayabilecek donanımına sahiptir. Dolayısıyla, belirlenen aday GRB’lerin EE bileşenlerinin başka X-ışın kaynaklarıyla örtüşmesi sonucu olup olmadığı da kontrol edilmiştir.

Swift/BAT dedektörü, kodlu maske özelliğine sahip olduğundan, GRB tetikleme sırasında kataloglanmış bir kaynağın görüş alanında olup olmadığının kontrolünü yapabilmektedir. Bu nedenle her bir patlamanın dosya bilgileri içerisinde veya GRB Bildirimleri Ağı’ndan (GCN) bu bilgiye ulaşılabilir. Yine de detaylı doğrulama yapmak için her bir aday *Swift*/BAT patlamasının koordinatları ve zamanı, BAT görüş alanı sınırlaması (4 yay dakikası) referans alınarak tüm HEASARC kataloglarında *Xamin* adlı arayüz üzerinden karşılaştırma yapılarak ilgili GRB ile örtüşen başka bir astronomik olay olup olmadığı kontrol edilmiştir.

3.4. BAYES BLOKLARI METODU

Patlamaların öncü patlama ve EE bileşenlerinin süreleri, EE'nin tespit edildiği patlamaların ışık eğrilerine Bayes blokları (Bayesian blocks, BB) analizi (Scargle ve diğ., 2013) uygulanarak hesaplanmıştır. BB analizi, zaman serilerinin içine gömülü yapıları tespit ve karakterize etmek için kullanılan parametrik olmayan analiz yöntemidir. Yöntem, SNR değerlerini de dikkate alarak ışık eğrisini en uygun bloklara ayırarak basitleştirip yapıları açığa çıkartmak üzerine işlemektedir. IDL yazılım dilinde hazırlanan kodlar kullanarak EE'li GRB adaylarının bileşen süreleri bulunmuştur. Bunun için her bir GRB adayının EE bileşeninin tespit edildiği enerji aralığında 1 sn çözünürlüklü ışık eğrisine ve öncü ışınım için 15-150 keV enerji aralığındaki 64 ms çözünürlüklü ışık eğrilerine ilk olarak “battblocks” adlı prosedür uygulanarak yapı bulunduran zaman aralıkları tespit edilmiştir. İlgili zaman aralıkları, daha sonra oluşturulan ışık eğrilerine Bayes blok analizi yapılarak doğrulanmıştır. Yapıyla ilgili bulunan blokların başlangıç ve bitiş zaman farkları, bileşen süresi olarak kabul edilmiştir. Ve tayflar oluşturulurken bu başlangıç ve bitiş değerlerini kapsayan zaman aralıkları referans alınmıştır.

3.5. TAYF ANALİZİ

3.5.1. Tayfların Oluşturulması

Swift/BAT tayf dosyaları, ışık eğrilerinde olduğu gibi “batbinevt” prosedürü yardımıyla, 15-150 keV enerji aralığı için ve BB süreleri referans alınarak belirlenen öncü ışınım ve EE ışınımı bileşenlerinin zaman aralıkları için oluşturulmuştur. Ayrıca ilgili bileşen aralığında her GRB için maksimum sayıya karşılık gelen tek bir zaman adımı (64 ms) ait de tayf dosyaları oluşturulmuştur. Oluşturulan tayf dosyalarına “batupdatephakw” ve “batphasyserr” prosedürleri ile uydunun ilgili konuma yönelirken dedektör düzlemi üzerindeki yapay gölgelenmeleri elimine edecek ışın izleme (ray-tracing) düzeltmesi ve diğer sistematik düzeltmeler yapılmıştır. Modellemeye başlanabilmesi için son olarak “batdrngen” prosedürü kullanılarak yanıt matris dosyaları üretilip RMFIT programına tanımlanabilir hale getirilmiştir.

3.5.2. RMFIT Programı

RMFIT (Mallozzi ve diğ., 2011), GRB gibi geçici olayların tayf analizini yapmada kullanılan IDL tabanlı bir programdır. Gözlenen sayım oranları ve karşılık dedektör yanıt matrisleri kullanılarak, seçilen bir kaynak ve zemin ışıması için, belirlenen zaman aralıklarında en iyi

modeli seçerek en uygun parametrelerin elde edilmesi amacıyla kullanılan ve ışık eğrilerini ve tayflarını görüntüleyen bir tekniktir. 40'ın üstünde tanımlı foton modeli bulunan programda, kullanıcı-tanımlı modeller de uygulanabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, üretilen tüm tayflar RMFIT 4.3.2 versiyonunda “PWRL”, “COMP” ve “BAND” olarak tanımlı en yaygın GRB foton modelleri olan güç kanunu, comptonizasyon ve BAND (Band ve diğ., 1993) modelleri ile fit edilmiştir. Her bir EE’li GRB’nin bileşenlerini ve maksimum noktalarını en iyi tanımlayan model parametreleri, χ^2 değerleri, farklı enerji aralıklarındaki (15-25, 25-50, 50-100, 100-150, 15-150 ve 15-350 keV) toplam enerji akı sonuçları kaydedilmiştir.

3.5.3. Model Sonuçlarından Türetilen Parametrelerin Hesaplanması

Kaydedilen sonuçlar ve tayf grafikleri incelenerek EE’li GRB’lerin her birinin öncü bileşen ve EE bileşenlerini en iyi tanımlayan ve en basit foton modeli seçilmiştir. Seçim yapılırken model parametrelerinin hatalarıyla birlikte kabul edilebilir değerlerde olmasına dikkat edilmiştir. Bileşenler ve maksimum noktalarına ait zaman aralıkları için tayf model parametreleri ve farklı kanallarda ölçülen enerji akıları elde edildikten sonra tayfsal diğer parametreleri de hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan itibaren hem öncü hem EE bileşeni için; 25-50 ile 50-100 keV enerji aralığında ölçülen enerji akıları oranlanarak tayfsal sertlik oranları ve 1σ mertebesinde hataları hesaplanmıştır. 15-350 keV enerji akı değerlerinin bileşen süresi ile çarpımından, bileşenlerin toplam enerjileri hesaplanmıştır. Ayrıca her bileşenin 64 ms’lik 15-350 keV ışık eğrilerindeki maksimum zaman adımları için oluşturulmuş tayfların analizi yapılmış ve enerji akı ölçümü sonucundan F_{peak} değerleri hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. KISA PATLAMA KABUL EDİLEN ADAYLAR

Swift/BAT arşiv kataloğundan¹, Şubat 2013 ila Ağustos 2020 tarihleri arasında çekilen toplam 579 GRB verisi sisteme çekilmiştir (bkz. EK 1). T_{90} süresi 5 sn'den kısa 79 patlama direkt EE araştırmasına tabi tutulurken, uzun 500 patlamada kısa öncü patlama bileşeni aranmıştır. Bu patlamalar için morfolojik kriterleri uygulamak üzere ikinci seviye veri kaynakları kullanılarak 64 ms çözünürlüklü, 15-350 keV enerji aralığında zemin ışıınımı etkisi giderilmiş ışık eğrileri “batbinevt” komutu kullanılarak çıkarılmıştır.

500 uzun GRB içerisinde morfolojik kriterleri sağlayan 22 GRB bulunmuştur. Ayrıca (ii.) morfolojik kriteri sadece en fazla üç zaman adımı ile sağlayamayan GRB leri de belirlemek için patlamanın maksimum sayım değerin en fazla %50'sinde olduğu bir davranış gösteren GRB'lerinde tespiti de yapılmıştır. Bu kriteri sağlayan 56 GRB'nin dikkatli görsel kontrolü sonucunda 3 GRB'nin en fazla üç zaman adımının 1.5σ seviyesini geçtiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 25 (uzun patlamaların ~%5'i) GRB esasen uzun patlama olarak kataloglanmasına rağmen, belirlenen kriterler kapsamında kısa patlama olarak değerlendirilmiştir. İlgili GRB'ler EE arama programına dahil edilmiş ve bu patlama bilgileri Tablo 4.1'de listelenmiştir.

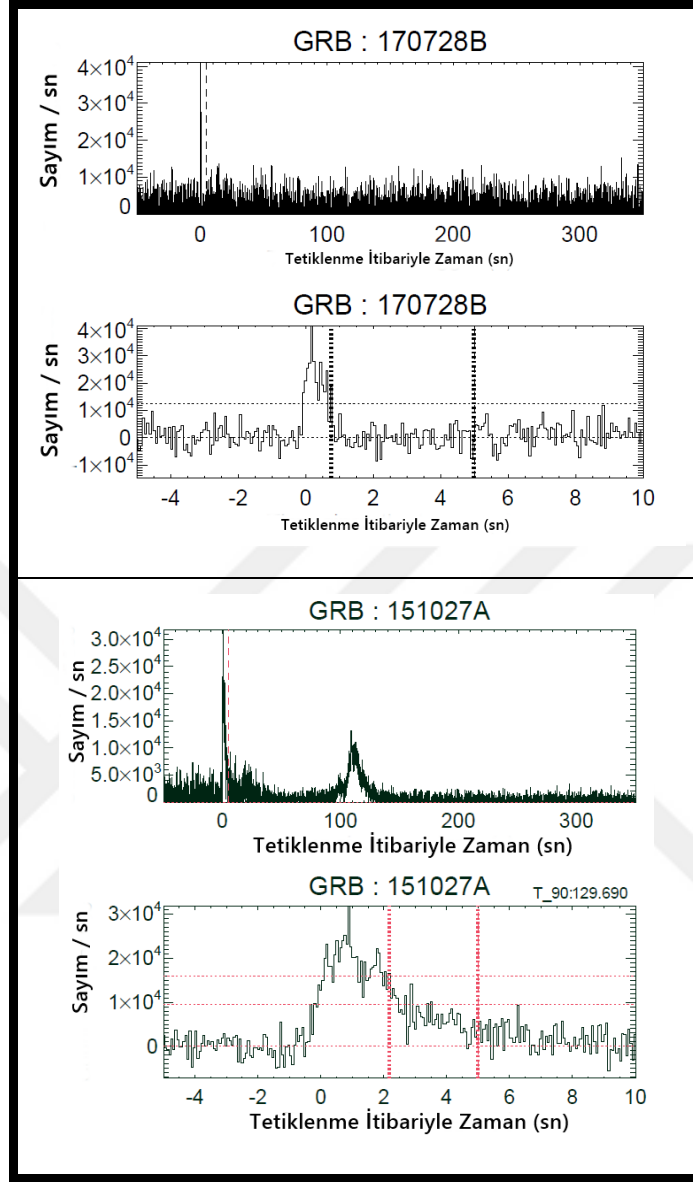
Dolayısıyla, tez kapsamında belirlenmiş tarih aralığında, $T_{90} < 5$ sn olan kısa patlamalarla birlikte *Swift*/BAT ile gözlenmiş 104 kısa GRB (%18) tespit edilerek EE arama programına dahil edilmiştir.

Uzun patlama olarak sınıflanmasına rağmen kısa öncü ışıınım yapısı gösterdiği belirlenen patlama adaylarının öncü ışıınım grafiklerinden ikisi Şekil 4.1'de örnek olarak verilmiş ve kısa patlama olarak değerlendirilmesi gereken tüm GRB'lerin grafikleri EK 2 kısmında sunulmuştur.

¹ https://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb_table/

Tablo 4.1: Literatürde T_{90} süresi beş saniyeden uzun olarak verilmesine rağmen, bu çalışmada uygulanan kriterlere göre kısa öncü patlama yapısı gösterdiği belirlenen 25 GRB'nin katalog bilgisi.

GRB	Tetiklenme No.	T_0 Zamanı	T_{90} Süresi (s)
130216A	548927	22:15:24	6.5
130511A	555600	11:30:47	5.43
131002A	572721	10:54:28	39.10
140209A	586071	07:30:57	21.3
140506A	598284	21:07:36	111.1
140713A	604232	18:43:45	5.30
141220A	621915	06:02:52	7.21
150424A	638946	07:42:57	91
151027A	661775	03:58:24	129.69
151215A	667392	03:01:28	17.8
160216A	673978	19:10:31	11.0
160410A	682269	05:09:48	8.2
160424A	683906	11:49:07	6.3
160425A	684098	23:26:11	304.58
170728B	765130	23:03:19	47.7
171120A	791201	13:20:02	64
180324A	817345	04:37:09	15.5
180805B	851855	13:02:36	122.5
180828A	856977	18:57:34	14.0
190613B	908329	10:47:02	160.84
190719C	915381	14:58:34	185.7
191011A	928924	04:35:56	7.37
200219A	957271	07:36:49	288.0
200409A	965484	03:19:59	17.91
200410A	965638	02:25:10	108.8

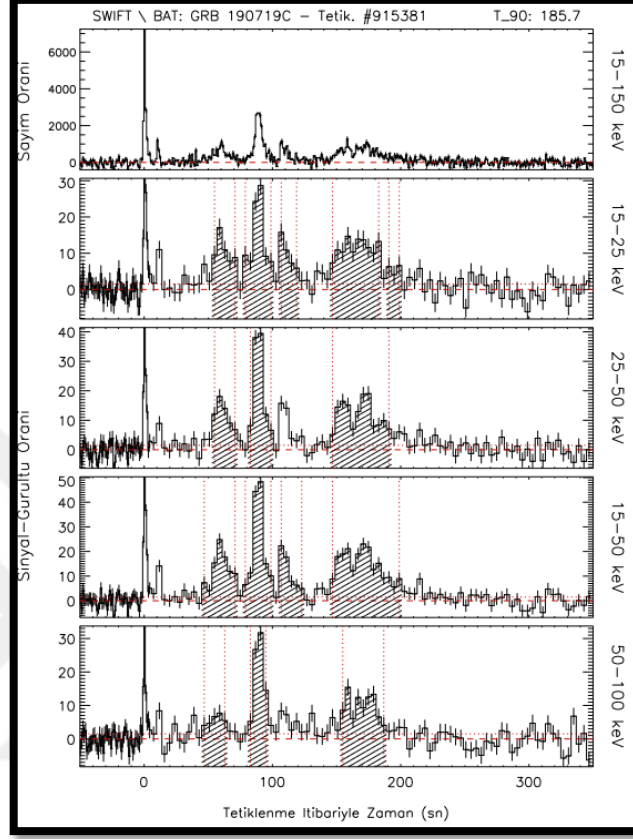


Şekil 4.1: Uzun süreli GRB olarak kataloglanmış *Swift*/BAT patlamaları arasından kısa süreli öncü ışıınım yapısı gösterdiği belirlenen iki patlama örneği. Üst panellerde dikey kesikli çizgi $T_0 + 5$ sn zamanını göstermektedir. Alt panellerde morfolojik tarama kriterleri ifade edilmiştir. Yatay noktalı çizgi patlamanın maksimum değerinin %30'u olan limit değeri, alttaki patlamaya ait grafiğin üstteki kesikli çizgisi ise en yüksek sayım değerinin %50 seviyesini göstermektedir. Dikey kesikli çizgiler de sayım oranı limit değerinin altında kalan %60 ve üzerindeki zaman aralığını temsil etmektedir.

4.2. EE BİLEŞENİ BELİRLENEN PATLAMALAR

Araştırmanın tarih aralığına 79 kısa patlama ve morfolojik kriter sonuçlarından gelen 25 patlamayla birlikte toplam 104 BAT patlaması için EE taraması yapılmış ve 28 GRB’de EE bileşeni tespit edilmiştir. Ancak Bölüm 3.3.1’de açıklanan ve verinin genel davranışından kaynaklanan nedenlerle 11 EE adayı listeden çıkarılmıştır. Geriye kalan 17 GRB patlamasına

ait ışık eğrilerinin bir örneği Şekil 4.2’de verilmiş ve diğer tüm EE’li GRB olduğu belirlenen 17 GRB’nin araştırma sonuç grafikleri EK 3 kısmında sunulmuştur.



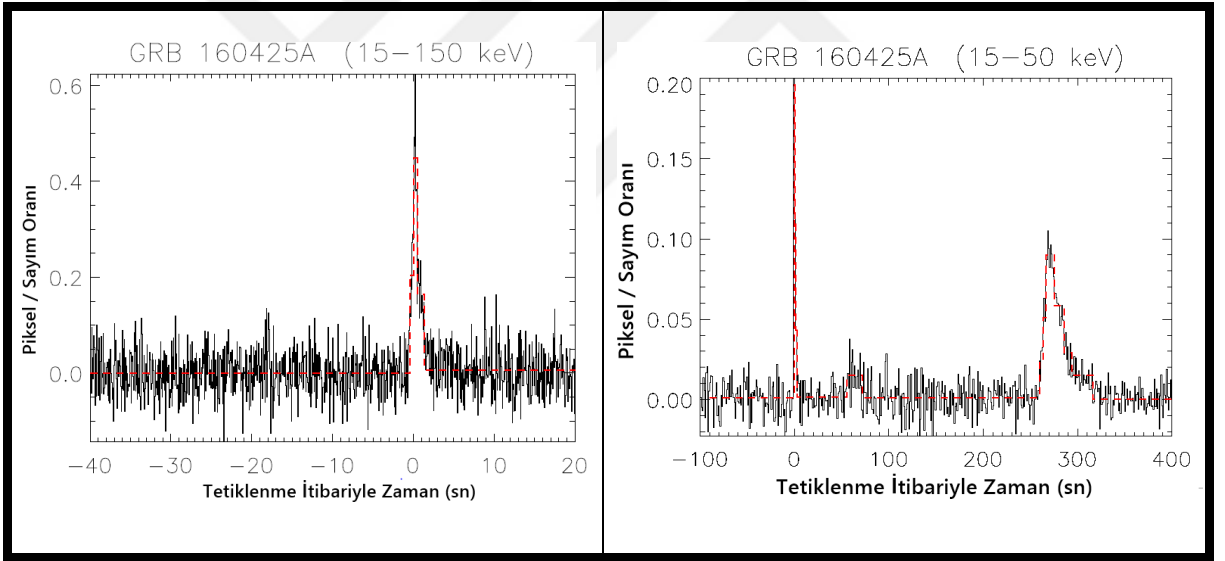
Şekil 4.2: EE araştırma sonucu grafiği. Üst panel dört enerji kanalının zemin ışıması çıkarılmış toplamını göstermektedir. Yatay kırmızı kesikli çizgi zemin ışımasının seviyesini göstermektedir. Son dört panel, zamanın bir fonksiyonu olarak sinyal-gürültü oranını (SNR) göstermektedir. Dikey kırmızı kesikli çizgiler arasındaki gölgeli alanlar, SNR'nin en az ardışık 12 saniye boyunca 1.5σ ve üzeri olduğu zaman aralıklarını belirtmekte ve yatay kesikli ve noktalı çizgiler sırasıyla zemin ışın seviyesini ve 1.5σ seviyesini göstermektedir.

Metodu Bölüm 3.3.1. dahilinde açıklanan yapay EE tespit etme araştırması 104 BAT patlamasına da uygulanmış ve 23 GRB sinyalinde ters-EE bileşeni tespit edilmiştir. Ancak bunların dokuz tanesi tetiklenme zamanından itibaren 150 saniyeden sonra, bir başka dokuz tanesi yalnız 25-50 keV enerji kanalında bulunduğundan, bir tanesi verideki bozukluk nedeniyle ve iki tanesi de öncü ışınım bileşeninin kuyruk benzeri yapısı nedeniyle kısa patlama olarak değerlendirilemeyeceğinden elenmiştir. Geriye kalan iki patlamayı dikkate aldığımızda, BAT için ters yönde EE tespit etme oranını $2/104$ ($< \% 2$) olarak verebiliriz.

4.3. PATLAMA BİLEŞENLERİNİN SÜRELERİ

Aday GRB'lerin öncü ışınlam ve EE ışınlamı yapılarını belirleyebilmek için kullanılan Bayes Blokları (BB) yönteminin, bir patlama için ışıık eğrileri blok yapıları ile Şekil 4.3'te verilmiştir. Tüm yapılar EK 4 bölümünden incelenebilir. Süreler belirlenirken öncü ışınlam bileşeni için 15-150 keV enerji aralığında bulunan bloklar ve EE bileşen sürelerinin belirlenebilmesi için ise 16 GRB'de EE bileşeninin ortak olarak tespit edildiği aralık olan 15-50 keV'de, yalnızca GRB140710A patlamasında ise 50-100 keV enerji aralığındaki bloklar dikkate alınmıştır. Belirlenen blok zamanları ve toplam süreleri Tablo 4.2'de listelenmiştir.

İlgili yapılar incelendiğinde, GRB151027A ve GRB160625A patlamalarının iki farklı EE bileşeni gösterdiği belirlenmiş ve tayfsal analizi yapılmak üzere bu iki patlama için üç farklı zaman aralığı dikkate alınmıştır (EE1, EE2 ve toplam:EE1+EE2).



Şekil 4.3: İki farklı EE bileşenine sahip olduğu belirlenen GRB160425A patlamasına ait öncü bileşen (solda) ve EE bileşenlerinin (sağda) ışıık eğrileri (siyah) ve Bayes blok grafikleri (kırmızı).

BB metodu ile, EE bileşeni yalnız 50-100 keV kanalında bulunan GRB140710A patlamasının EE bileşeni tayin edilememiştir. Bu patlamanın EE bileşen süresi, EE araştırma program çıktısından alınan SNR kriterini sağlayan başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak görsel olarak belirlenip Tablo 4.2'ye işlenmiştir.

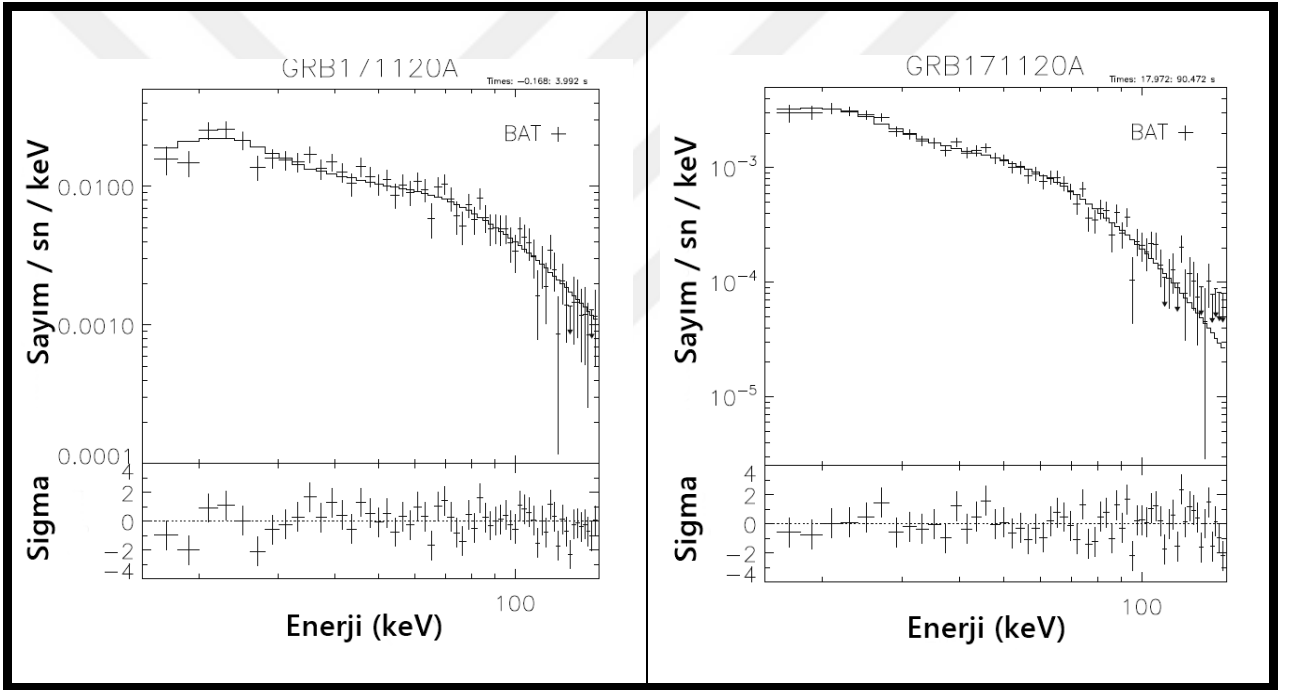
Tablo 4.2: Bayes istatistiği ile EE’li GRB’lerin ışıık eğrilerinde bulunan bloklardan itibaren tespit edilen öncü ışıınım süresi ($T_{\text{öncü}}$), EE ışıınımı süresi (T_{EE}) ve sırasıyla bu bileşenlerin T_0 zamanı itibariyle başlangıç zamanları ($B_{\text{öncü}}$ ve B_{EE}).

GRB Adı	$T_{\text{öncü}}$ (sn)	T_{EE} (sn)	$B_{\text{öncü}}$ (sn)	B_{EE} (sn)
130626A	0.26	14.00	0.25	0.50
131002A	1.09	36.00	- 0.22	0.87
140209A	2.69	12.50	1.64	4.33
140506A	1.86	93.50	- 0.18	1.67
140710A	3.84	14.00	- 0.18	3.66
150424A	0.58	105.94	0.09	0.66
151027A	6.98	157.86	- 0.32	6.66
151027A	6.98	49.36	- 0.32	6.66
151027A	6.98	108.50	- 0.32	6.66
160425A	1.79	287.50	- 0.42	1.38
160425A	1.79	42.50	- 0.42	1.38
160425A	1.79	57.00	- 0.42	1.38
170728B	3.00	49.57	- 1.00	2.55
171103A	0.70	21.00	- 0.25	0.46
171120A	4.16	72.50	- 0.17	3.99
180805B	0.83	99.50	- 0.11	0.72
190613B	5.70	181.81	- 4.62	1.07
190719C	2.88	212.50	- 0.11	2.77
200219A	0.77	207.50	- 0.18	0.59
200409A	1.02	12.00	- 0.02	1.00
200410A	4.42	50.63	- 1.22	3.20

4.4. TAYF ANALİZİ SONUÇLARI

Swift/BAT ile gözlenmiş 17 farklı patlamanın 17 öncü ve 21 EE bileşeninin Tablo 4.2’de belirtilen zaman aralıkları için 15-150 keV enerji aralığında, 80 enerji kanallı tayfları, BAT için geliştirilen ve 3. bölümde açıklanan paket yazılım programları kullanılarak oluşturulmuştur.

RMFIT programı kullanılarak, patlama bileşenlerinin tayfını en iyi tanımlayan foton modeli belirlenmiştir. Fit parametreleri BAT verileri için minimize χ^2 istatistiği ile elde edilmiştir. Şekil 4.4’te GRB171120A patlamasının iki bileşeninin tayfları en iyi foton modeliyle birlikte örnek olarak verilmiştir. Tüm tayf sonuç grafikleri ise EK 5 kısmında sunulmuştur.



Şekil 4.4: *Swift*/BAT ile gözlenmiş GRB171120A patlamasının güç kanunu foton modeli ile fit edilmiş öncü ışınım (sol) ve komptonizasyon foton modeli ile fit edilmiş EE bileşeninin (sağ) tayfları. Sürekli çizgiler foton modellerini, “+” sembolleri ise veriyi temsil etmektedir. Grafiklerdeki alt panellerde veri ile model arasındaki farkların dağılımları verilmiştir.

Seçilen modeller ile 15-25, 25-50, 50-100, 100-150 ve 15-350 keV enerji aralıkları için bileşenlerin toplam enerji akıları hesaplanmıştır. Tayf analizi, aynı metot ile bileşenlerin en yüksek sayım oranı değerine ulaştığı 64 ms sürelik tek zaman adımı için de yapılmış ve ilgili enerji aralıkları için maksimum akı değerleri hesaplanmıştır (F_{peak}).

Tablo 4.3: EE'li GRB bileşenlerinin tayflarını en iyi tanımlayan foton model parametre sonuçları ve akı ölçüm sonuçlarından itibaren hesaplanan tayfsal sertlik oranı, enerji akısı ve bileşenlerin en yüksek sayıma ulaştığı en küçük aralıktaki enerji akısı değerleri.

GRB	Bileşen	Model	λ	E_{peak} (keV)	χ^2/DoF	Toplam Enerji ^a	F_{peak} ^b	HR ^c
130626A	Öncü	Pwrl	- 1.41±0.15	-	67/57	7.0±2.9	33.6±4.5	1.50±0.21
	EE	Pwrl	- 1.55±0.29	-	66/58	18.8±0.1	4.7±2.4	1.36±0.19
131002A	Öncü	Pwrl	- 1.68±0.15	-	53/57	10.3±1.0	17.7±3.3	1.25±0.18
	EE	Pwrl	- 1.69±0.14	-	50/57	49.9±0.1	7.6±2.5	1.24±0.16
140209A	Öncü	Pwrl	- 0.84±0.12	110±11	62/56	390.0±3.5	605.0±28.0	1.52±0.05
	EE	Pwrl	- 1.98±0.43	-	48/57	20.6±0.5	4.7±4.0	1.01±0.42
140506A	Öncü	Pwrl	- 1.50±0.07	-	47/57	149.0±3.9	114.0±19.0	1.42±0.10
	EE	Pwrl	- 1.56±0.14	-	56/57	120.0±0.1	4.6±0.6	1.36±0.17
140710A	Öncü	Pwrl	- 2.18±0.17	-	66/57	23.4±0.7	15.2±5.0	0.88±0.15
	EE	Pwrl	- 1.18±0.16	-	126/58	23.5±0.4	3.8±2.5	1.99±0.19
150424A	Öncü	Pwrl	- 0.87±0.04	-	52/57	162.0±7.7	354.0±19.0	2.19±0.07
	EE	Pwrl	- 2.39±0.37	-	47/57	32.9±0.1	6.8±2.7	0.76±0.31
151027A	Öncü	Pwrl	- 1.52±0.05	-	59/57	231.0±1.2	58.1±11.0	1.39±0.07
	EE_tot	Pwrl	- 1.61±0.04	-	68/57	613.0±0.1	29.6±4.1	1.31±0.05
	EE1	Pwrl	- 2.05±0.15	-	71/57	113.0±0.2	10.7±1.7	0.97±0.14
	EE2	Pwrl	- 1.51±0.03	-	50/57	513.0±0.1	29.6±4.1	1.41±0.04
160425A	Öncü	Pwrl	- 1.68±0.09	-	42/57	119.0±1.0	37.1±5.2	1.25±0.10
	EE_tot	Pwrl	- 2.30±0.13	-	48/57	165.0±0.0	6.0±2.7	0.81±0.11
	EE1	Pwrl	- 1.77±0.38	-	60/57	26.9±0.2	5.0±2.8	1.18±0.42
	EE2	Pwrl	- 2.53±0.09	-	49/57	121.0±0.1	6.0±2.7	0.69±0.06
170728B	Öncü	Pwrl	- 1.45±0.22	-	55/56	161.0±3.5	116.0±27.0	1.47±0.32
	EE	Pwrl	- 2.29±0.41	-	63/57	120.0±0.6	117.0±31.0	0.83±0.34
171103A	Öncü	Pwrl	- 1.07±0.08	-	46/57	102.0±3.5	118.0±11.0	1.91±0.14
	EE	Pwrl	- 2.43±0.54	-	48/57	13.6±0.2	5.6±3.5	0.74±0.45
171120A	Öncü	Pwrl	- 1.31±0.05	-	51/57	181.0±3.3	333.0±33.0	1.62±0.07
	Ee	Pwrl	- 1.14±0.16	87±12	60/56	498.0±0.3	8.6±1.5	1.27±0.05
180805B	Öncü	Pwrl	- 0.61±0.16	-	53/57	46.5±2.6	26.4±6.0	2.61±0.40
	EE	Pwrl	- 1.24±0.21	-	58/57	77.7±0.1	5.9±3.8	1.69±0.33
190613B	Öncü	Pwrl	- 1.45±0.10	-	59/57	28.3±2.1	27.0±17.0	1.46±0.13
	EE	Pwrl	- 2.17±0.30	-	80/57	96.9±0.1	6.1±1.2	0.89±0.29
190719C	Öncü	Pwrl	- 1.67±0.06	-	34/57	20.3±1.2	48.6±6.8	1.26±0.07
	EE	Pwrl	- 1.69±0.07	-	64/57	502.0±0.1	11.4±5.0	1.24±0.07
200219A	Öncü	Pwrl	- 0.73±0.08	-	51/57	196.0±2.7	50.1±5.8	2.41±0.18
	EE	Pwrl	- 1.83±0.21	-	56/57	78.6±0.1	4.6±0.3	1.12±0.24
200409A	Öncü	Pwrl	- 1.58±0.18	-	40/57	8.7±1.4	12.2±4.5	1.34±0.23
	EE	Pwrl	- 2.79±0.53	-	49/57	9.6±0.2	4.7±0.4	0.58±0.37
200410A	Öncü	Pwrl	- 1.82±0.12	-	51/57	51.2±0.8	7.3±4.8	1.13±0.14
	EE	Pwrl	- 1.50±0.26	-	45/57	61.1±0.2	5.1±2.6	1.42±0.34

^a 10^{-7} erg cm⁻²

^b 10^{-7} erg cm⁻² s⁻¹

^c 50-100 ile 25-50 keV oranı alınmıştır.

BAT ile gözlenen GRB'lerden 15'inin her iki bileşeninin tayf analizi yapılabilirken GRB130626A patlamasının öncü ışıınım ve GRB140710A patlamasının EE bileşenleri çok zayıf olduğundan tayf analizi yapılamamıştır. Bu nedenle enerji akı ölçümleri, güç kanunu modeli ile, ilk patlama için genlik parametresi ve ikinci patlama için indis parametresi sabitlenerek hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan itibaren hem öncü hem EE bileşeni için; 25-50 ile 50-100 keV enerji aralığında ölçülen akılarından tayfsal sertlik oranları (HR), 15-350 keV enerji akısı değerinden itibaren de toplam enerjileri hesaplanmıştır. Parametrelerin hata değerleri 1σ mertebesinde verilmiştir. İlgili sonuçlar Tablo 4.3'te listelenmektedir. GRB151027A ve GRB160625A patlamalarının iki EE bileşeni bulunduğundan, tayf sonuçları da her bir bileşen ve toplam EE süresi üzerinden ayrıca incelenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında incelenecek GRB verilerinin tarih aralığı belirlenirken Kaneko ve diğ. (2015) çalışmasındaki seçim aralığının bitişi olan 31 Ocak 2013, bu çalışmada başlangıç tarihi olarak alınmıştır. Bitiş tarihi ise 31 Ağustos 2020 olarak belirlenmiştir. Bu tarihler arasında Swift/BAT dedektörünün tetiklenmesine neden olan ve tetiklenme tipi “GRB” olan toplamda 647 sinyal kaydı bulunmaktadır. Ancak yörünge üzerinde gözlemi BAT dedektörü tarafından yapılmamış ya da öncü ışınlam fazı gözlenememiş olan patlamalar hariç tutulunca ışık eğrileri oluşturulmak üzere toplamda 579 GRB’nin sırasıyla adı, tetiklenme numarası ve T_{90} süresi tez verileri kapsamında kataloglanmış ve EK 1 kısmında sunulmuştur.

Bu 579 patlamanın 79’u ($\sim \%14$) kısa ve 500’ü ($\sim \%86$) ise uzun patlama olarak kaydedilmiştir. Nitekim bu oranlar Kaneko ve diğ., (2015) çalışmasındaki değerlerle oldukça uyumludur. Zira göreve başladıkları tarihten itibaren Şubat 2013 yılına kadar Swift için kısa ve uzun patlama oranları sırasıyla $\%13$ ve $\%87$ şeklindeydi.

T_{90} süresi 5 sn civarında olan patlamaların hangi sınıf kategorisinde değerlendirileceğine GRB060614 patlamasının öncü ışınlam morfolojisi dikkate alınarak tüm uzun patlamalar yeniden değerlendirilmiş ve Tablo 4.1’de tam listesi verilen 25 patlamanın esasen kısa öncü ışınlam yapısına sahip olabileceği belirtilmiş ve bu yapılar EK 2’de sunulmuştur. Buna göre T_{90} süre ölçütünden bağımsız olarak bugüne kadar Swift/BAT ile gözlenen toplam 1,264 GRB kaydının 232 ($\%18.4$) tanesinin kısa ve 1,032 ($\%81.65$) tanesinin ise kısa patlama kategorisinde incelenmesi gerektiği söylenebilir.

İncelenen patlamalar arasından ışık eğrisinde öncü ışıma sonrası da morfolojik özellikleri GRB060614 patlaması ile tutarlı olan GRB’ler, ilgili programlar aracılığıyla belirlenip detaylı incelemelerden geçirilmiştir. Sistemik kontrollerde, GRB’nin görüş alanına patlama süresince giren GRB dışı kaynaklardan hiçbirinin gözlem verilerini etkileyemeyeceği anlaşılmıştır. Ancak görsel incelemeler sonucunda, 28 farklı patlamada EE bileşeni bulunmasına rağmen 17 patlamanın EE’li GRB olarak sınıflandırılması gerektiği göz önüne alındığında 2013 sonrası patlamaların yapay EE tespit oranı $\sim \%39$ olarak verilebilir. Bu oran yüksek olarak görünse de potansiyel tüm EE’li GRB’ler detaylı olarak incelenmiş olduğundan, bu durumun sorun teşkil etmeyeceği düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında EE bileşeni bulundurduğu belirlenen 17 kısa süreli GRB patlamasından GRB150424A (Zhang ve diğ., 2020), GRB151027A (Lan ve diğ., 2020) ve 200219A (Lü ve diğ., 2020) patlamaları, literatürde de EE'li GRB olarak anılmaktadır. Tez çalışmasında belirlenen tarih aralığı ile örtüşen aralıkta araştırma yapan diğer başka çalışmalar da bulunsun da (örn.: Lien ve diğ., 2016; Dainotti ve diğ., 2021; Li ve diğ., 2021) bu çalışmalarda EE bileşeni Bölüm 2.2.1'de belirtildiği gibi çoğunlukla yalnızca $T_{90} < 2$ sn patlamalarında arandığından aday patlama sayılarının genellikle az bulunduğu görülebilir. Zira tez kapsamında incelenen EE'li GRB'lerden yalnızca GRB130626A olayı $T_{90} < 2$ şartına uymakta, toplamda üç patlamanın katalog süresi 5 sn'yi aşmamakta, geri kalanları ise uzun olarak kataloglanan patlamalardır.

Tez kapsamında belirlenen EE'li GRB'lerin öncü ışıınım ve EE ışıınımı bileşenlerine tayf analizi yapılmış ve farklı enerji kanallarında enerji ile foton akısı ölçümleri yapılarak sonuçları Tablo 4.3'te sunulmuştur. İlgili sonuçlar incelendiğinde bileşenlerin büyük çoğunluğunun kuvvet yasası (PWRL) foton modeli ile fit edilebildiği görülebilmektedir. Yalnızca kısa sürede çok yüksek şiddet değerlerine ulaşmış olan GRB140209A'nın öncü bileşeni ve 171120A'nın EE bileşeninin modellenmesinde, tayfin düşük enerji bölgeninin PWRL ile iyi modellenemesinden COMP foton modelinin tercih edildiği görülmektedir.

İki EE bileşeni bulunduran GRB151027A ve GRB160625A patlamalarının tayf analiz sonuçları incelendiğinde, EE1+EE2 üzerinden elde edilen parametrelerin, daha şiddetli olan EE2 bileşen parametreleri ile benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tezin 5.1 ve 5.2 bölümlerinde elde edilen bu analiz ölçüm sonuçları girdi olarak kullanılarak, literatürde mevcut önceki verilerle birleştirilmiş araştırma sonuçları tartışılacaktır.

5.1. İKİ BİLEŞENLİ JET MODELİNE UYUMLULUK

İki bileşenli jet modeli, EE'li GRB sınıfının öncü ve EE ışıınım bileşenlerinin spesifik özelliklerini açıklamak için öne sürülen modellerden biridir (bkz.: Bölüm 2.2.2). Barkov ve Pozanenko (2011), GRB060614 patlamasının öncü ve EE bileşenlerinin gözlenen akılarını kullanarak jetlerin açılma açılarının oranını, aşağıdaki bağıntıyla elde etmiştir;

$$\frac{L_{BZ}}{L_{\nu\dot{\nu}}} \left(\frac{\theta_{\nu\dot{\nu}}}{\theta_{BZ}} \right)^2 \frac{t_{BZ}}{t_{\nu\dot{\nu}}} = \frac{E_{EE}}{E_{öncü}} \quad (5.1)$$

Tablo 5.1: EE’li GRB bileşenleri süresince 15 - 350 keV enerji aralığında ölçülen toplam enerji akı oranlarına ($E_{EE}/E_{öncü}$) göre iki bileşenli jet modelinin öngördüğü açılma açısı oranları.

GRB	$E_{EE}/E_{öncü}$	θ_{BZ}/θ_{v0}
130626A	2.69	0.04
131002A	4.84	0.03
140209A	0.05	0.25
140506A	0.81	0.06
140710A	1.00	0.06
150424A	0.20	0.13
151027A	2.65	0.04
160425A	1.39	0.05
170728B	0.75	0.07
171103A	0.13	0.16
171120A	2.75	0.03
180805B	1.67	0.04
190613B	3.42	0.03
190719C	24.73	0.01
200219A	0.40	0.09
200409A	1.10	0.05
200410A	1.19	0.05

Bağıntıda E_{EE} ve $E_{öncü}$ bileşenlerin gözlenen enerji akısını ve t_{v0} ve t_{BZ} ise öncü ve EE bileşenlerinin sürelerini göstermektedir. Burada ışıma güçleri için, ata yıldızın tipik fiziksel parametreleri varsayılarak elde edilen $L_{v0} = 3 \times 10^{50}$ erg s⁻¹ ve $L_{BZ} = 10^{48}$ erg s⁻¹ değerleri kullanılmıştır. Yukarıdaki bağıntıyı kullanarak, Bostancı ve diğ. (2013) tanımladıkları BATSE EE’li GRB’leri için jet açılma açılarının oranının 0.05 ila 0.67 arasında değiştiğini ve Kaneko

ve diğ. (2015) çalışmalarında ise BAT ve GBM verilerinde bu aralığın 0.07 ila 0.95 şeklinde değiştiğini hesaplamışlardır. Dolayısıyla araştırmacılar bu oranın 1'den her zaman küçük olduğunu, yani BZ jetinin nötrino jetinden çok daha dar olduğunu rapor etmişlerdir.

Tez çalışmasında tespit edilme aşamaları açıklanan 17 EE'li GRB'nin tayfsal analizi sonucu 15-350 keV enerji aralığında ölçülen toplam enerji parametresi ve bileşen sürelerinden itibaren (2.1) bağıntısı kullanılarak jet açılma oranları listedeki tüm GRB'ler için hesaplanmıştır.

Tablo 5.1.'den, tez kapsamında incelenmiş patlamaların bileşen toplam akı oranlarının 0.4- 25 arasında ve jet açılma açısı oranlarının 0.01-0.25 arasında değiştiği söylenebilir. Bu sonuçların da önceki çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

5.2.KORELASYONLARIN ARAŞTIRILMASI

EE'li GRB'lerin genel özelliklerinin ortaya çıkarılabilmesi için bu patlamaların fazlarını tanımlayan farklı parametrelerin birbirleriyle ilişkili olup olmadığının farklı çalışmalarda araştırılmakta olduğundan tezin 1. ve 2. bölümlerinde bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında da tayfsal analizi gerçekleştirilen 17 EE'li GRB'nin EE ve öncü bileşenlerinin tayfsal indisleri, süreleri, maksimum ve toplam enerji akıları, tayfsal sertlikleri arasındaki korelasyonlar göz önünde bulundurulmuştur. Tez kapsamındaki EE'li GRB'ler listesinde bulunan 17 patlamadan altı tanesinin kırmızıya kayma değerleri literatürde mevcut olduğundan, kozmolojik parametreler için; madde yoğunluğu $\Omega_m = 0.27$, karanlık enerji yoğunluğu $\Omega_\Lambda = 0.73$ ve $z = 0$ değerindeki Hubble sabiti $H_0 = 0.70$ km/s/Mpc varsayımı altında ilgili kırmızıya kayma değerlerinden uzaklıklar hesaplanmıştır². Bu sayede genel rölativitenin enerji ve süre hesaplamalarındaki etkileri ortadan kaldırılarak kaynak çerçevesinde de parametreler türetilip olası ilişkileri aranmıştır. Bu şekilde toplam eşdeğer izotropik enerji (E_{iso}), lüminozite ve kaynak referans çerçevesindeki patlama faz $[T/(1+z)]$ ile T_{90} süre büyüklükleri de hesaplanıp ilişkili olma ihtimali bulunan daha fazla parametre kontrol edilebilmiştir. Sayılan parametreler arasındaki korelasyon katsayıları (ρ) ve ilgili ilişkilerin şans olma olasılıkları (P) hesaplanmıştır. Sonuçların istatistiksel güvenilirliğini artırmak için Şubat 2013 öncesi BAT değerleri de (Kaneko ve diğ., 2015) girdi listesine alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

² <https://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>

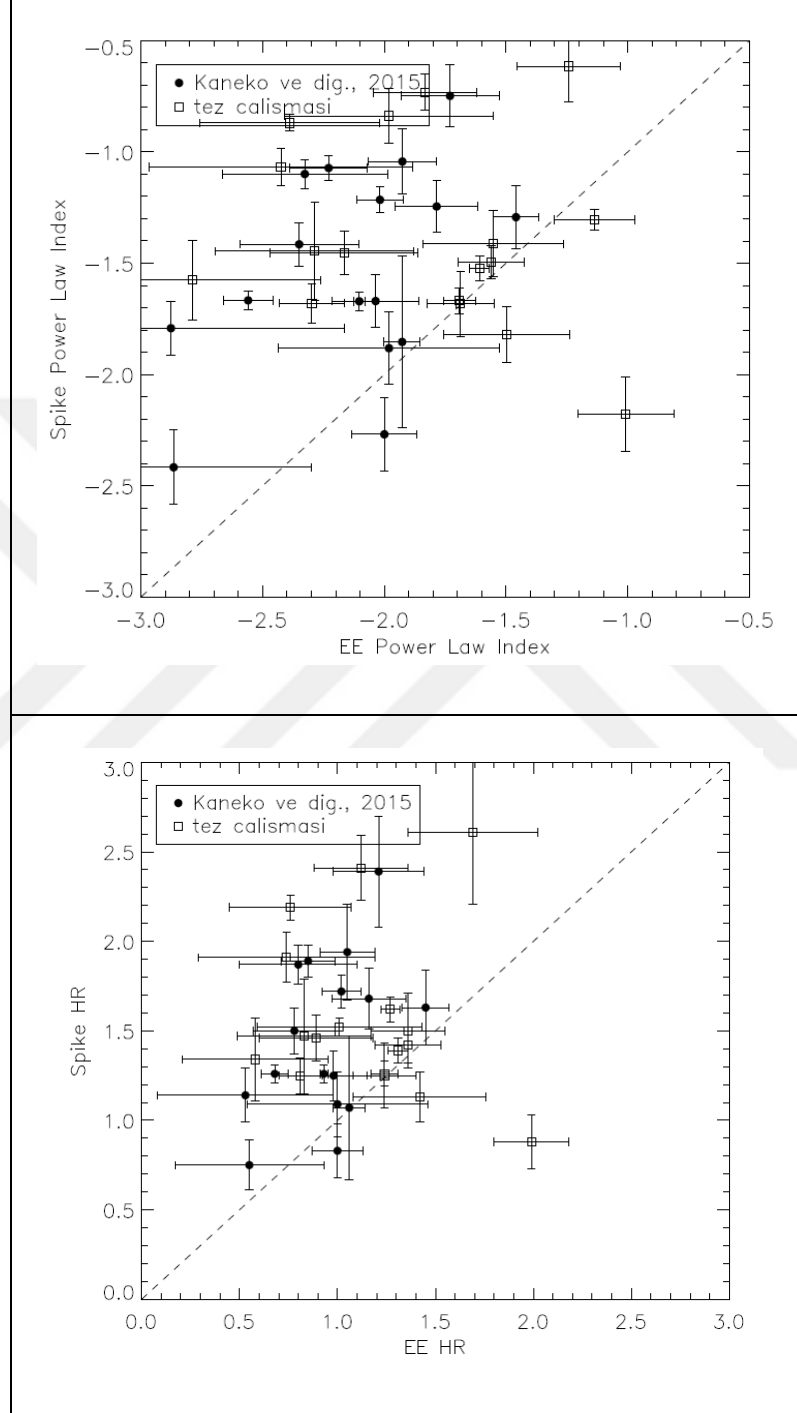
Toplam örneklem üzerinden bulunan belirgin korelasyonlar ($P < 10^{-4}$ ve $|\rho| > 0.5$) Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Kaynak çerçevesinden hesaplanan parametre korelasyonlarına kırmızıya kayma değeri belirlenememiş olan patlamaların gözlenen değerleri dahil edilmemiştir. Ancak bu düzeltilmiş parametreler arasından yalnızca süreler arasında belirgin ilişki bulunabilmiştir. Bu sonuçlara göre kaynak çerçevesindeki T_{90} süreleri uzun olan patlamaların EE bileşen süreleri de bekleneceği üzere uzun olmakta ve maksimum enerjileri de artmaktadır. Bunun dışında bileşenler beraber düşünüldüğünde süreler ile tayfsal indis, maksimum enerji ve tayfsal sertlik oranları arasında antikorelasyon olduğu görülmektedir. Nitekim EE bileşeninin öncü bileşene göre toplam akısında düşük enerjili fotonları daha fazla bulundurduğundan HR oranının daha düşük olması da beklenen bir durumdur.

Tablo 5.2: Tayfsal analiz sonuçlarının ikili parametrelerinden hesaplanan korelasyonlar arasından $P < 10^{-4}$ ve $|\rho| > 0.5$ kriterlerini sağlayan parametre çiftlerine ait sonuçlar. Kaneko ve diğ., (2015) çalışmasındaki sonuçlarla birleştirilmiş olarak verilen sonuçlar da tabloya karşılaştırma amacıyla “birleştirilmiş örneklem” sütunlarına işlenmiştir.

Parametre Çifti		Tez Çalışması			Birleştirilmiş Örneklem		
		ρ	P	N	ρ	P	N
a) $T_{EE} + T_{\text{öncü}}$	HR	- 0.57	4.82E - 4	34	- 0.51	1.09E - 5	66
b) $T_{EE} + T_{\text{öncü}}$	F_{peak}	- 0.62	1.02E - 4	34	- 0.60	7.85E - 8	66
c) $T_{EE} + T_{\text{öncü}}$	λ	- 0.54	9.77E - 4	34	- 0.50	1.67E - 5	66
d) F_{peak}	HR	0.83	4.16E - 2	6	0.93	6.86E - 7	14
e) F_{peak}	λ	0.44	9.91E - 3	34	0.56	8.90E - 7	66
f) $T_{90, \text{kaynak}}$	$T_{EE, \text{kaynak}}$	0.90	1.07E - 6	17	0.83	3.54E - 9	33
g) E_{toplam}	T_{toplam}	0.22	3.94E - 1	17	0.60	2.48E - 4	33

Ayrıca EE süreleri öncü bileşen sürelerinden belirgin ölçüde daha uzun olduğundan, ilk dört (a, b, c ve d) ilişkilerinde bu bileşenlerin ayrı popülasyonlarda toplandığı da görülebilmektedir.



Şekil 5.1: Öncü ve EE bileşenleri arasındaki indeks (üst grafik) ve tayfsal sertlik oranı (alt grafik) ilişkileri. Kesikli çizgiler bire-bir fonksiyonu göstermektedir.

Tablo 5.2’de BB bileşen sürelerine karşılık tayfsal sertlik oranları (a), maksimum akılar (b), kırılma indisleri (c); maksimum enerji akılarına karşılık tayfsal sertlik oranları (d), kırılma indisleri (e); kaynak referans çerçevesinden hesaplanan T_{90} süresine karşılık EE bileşen süreleri (f) ve toplam enerji akılarına karşılık toplam sürelerine (g) ait değerler sunulmuştur.

Tablodan görülebileceği üzere, tez çalışması kapsamında incelenen veri sayıları, 2013 sonrası sonuçları da içerecek şekilde artırıldığında değerlerin şansa bulunma olasılığı beklenildiği gibi tüm durumlarda azalmıştır. Tablodaki her bir parametre çiftinin birbirine göre davranışları EK 5’te verilmiştir. Ayrıca aralarında belirgin bir korelasyon bulunmamasına rağmen öncü bileşen ile EE bileşenlerinin tayfsal kırılma indis parametreleri ($\rho=0.09$ ve $P=0.63$) ile HR değerleri ($\rho=0.09$ ve $P=0.60$) arasındaki ilişkiler de Şekil 5.1’de verilmiştir. HR ilişki grafiğinden de ayrıca EE bileşenlerinin tayfsal olarak daha yumuşak olma eğilimde olduğu görülebilmektedir.

Sonuç olarak, tez çalışmasında Şubat 2013 sonrası BAT verileri için sunulan bulguların, önceki araştırmalarda verilen değerlerle ve genel kapsamda EE’li GRB özellikleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. 2004’ten beri tüm *Swift*/BAT kataloğu taranmış olmasına rağmen EE’li GRB’lerin tüm kataloğun 33/1,264’ünü oluşturmaktadır. Dolayısıyla teorik modellerin bu hibrit sınıfın oluşum ve gözlem özelliklerinin tam olarak tanımladığına karar verebilmek için örneklem sayıları arttırılarak ve benzer kriterler uygulanarak araştırmalar genişletilmelidir. Bu bağlamda tez çalışmasındaki yöntemin, gelecek *Swift*/BAT ve diğer misyonlarla gözlenen patlamalara uygulanması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Atwood, W.B., Abdo, A.A., Ackermann, M. ve diğ. (Fermi Collaboration), 2009, The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-Ray Space Telescope Mission, *The Astrophysical Journal*, 697(2), 1071-1102.
- Barkov, M.V., Pozanenko, A.S. ve diğ., 2011, Model of the Extended Emission of Short Gamma-Ray Bursts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417(3), 2161-2165.
- Barthelmy, S.D., Chincarini, G., Burrows, D.N., 2005, An Origin for Short γ -Ray Bursts Unassociated with Current Star Formation, *Nature*, 438(7070), 994-996.
- Bisnovatyi-Kogan, G.S., Imshennik, V.S., Nadyozhin, D.K. ve diğ., 1975, Pulsed Gamma-Ray Emission from Neutron and Collapsing Stars and Supernovae, *Astrophysics and Space Science*, 35(1), 23-41.
- Bloom, J.S., Kulkarni, S.R., Djorgovski, S.G., 2002, The Observed Offset Distribution of Gamma-Ray Bursts from Their Host Galaxies: A Robust Clue to the Nature of the Progenitors, *The Astronomical Journal*, 123(3), 1111-1148.
- Bonnell, J.T., Klebesadel, R.W., 1996, A Brief History of the Discovery of Cosmic Gamma-Ray Bursts, *Gamma-ray bursts: 3rd Huntsville symposium, AIP Conference Proceedings*, 384, 977-980.
- Bostancı, Z.F., Kaneko, Y., Göğüş, E., 2013, Gamma-Ray Bursts with Extended Emission Observed with BATSE, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428(2), 1623-1630.
- Bromberg, O., Nakar, E., Piran, T. ve diğ., 2013, Short versus Long and Collapsars versus Non-collapsars: A Quantitative Classification of Gamma-Ray Bursts, *The Astrophysical Journal*, 179, 13.
- Bucciantini, N., Metzger, B.D., Thompson, T.A. ve diğ., 2012, Short Gamma-Ray Bursts with Extended Emission from Magnetar Birth: Jet Formation and Collimation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419(2), 1537-1545.
- Burenin, R.A., 2000, Early Afterglows of Short Gamma-Ray Bursts, *Astronomy Letters*, 26, 269-276.
- Burns, E., Veres, P., Connaughton, V. ve diğ., 2018, Fermi GBM Observations of GRB 150101B: A Second Nearby Event with a Short Hard Spike and a Soft Tail, *The Astrophysical Journal Letters*, 63(2), 34-43.
- Burrows, David N., Hill, J. E., Nousek, J. A. ve diğ., 2005, The Swift X-Ray Telescope, *Space Science Reviews*, 120, 165-195.
- Bustamante, M., Heinze, J., Murase, K. ve diğ., 2017, Multi-messenger Light Curves from Gamma-Ray Bursts in the Internal Shock Model, *The Astrophysical Journal*, 837(1), 33.

- Cline, T.L., 1976, Desai, U.D., Advances in Gamma-Ray Burst Astronomy, Astrophysics and Space Science, 42(1), 17-27.
- Cline, T.L., Desai, U.D., Klebesadel, R.W. ve diğ., 1973, Energy Spectra of Cosmic Gamma-Ray Bursts, The Astrophysical Journal, 185, 1.
- Cline, T.L., Desai, U.D., Pizzichini, G. ve diğ., 1979, Helios 2 - Vela - Ariel 5 Gamma-Ray Burst Source Position, Astrophysical Journal, 229, 47-51.
- Colgate, S.A., 1974, Early Gamma Rays from Supernovae, The Astrophysical Journal, 187, 333-336.
- Costa, E., Frontera, F., Heise, J. ve diğ., 1997, Discovery of an X-Ray Afterglow Associated with the γ -Ray Burst of 28 February 1997, Nature, 387(6635), 783-785.
- Cucchiara, A., Levan, A. J., Fox, D. B. ve diğ., 2011, A Photometric Redshift of $z \sim 9.4$ for GRB 090429B, The Astrophysical Journal, 736, 12.
- Dainotti, M.G., Petrosian, V., Bowden, L., 2021, Cosmological Evolution of the Formation Rate of Short Gamma-Ray Bursts with and without Extended Emission, The Astrophysical Journal Letters, 914(2), 40.
- Della Valle, M., Chincarini, G., Panagia, N. ve diğ., 2006, An Enigmatic Long-Lasting γ -Ray Burst Not Accompanied by a Bright Supernova, Nature, 444(7122), 1050-1052.
- Desai, D., Metzger, B.D., Foucart, F., 2019, Imprints of r-Process Heating on Fall-Back Accretion: Distinguishing Black Hole-Neutron Star from Double Neutron Star Mergers, 2019, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 485(3), 4404-4412.
- Fishman, G.J., Meegan, C.A., Wilson, R.B. ve diğ., 1994, The First BATSE Gamma-Ray Burst Catalog, Astrophysical Journal Supplement, 92, 229.
- Frail, D.A., Kulkarni, S.R., Sari, R. ve diğ., 2001, Beaming in Gamma-Ray Bursts: Evidence for a Standard Energy Reservoir, The Astrophysical Journal, 562(1), 55-58.
- Fruchter, A.S., Levan, A.J., Strolger, L. ve diğ., 2006, Long γ -Ray Bursts and Core-Collapse Supernovae Have Different Environments, Nature, 441(7092), 463-468.
- Fynbo, J. U., Jensen, B. L., Gorosabel, J. ve diğ., 2001, Detection of the optical afterglow of GRB 000630: Implications for dark bursts, Astronomy and Astrophysics, 369, 373-379.
- Gal-Yam, A., Fox, D.B., Price, P.A. ve diğ., 2006, A novel explosive process is required for the γ -ray burst GRB 060614, Nature, 444(7122), 1053-1055.
- Gehrels, N., Chincarini, G., Giommi, P. ve diğ., 2004, The Swift Gamma-Ray Burst Mission, The Astrophysical Journal, Volume 611, Issue 2, pp. 1005-1020.
- Gehrels, N., Norris, J.P., Barthelmy, S.D. ve diğ., 2006, A New γ -Ray Burst Classification Scheme from GRB060614, Nature, 444(7122), 1044-1046.

- Gibson, S. L., Wynn, G. A., Gompertz, B. P. ve diğ., 2018, Fallback Accretion on to a Newborn Magnetar: Long GRBs with Giant X-Ray Flares, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 478(4), 4323-4335.
- Gompertz, B. P., O'Brien, P. T., Wynn, G. A., 2013, Magnetar powered GRBs: explaining the extended emission and X-ray plateau of short GRB light curves, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438, 240-250.
- Greiner, J. ; Krühler, T., Klose, S. ve diğ., 2010, The nature of "dark" gamma-ray bursts, *Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts*, AIP Conference Proceedings, 1279, 144-151.
- Harwit, M., Salpeter, E. E., 1973, Radiation from Comets Near Neutron Stars, *The Astrophysical Journal*, 186, 37.
- Horváth, I., Balázs, L.G., Bagoly, Z. ve diğ., 2008, Classification of Swift's Gamma-Ray Bursts, *Astronomy and Astrophysics*, 489(1), 1-4.
- Iwamoto, K., Mazzali, P.A., Nomoto, K. ve diğ., 1998, A Hypernova Model for the Supernova Associated with the γ -Ray Burst of 25 April 1998, *Nature*, 395(6703), 672-674.
- Jennings, M.C., 1988, Intrinsic and Artificial Bias in the KONUS Cumulative Number Distribution, *Astrophysical Journal*, 333, 700.
- Johnson, W.N., Kurfess, J.D., Bleach, R.D., 1976, A Search for Cosmic Gamma-Ray Bursts with a Balloon-Borne NaI(Tl) Scintillation Crystal, *Astrophysics and Space Science*, 42(1), 35-42.
- Kagawa, Y., Yonetoku, D., Sawano, T. ve diğ., 2019, Exponentially Decaying Extended Emissions Following Short Gamma-Ray Bursts with a Possible Luminosity-E-folding Time Correlation, *The Astrophysical Journal*, 877(2), 147.
- Kaneko, Y., Bostancı, Z.F., Göğüş, E., Lin, L., 2015, Short Gamma-Ray Bursts with Extended Emission Observed with Swift/BAT and Fermi/GBM, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452(1), 824-837.
- Kimura, S.S., Murase, K., Ioka, K., Kisaka, S. ve diğ., 2019, Up-scattered Cocoon Emission in Short Gamma-Ray Bursts as High-energy Gamma-Ray Counterparts to Gravitational Waves, *The Astrophysical Journal Letters*, 887(1), L16.
- Kimura, S.S., Murase, K., Mészáros, P. ve diğ., 2017, High-energy Neutrino Emission from Short Gamma-Ray Bursts: Prospects for Coincident Detection with Gravitational Waves, *The Astrophysical Journal Letters*, 848(1), L4.
- Kisaka, S., Ioka, K., Sakamoto, T., 2017, Bimodal Long-lasting Components in Short Gamma-Ray Bursts: Promising Electromagnetic Counterparts to Neutron Star Binary Mergers, *The Astrophysical Journal*, 846(2), 142.
- Klebesadel, R.W., Strong, I.B., 1976, Observations of Cosmic Gamma-Ray Bursts, *Astrophysics and Space Science*, 42(1), 3-15.

- Klebesadel, R.W., Strong, I.B., Olson, R.A., 1973, Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin, *The Astrophysical Journal*, 182, 85.
- Knust, F., Greiner, J., van Eerten, H.J. ve diğ., 2017, Long optical plateau in the afterglow of the short GRB 150424A with extended emission. Evidence for energy injection by a magnetar?, *Astronomy & Astrophysics*, 607, A84.
- Kochanek, C.S., Piran, T., 1993, Gravitational Waves and Gamma-Ray Bursts, *Astrophysical Journal Letters*, 417, 17.
- Kouveliotou, C., Meegan, C.A., Fishman, G.J. ve diğ., 1993, Identification of Two Classes of Gamma-Ray Bursts, *Astrophysical Journal Letters*, 413, 101.
- L'Heureux, J., 1974, Cosmic Gamma-Ray Burst Detected with an Instrument on Board the OGO-5 Satellite, *The Astrophysical Journal*, 187, 53.
- La Parola, V., Mangano, V., Zhang, B. ve diğ., 2006, The Short GRB 051210 Observed by Swift, *Il Nuovo Cimento B*, 121(12), 1505-1506.
- Lamb, D.Q., Lamb, F.K., Pines, D., 1973, Soft Gamma-ray Bursts from Accreting Compact Objects, *Nature Physical Science*, 246(152), 52-54.
- Lamb, D.Q., Lamb, F.K., Pines, D., 1973, Soft Gamma-ray Bursts from Accreting Compact Objects, *Nature Physical Science*, 246(152), 52-54.
- Lan, L., Lu, R.J., Lü, H.J. ve diğ., 2020, The properties of prompt emission in short gamma-ray bursts with extended emission observed by Fermi/GBM, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 492(3), 3622-3630.
- Lazzati, D., Ramirez-Ruiz, E., Ghisellini, G., 2001, Possible Detection of Hard X-ray Afterglows of Short Gamma-Ray Bursts, *Astronomy and Astrophysics*, 379, 39-43.
- Levan, A. J., Tanvir, N. R., Starling, R. L. C., 2014, A New Population of Ultra-long Duration Gamma-Ray Bursts, *The Astrophysical Journal*, 781, 13, 22.
- Li, L.X., Paczyński, B., 1998, Transient Events from Neutron Star Mergers, *The Astrophysical Journal*, 507(1), 69-62.
- Li, X.J., Zhang, Z.B., Zhang, X.L. ve diğ., 2021, Temporal Properties of Precursors, Main Peaks, and Extended Emissions of Short GRBs in the Third Swift/BAT GRB Catalog, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 252,(2), 16.
- Lien, A., Sakamoto, T., Barthelmy, S.D. ve diğ., 2016, The Third Swift Burst Alert Telescope Gamma-Ray Burst Catalog, *The Astrophysical Journal*, 829(1), 7.
- Lü, H.J., Yuan, Y., Lan, Lin. ve diğ., 2020, Evidence for Gravitational-wave-dominated Emission in the Central Engine of Short GRB 200219A, *The Astrophysical Journal Letters*, 898(1), L6.

- Lü, H.J., Zhang, B., Lei, W.H. ve diğ., 2015, The Millisecond Magnetar Central Engine in Short GRBs, *The Astrophysical Journal*, 805(2), 89.
- MacFadyen, A.I., Ramirez-Ruiz, E., Zhang, W., 2005, X-Ray Flares Following Short Gamma-Ray Bursts from Shock Heating of Binary Stellar Companions, *American Astronomical Society Meeting 207*, 151.04, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 37, 1410.
- Mallozzi, R. S., Preece, R. D., Briggs, M. S., 2011, RMFIT, A Lightcurve and Spectral Analysis Tool', ©2011 Robert D. Preece, University of Alabama, Huntsville.
- Matsumoto, T., Kimura, S.S., Murase, K. ve diğ., 2020, Linking Extended and Plateau Emissions of Short Gamma-Ray Bursts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493(1), 783-791.
- Mészáros, P., 2006, Gamma-Ray Bursts, *Reports on Progress in Physics*, 69(8), 2259-2321.
- Metzger, A.E., Parker, R.H., Gilman, D. ve diğ., 1974, Observation of a Cosmic Gamma-Ray Burst on Apollo 16. I. Temporal Variability and Energy Spectrum, *The Astrophysical Journal*, 194, 19.
- Metzger, B.D., Martínez-Pinedo, G., Darbha, S. ve diğ., 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 406(4), 2650-2662.
- Metzger, B.D., Quataert, E., Thompson, T.A., 2008, Short Duration Gamma-Ray Bursts with Extended Emission from Protomagnetar Spin-Down, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 385(3), 1455-1460.
- Minaev, P. Yu., Pozanenko, A.S., Loznikov, V.M., 2009, Searching for Signature of Extended Emission in Short GRBs Registered by the SPI-ACS of INTEGRAL Observatory, GAMMA-RAY BURST: Sixth Huntsville Symposium, *AIP Conference Proceedings*, 1133, 418-421.
- Minaev, P.Y., Pozanenko, A.S., 2020, The Ep,I-Eiso correlation: Type I Gamma-Ray Bursts and the New Classification Method, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 492(2), 1919-1936.
- Mozgunov, G.Y., Minaev, P.Y., Pozanenko, A.S., 2021, *Astronomy Letters*, 47(3), 150-162.
- Murase, K., Toomey, M.W., Fang, K. ve diğ., 2018, Double Neutron Star Mergers and Short Gamma-ray Bursts: Long-lasting High-energy Signatures and Remnant Dichotomy, *The Astrophysical Journal*, 854(1), 60.
- Norris, J.P., Bonnell, J.T., 2006, Short Gamma-Ray Bursts with Extended Emission, *The Astrophysical Journal*, 643,(1), 266-275.
- Norris, J.P., Marani, G.F., Bonnell, J.T., 2000, Connection between Energy-dependent Lags and Peak Luminosity in Gamma-Ray Bursts, *The Astrophysical Journal*, 534(1), 248-257.

- Oegelman, H., Fichtel, C.E., Kniffen, D.A., 1975, Observations of Low Energy Gamma-Ray Bursts with SAS-2, *Nature*, 255(5505), 208-210.
- Orion, I., Feldman, J., Drorri, Y., 2006, Monte Carlo Modeling for Gamma Rays Bursts Detection Monitoring Algorithms, *Journal of Applied Science*, 6(8), 1631-1634.
- Ozel, M.E., Kiziloglu, U., Tokdemir, F., 1983, Supplementary Information for Some Gamma-Ray Bursts by SAS-2 Anticoincidence Dome Data, *Astronomy and Astrophysics*, 118(1), 114-115.
- Paczynski, B., 1986, Gamma-ray bursters at cosmological distances, *Astrophysical Journal*, Part 2 - Letters to the Editor (ISSN 0004-637X), 308, L43-L46.
- Paczyński, B., 1998, Are Gamma-Ray Bursts in Star-Forming Regions?, *The Astrophysical Journal*, 494(1), 45-48.
- Paczynski, B., Xu, G., 1994, Neutrino Bursts from Gamma-Ray Bursts, *Astrophysical Journal*, 427, 708.
- Page, D.N., Hawking, S.W., 1976, Gamma Rays from Primordial Black Holes, *Astrophysical Journal*, 206, 1-7.
- Piran, T., 1995, Gamma-ray bursts and the fireball model, *Physics Reports*, 314, 575-667.
- Pozdnyakov, L.A., Sobol, I.M., Syunyaev, R.A., 1976, Multiple Compton Scattering by Relativistic Electrons - Monte Carlo Calculations of the Emission Spectrum, *Soviet Astronomy Letters*, 2, 55-57.
- Prilutskii, O.F., Usov, V.V., 1975, On the Nature of γ -Ray Bursts, *Astrophysics and Space Science*, 34(2), 395-401.
- Roming, P. W. A., Kennedy, T. E., Mason, K. O., 2005, The Swift Ultra-Violet/Optical Telescope, *Space Science Reviews*, 120, 95-142.
- Sari, R., Piran, T., 1997, Variability in Gamma-Ray Bursts: A Clue, *The Astrophysical Journal*, 485, 270-273.
- Sazonov, S.Y., Lutovinov, A.A., Sunyaev, R.A., 2004, An Apparently Normal γ -Ray Burst with an Unusually Low Luminosity, *Nature*, 430(7000), 646-648.
- Sokolov, V.V., 2001, On the GRB Progenitors: Possible Consequences for Supernovae Connection with γ -Ray Bursts, *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory*, 51, 38.
- Stecker, F.W., 2003, TOPICAL REVIEW: Cosmic Physics: The High Energy Frontier, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 29(10), 47-88.
- Svinkin, D.S., Frederiks, D.D., Aptekar, R.L. ve diğ., 2016, The Second Konus-Wind Catalog of Short Gamma-Ray Bursts, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 224, 10.
- Terrell, J., Fenimore, E.E., Klebesadel, R.W. ve diğ., 1982, Observation of Two Gamma-Ray Bursts by VELA X-Ray Detectors, *Astrophysical Journal*, 254, 279-286.

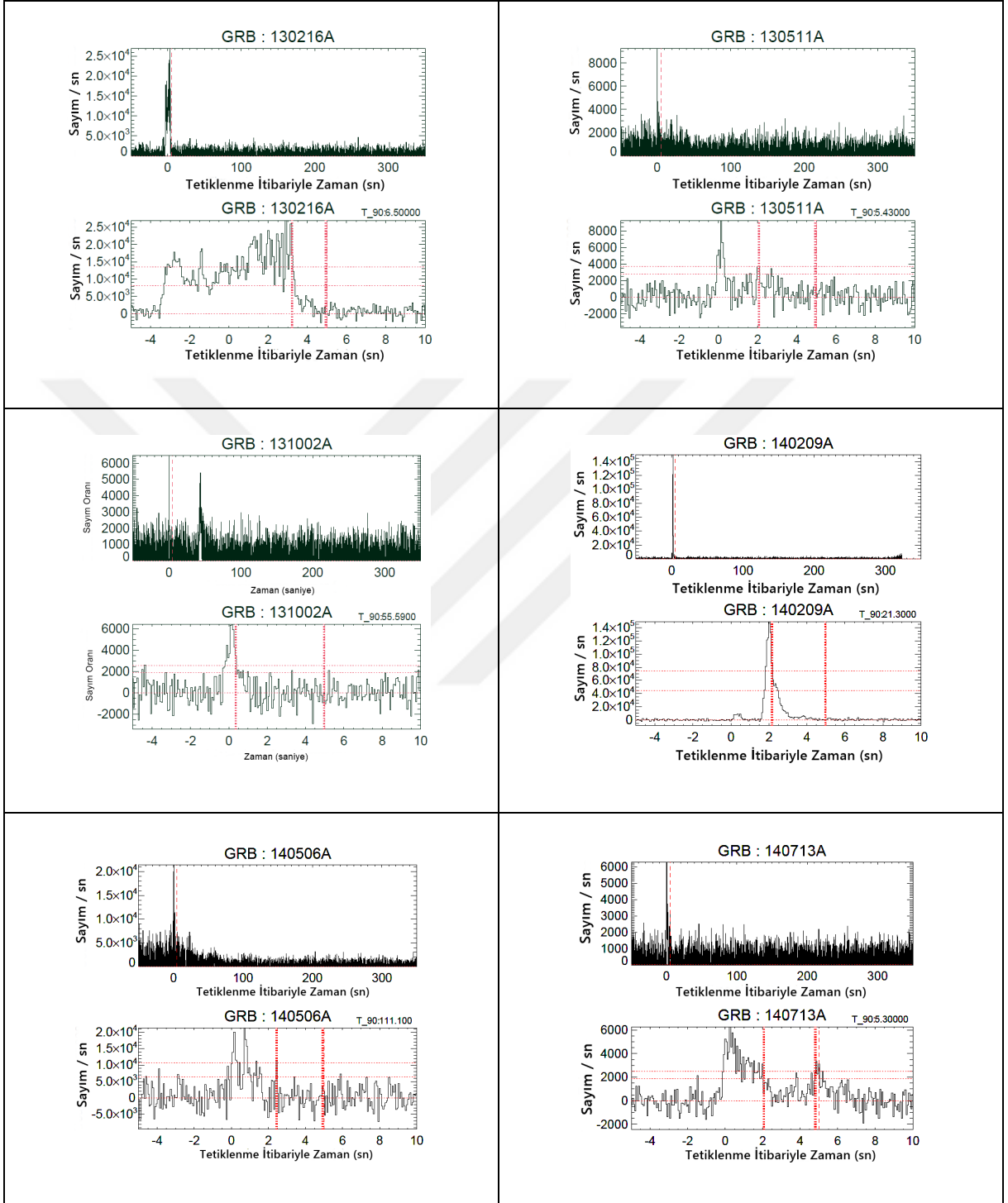
- Troja, E., King, A.R., O'Brien, P.T. ve diğ., 2008, Different Progenitors of Short Hard Gamma-Ray Bursts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 385(1), L10-L14.
- Villasenor, J.S., Lamb, D.Q., Ricker, G.R. ve diğ., 2005, Discovery of the Short γ -Ray Burst GRB 050709, *Nature*, 437(7060), 855-858.
- Waxman, E., 1995, Cosmological Gamma-Ray Bursts and the Highest Energy Cosmic Rays, *Physical Review Letters*, 75(3), 386-389.
- Wheaton, Wm.A., Ulmer, M.P. ve diğ., 1973, The Direction and Spectral Variability of a Cosmic Gamma-Ray Burst, *The Astrophysical Journal*, 185, 57.
- Woosley, S.E., Bloom, J.S., 2006, The Supernova Gamma-Ray Burst Connection, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 44(1), 507-556.
- Zhang, B., Mészáros, P., 2003, Gamma-Ray Bursts: Progress, Problems & Prospects, *International Journal of Modern Physics A*, 19(15), 2385-2472.
- Zhang, X.L., Zhang, C.T., Li, X.J. ve diğ., 2020, Gamma-Ray Bursts with Extended Emission: Classifications, Energy Correlations and Radiation Properties, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20(12), 201.
- Zhang, Z.B., Yang, E.B., Choi, C.S. ve diğ., 2016, Classifying Gamma-Ray Bursts with Gaussian Mixture Model, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 462(3), 3243-3254.

EKLER

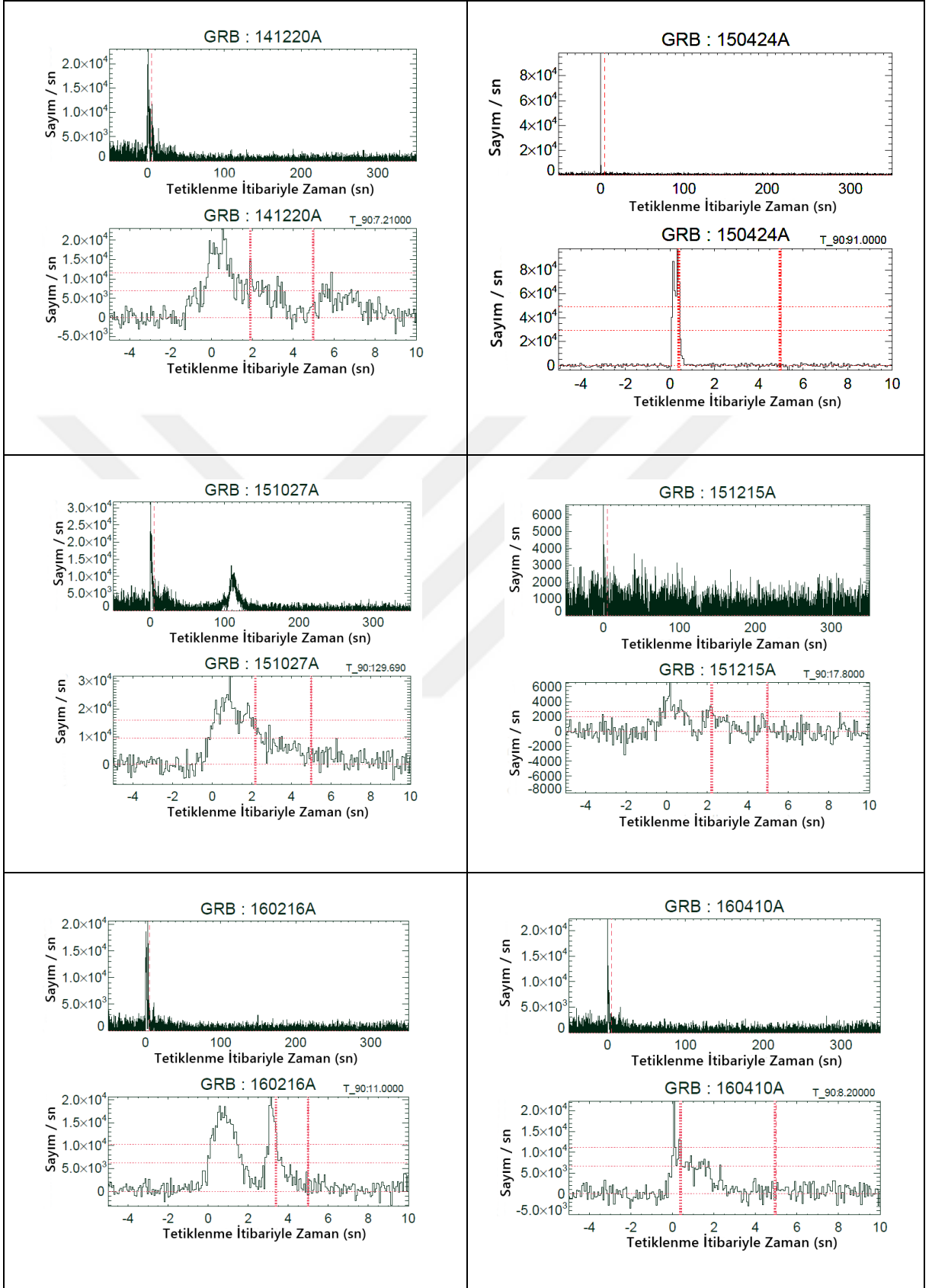
EK 1. 1 Şubat 2013 ile 31 Ağustos 2020 tarihleri aralığında gözlenmiş *Swift*/BAT GRB verilerinin katalog bilgilerinin listesi.

GRB ADI	Tetiklenme No.	Sağ Açıklık	Dik Açıklık	T ₉₀ Süresi
130206A	547918	140.387	- 58.193	128.0
130211A	548276	147.524	- 42.330	25.1
130215A	548760	43.486	13.387	65.7
130216A	548927	67.901	14.670	6.5
130313A	550906	236.438	- 0.355	0.26
130315A	551126	157.541	- 51.794	233.4
130327A	552063	91.984	55.732	9.0
130408A	553132	134.398	- 32.363	28
130419A	553918	355.278	9.900	75.7
130420A	553977	196.118	59.421	123.5
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
200612A	977310	302.691	-45.354	171.48
200630A	980210	91.389	- 60.779	14.83
200701A	980421	123.563	- 14.553	38.9
200711A	981957	285.975	- 0.134	29.39
200713A	982201	76.941	- 32.846	48.98
200716C	982707	196.011	29.636	86
200729A	984929	184.360	45.571	122.0
200806A	987016	52.933	37.076	38.8
200819A	992099	21.527	63.061	23.62
200829A	993768	251.136	72.363	13.04

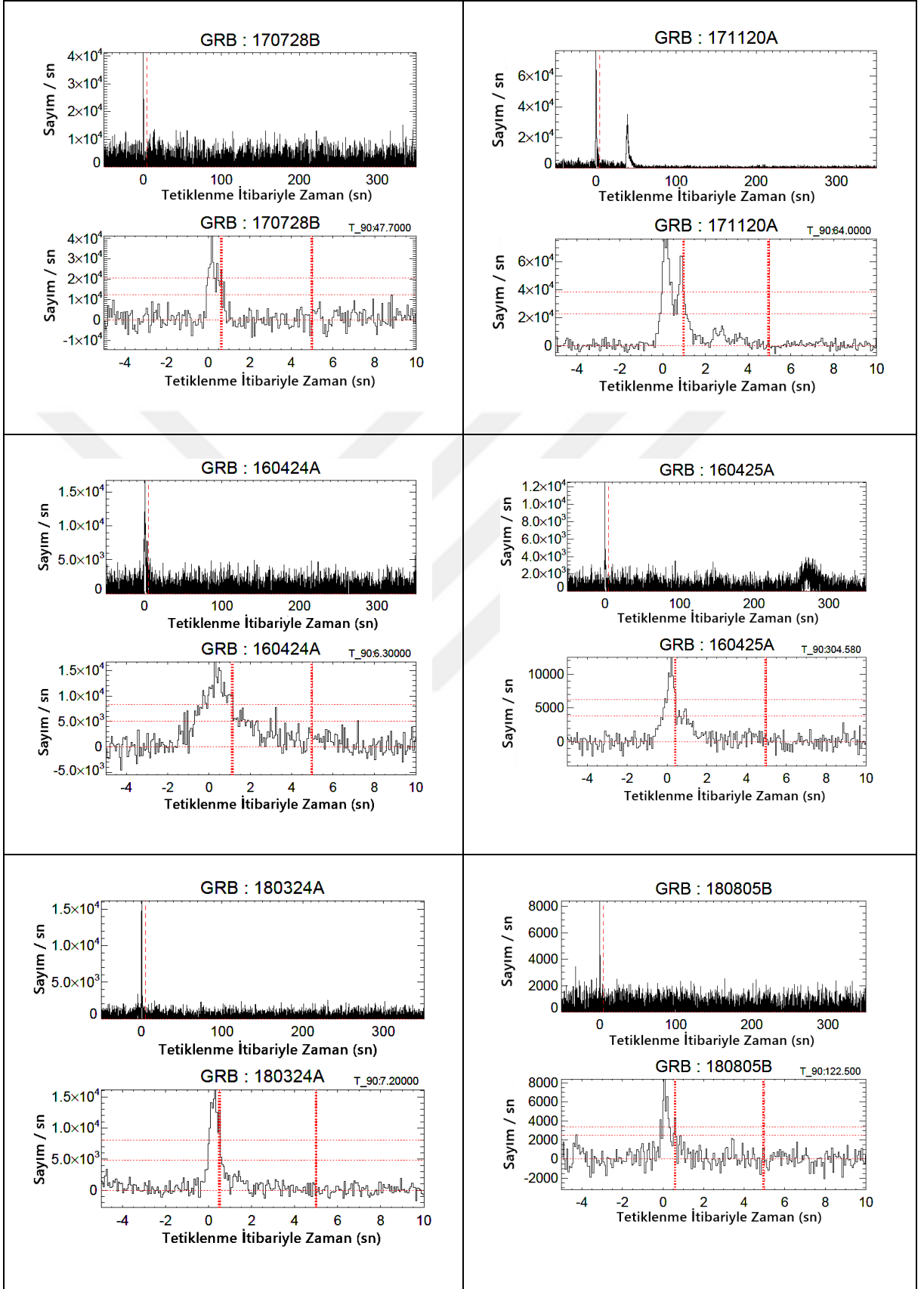
EK 2. Morfolojik kriteri sağlayan uzun patlamaların ışık eğrileri.



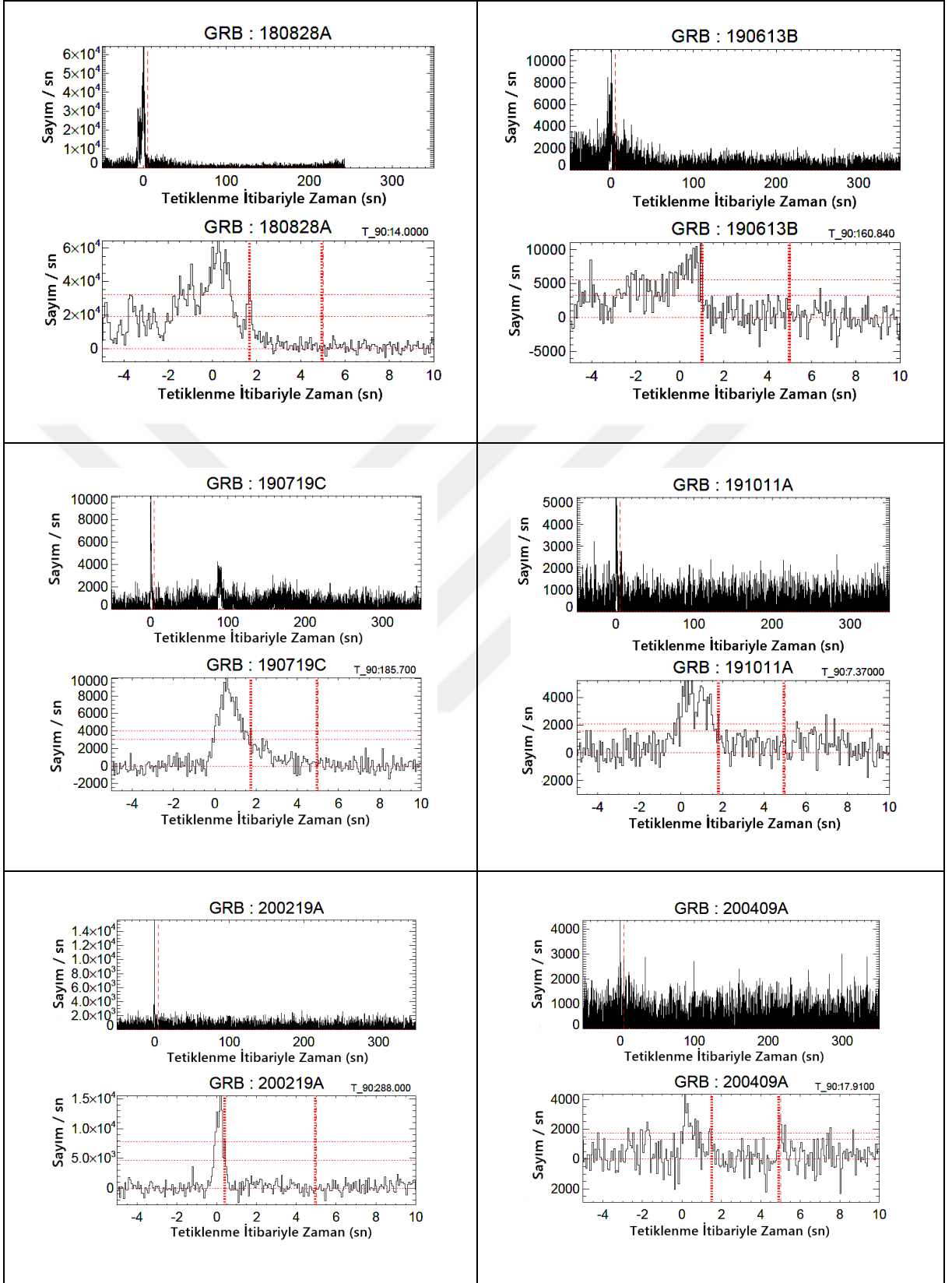
Şekil EK 2.1: GRB130216A, GRB130511A, GRB131002A, GRB140209A, GRB140506A ve GRB140710A patlamalarının öncü ışınlam yapıları. Üst panellerde dikey kesikli çizgi T₀+5 sn zamanını göstermektedir. Alt panellerde yatay noktalı çizgi patlamanın maksimum değerinin %50 seviyesini göstermektedir. Dikey kesikli çizgiler de sayım oranı limit değerinin altında kalan %60 ve üzerindeki zaman aralığını temsil etmektedir.



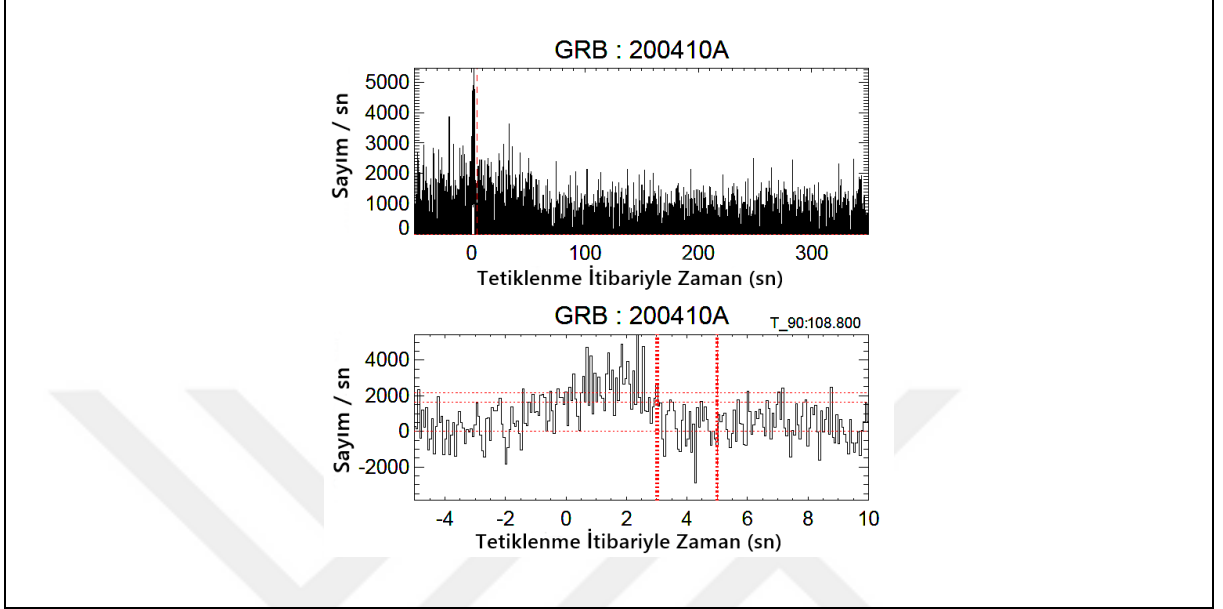
Şekil EK 2.2: GRB141220A, GRB150424A, GRB151027A, GRB151215A, GRB160216A ve GRB160410A patlamalarının öncü ışınım yapıları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 2.1)



Şekil EK 2.3: GRB170728B, GRB17112A, GRB160424A, GRB160425A, GRB180324A ve GRB180805B patlamalarının öncü ışınım yapıları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 2.1)

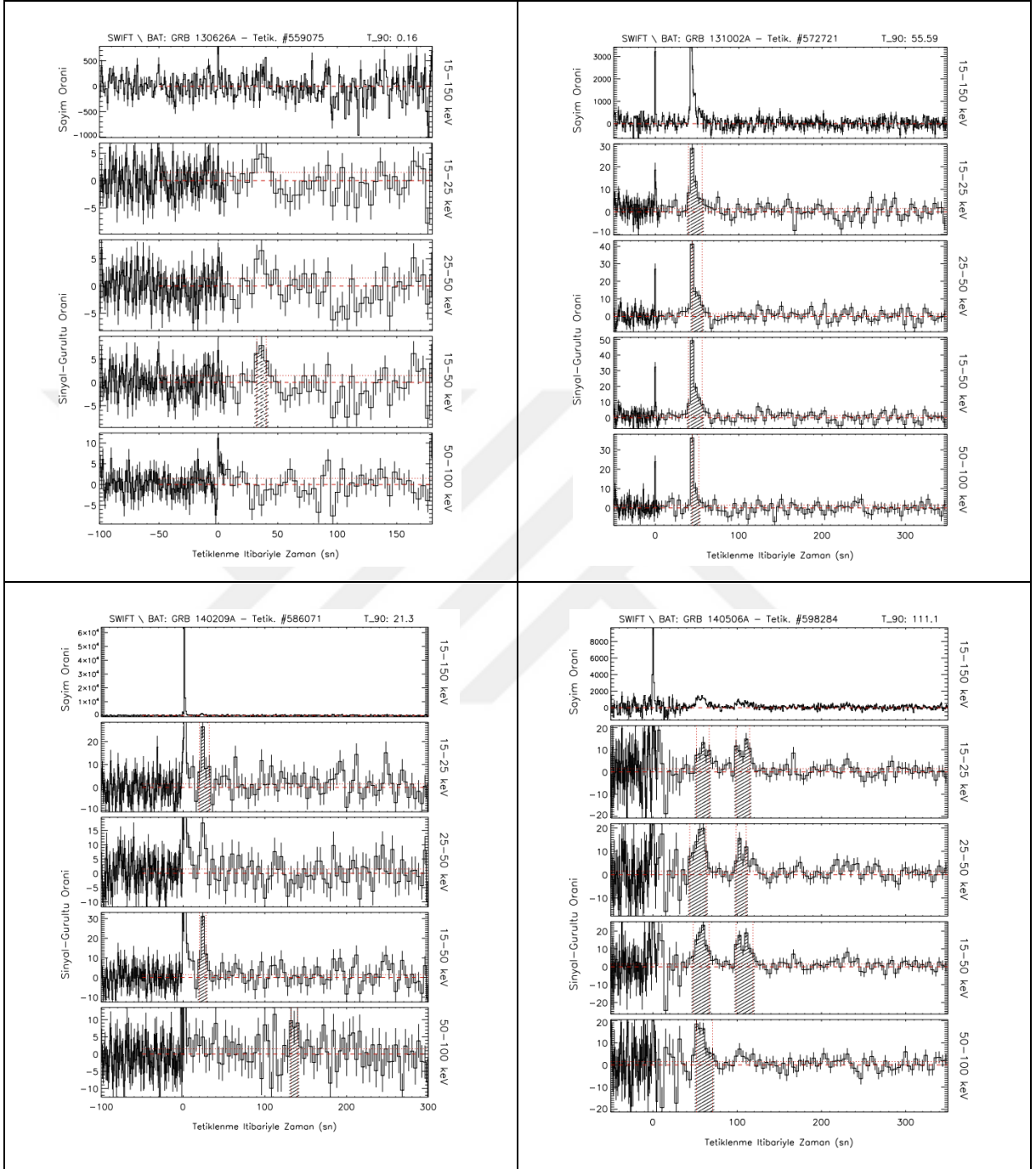


Şekil EK 2.4: GRB180828A, GRB190613B, GRB190719C, GRB191011A, GRB200219A ve GRB200409A patlamalarının öncü ışınım yapıları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 2.1)

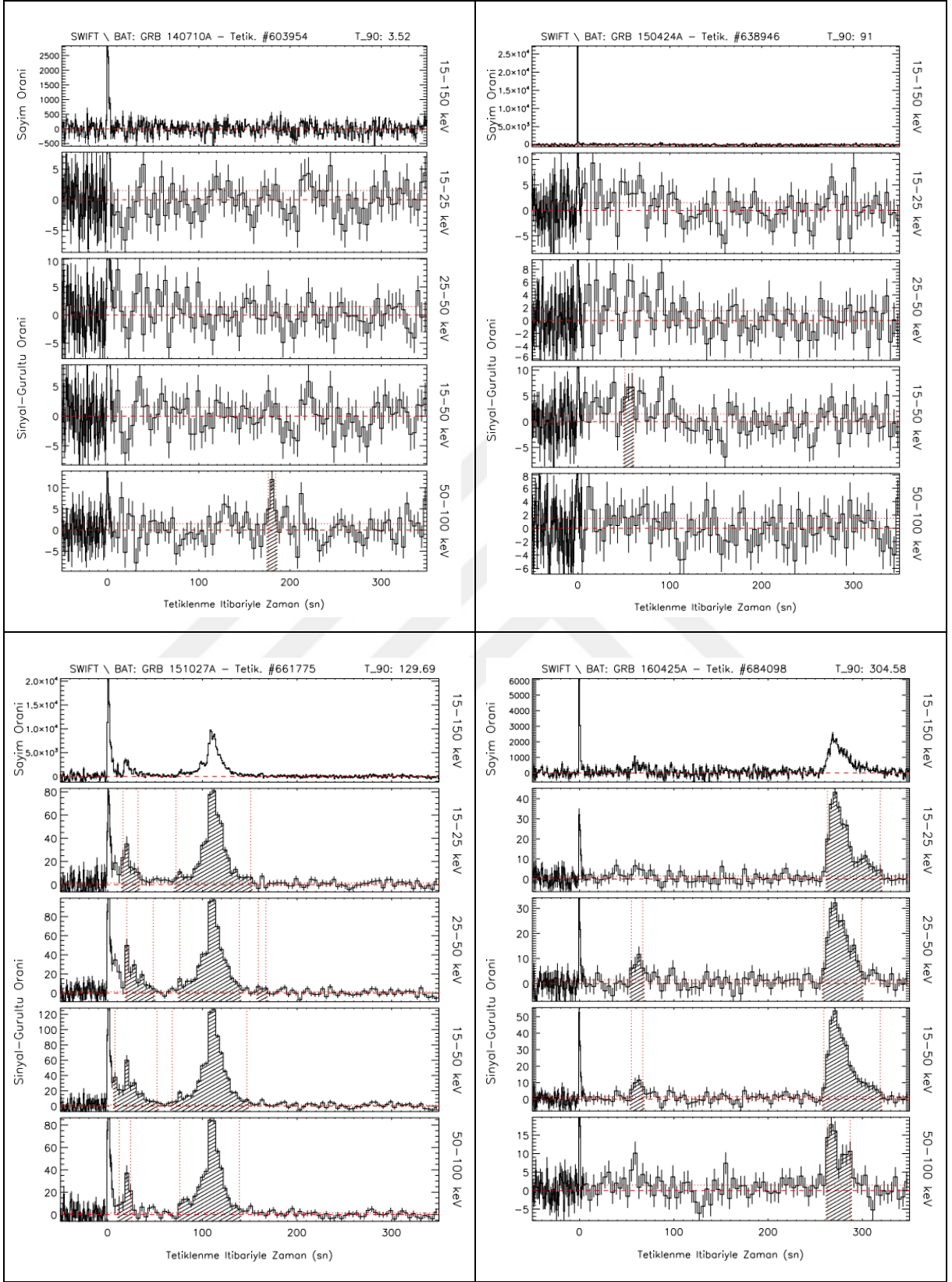


Şekil EK 2.5: GRB200410A patlamasının öncü ışınım yapısı. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 2.1)

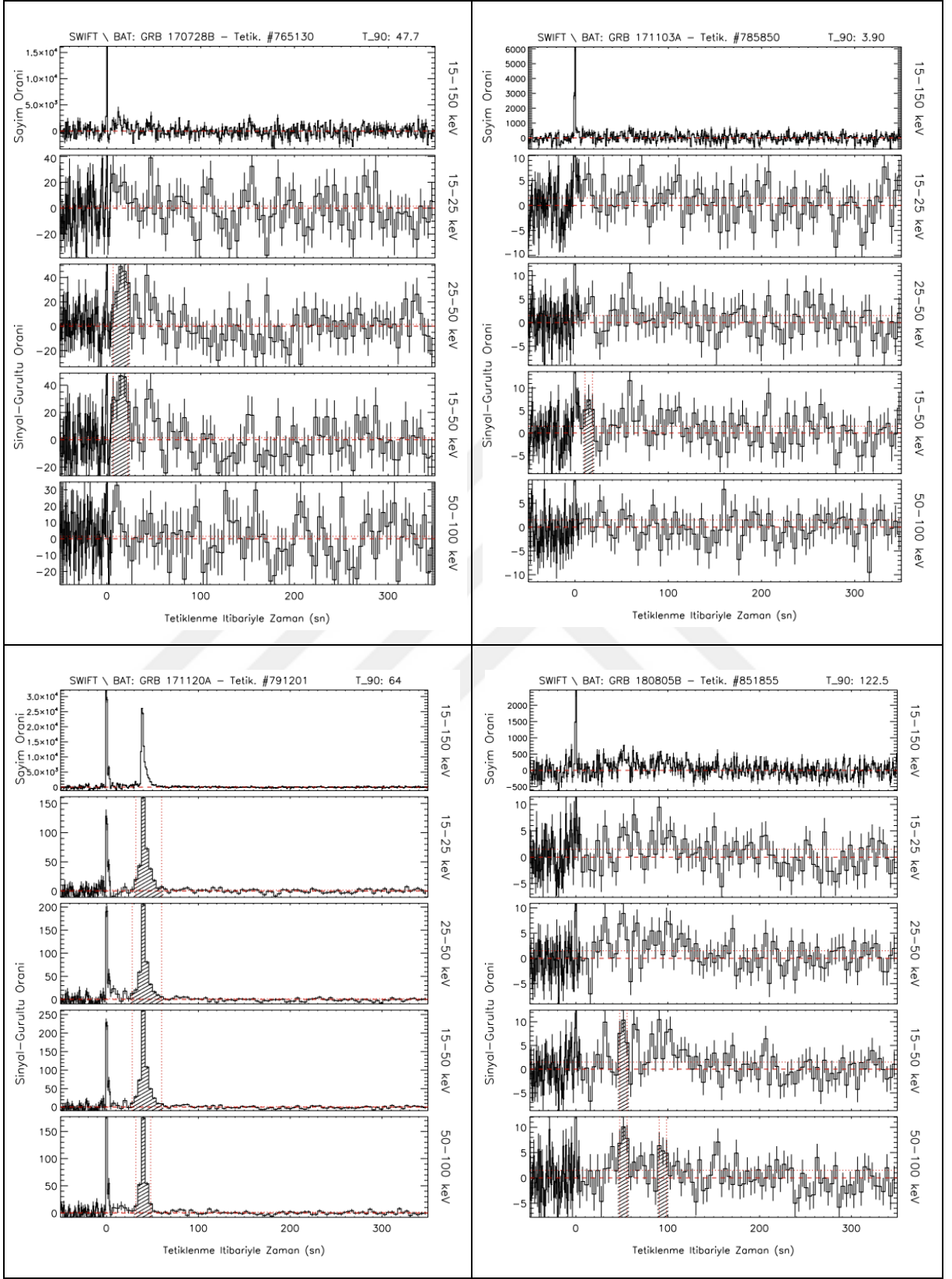
EK 3. EE bileşenleri tespit edilen GRB'ler.



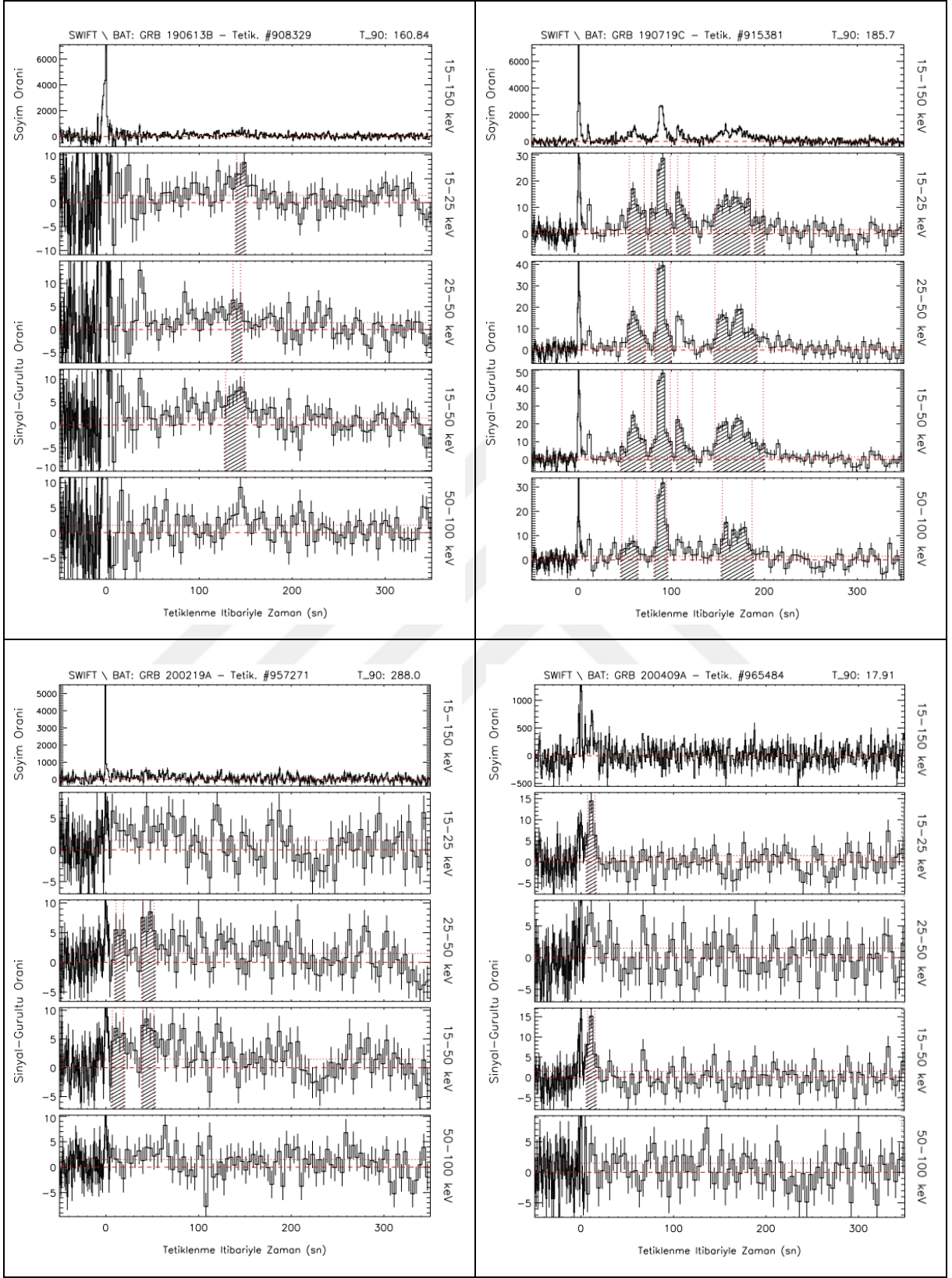
Şekil EK 3.1: GRB130626A, GRB131002A, GRB140209A ve GRB140506A patlamalarının EE araştırma sonucu grafikleri. En üst paneller dört enerji kanalının zemin ışıması çıkarılmış toplamını göstermektedir. Yatay kırmızı kesikli çizgi zemin ışımasının seviyesini göstermektedir. Son dört panel, zamanın bir fonksiyonu olarak sinyal-gürültü oranını (SNR) göstermektedir. Dikey kırmızı kesikli çizgiler arasındaki gölgeli alanlar, SNR'nin en az ardışık 12 saniye boyunca 1.5σ ve üzeri olduğu zaman aralıklarını belirtmekte ve yatay kesikli ve noktalı çizgiler sırasıyla zemin ışın seviyesini ve 1.5σ seviyesini göstermektedir.



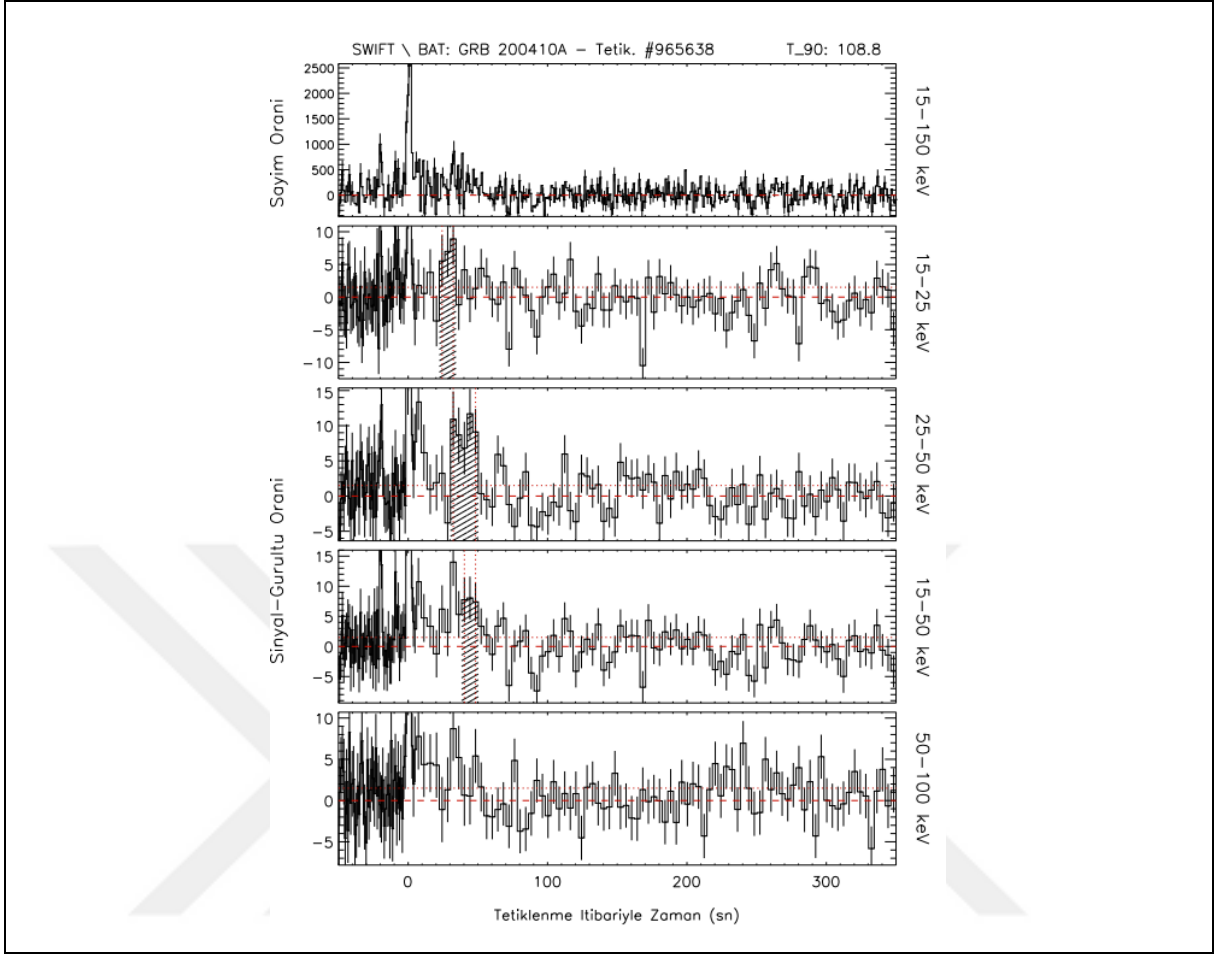
Şekil EK 3.2: GRB140710A, GRB150424A, GRB151027A ve GRB160425A patlamalarının EE araştırma sonucu grafikleri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 3.1)



Şekil EK 3.3: GRB170728B, GRB171103A, GRB171120A ve GRB180805B patlamalarının EE araştırma sonucu grafikleri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 3.1)

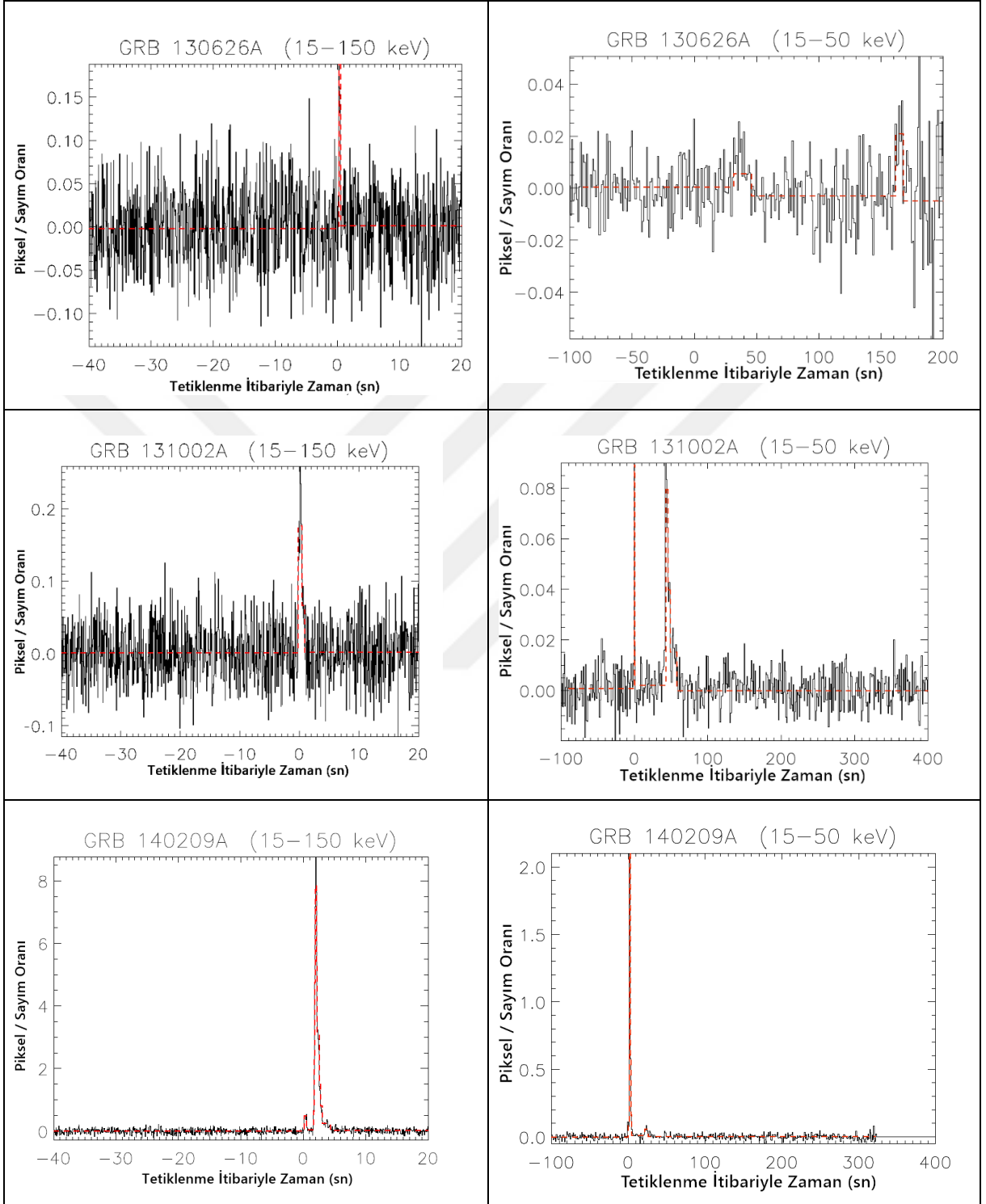


Şekil EK 3.4: GRB190613B, GRB190719C, GRB200219A ve GRB200409A patlamalarının EE araştırma sonucu grafikleri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 3.1)

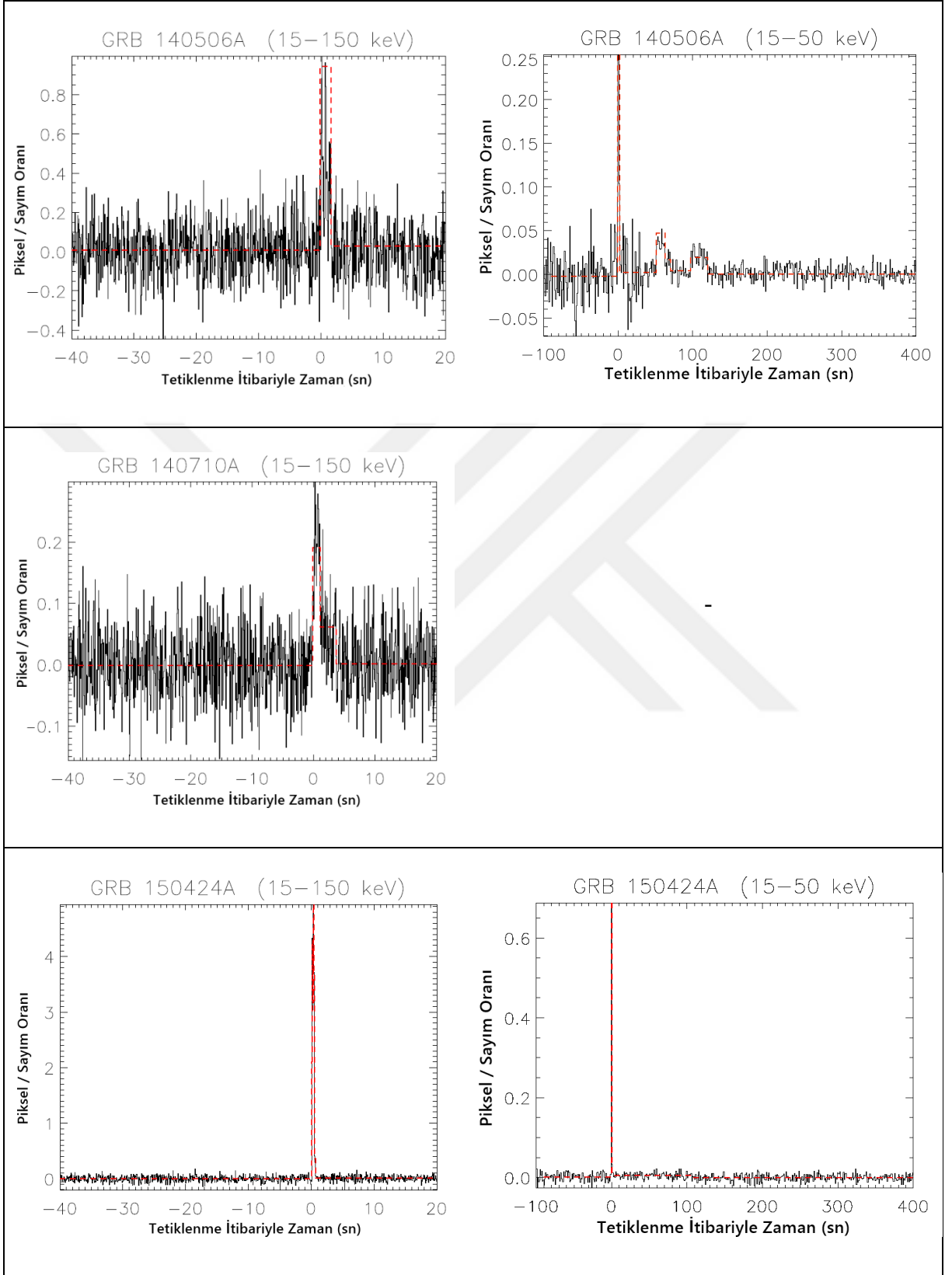


Şekil EK 3.5: GRB200410A patlamasının EE araştırma sonucu grafikleri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 3.1)

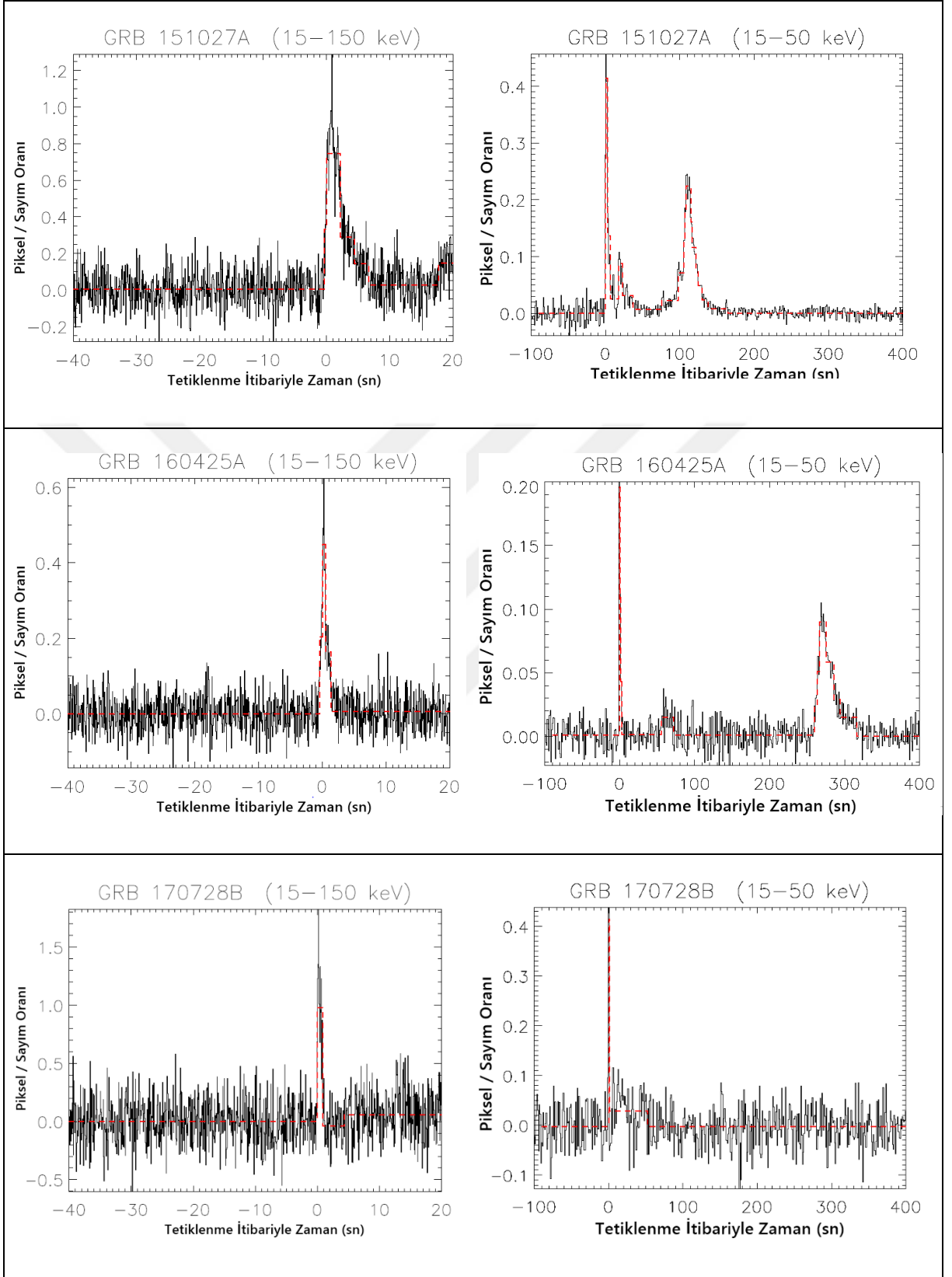
EK 4. EE'li GRB'lerin Bayes blok ışık eğrileri.



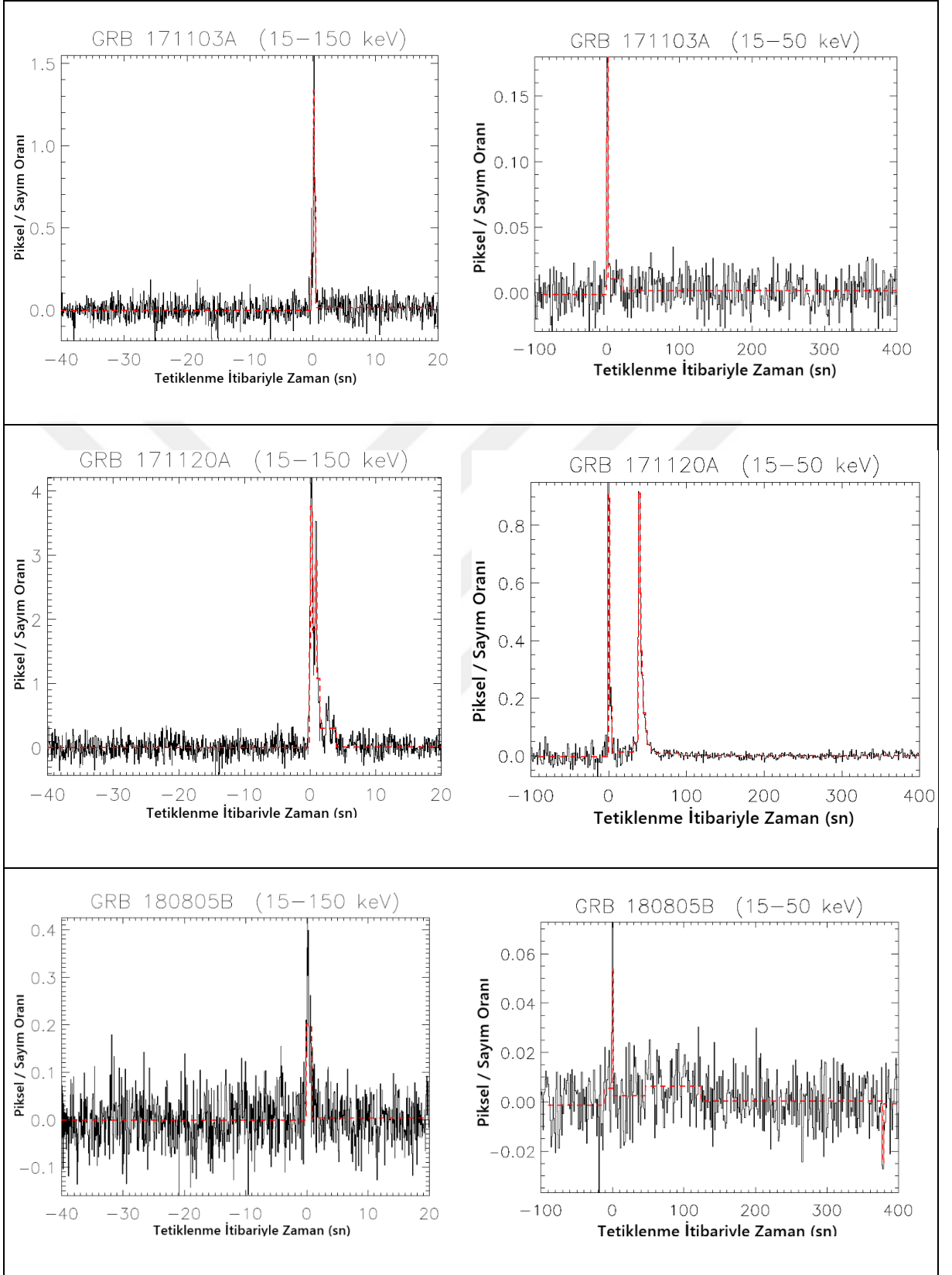
Şekil EK 4.1: GRB130626A, GRB131002A ve GRB140209A patlamalarının Bayes blok ışık eğrileri. Sol paneller öncü bileşen ve sağ paneller EE bileşenlerinin ışık eğrilerini; kırmızı çizgiler ise blok yapılarını temsil etmektedir.



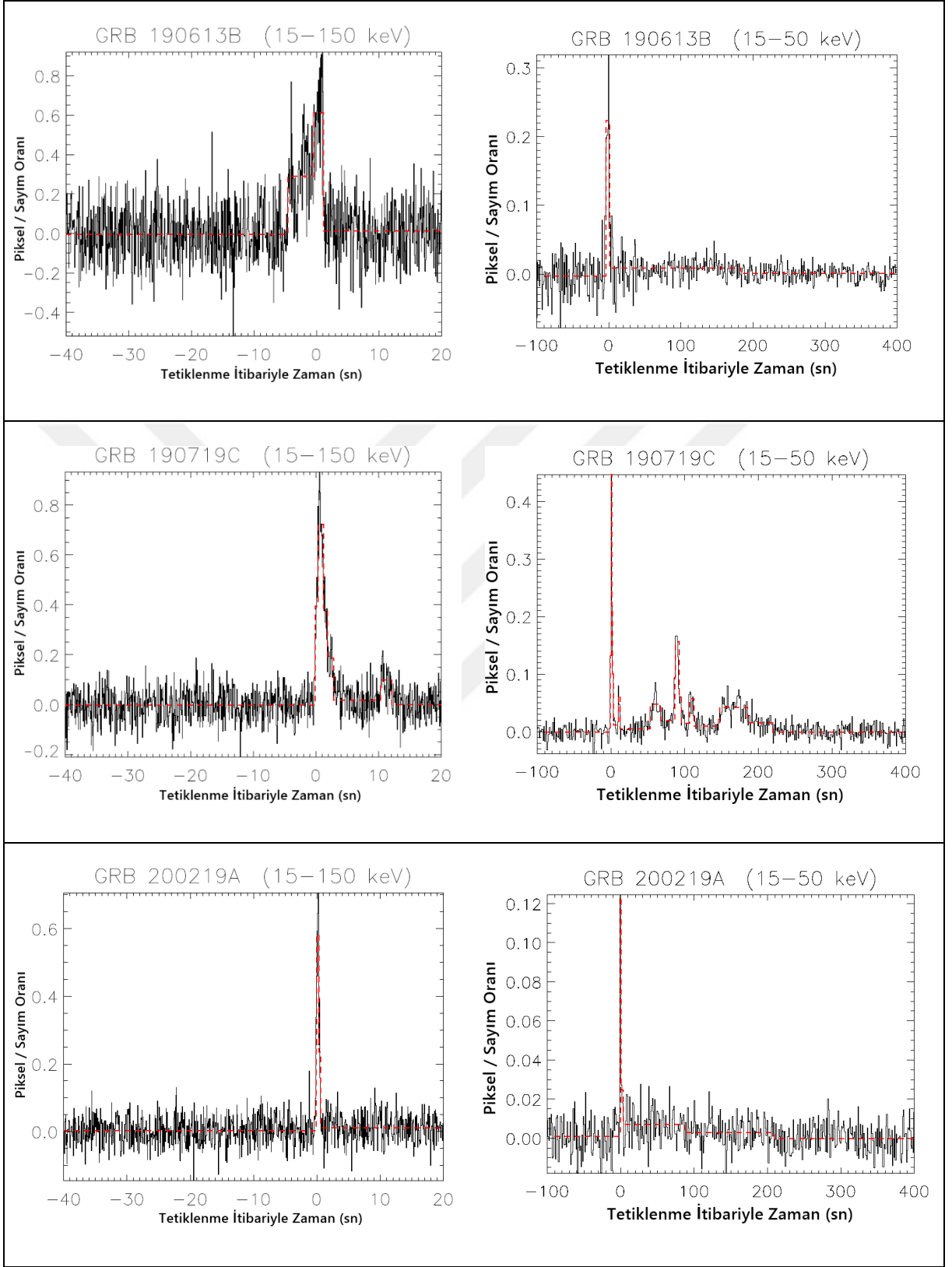
Şekil EK 4.2: GRB140506A, GRB140710A ve GRB150424A patlamalarının Bayes blok ışık eğrileri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 4.1)



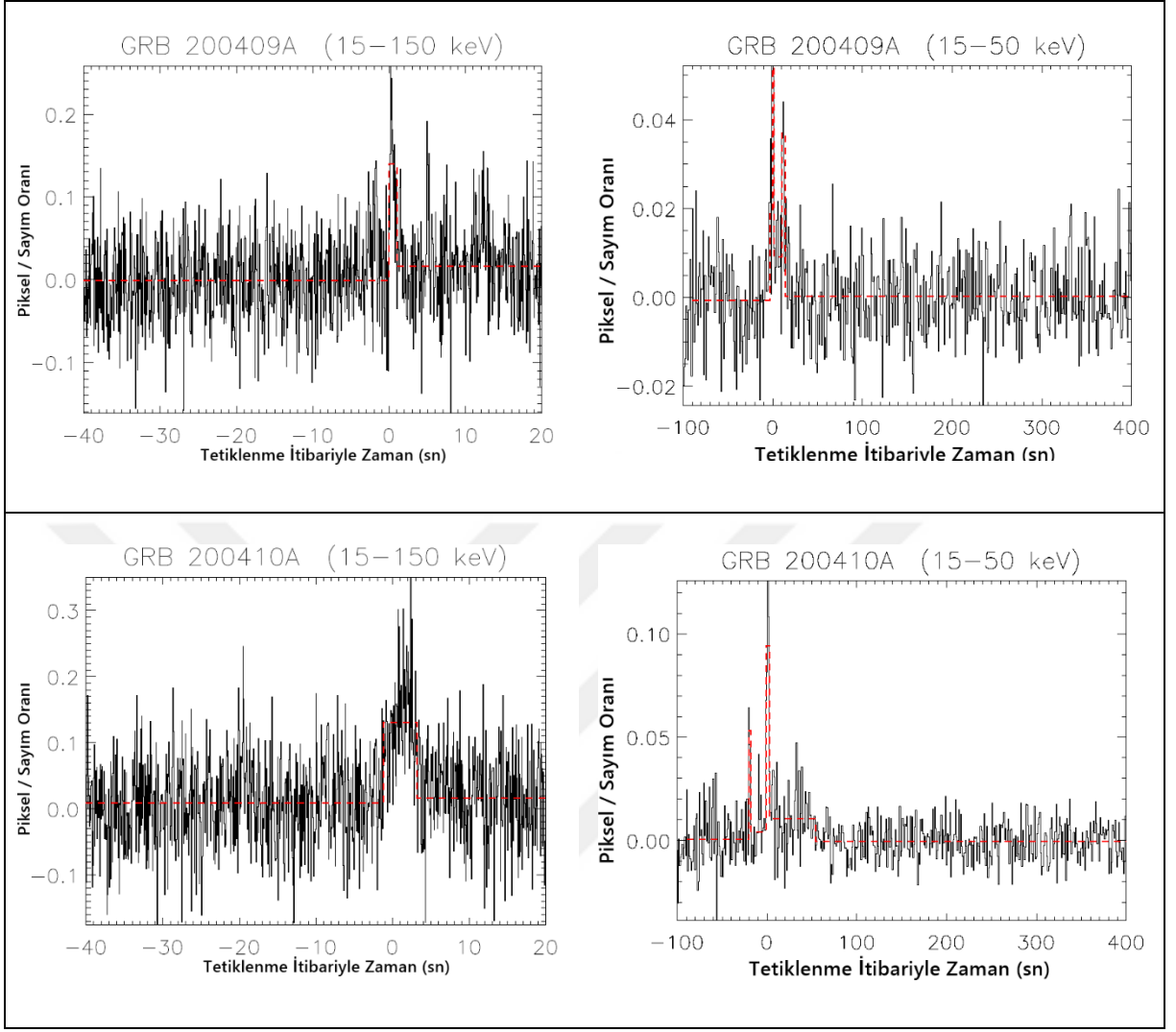
Şekil EK 4.3: GRB151027A, GRB160425A ve GRB170728B patlamalarının Bayes blok ışık eğrileri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 4.1)



Şekil EK 4.4: GRB171103A, GRB171120A ve GRB180805B patlamalarının Bayes blok ışık eğrileri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 4.1)

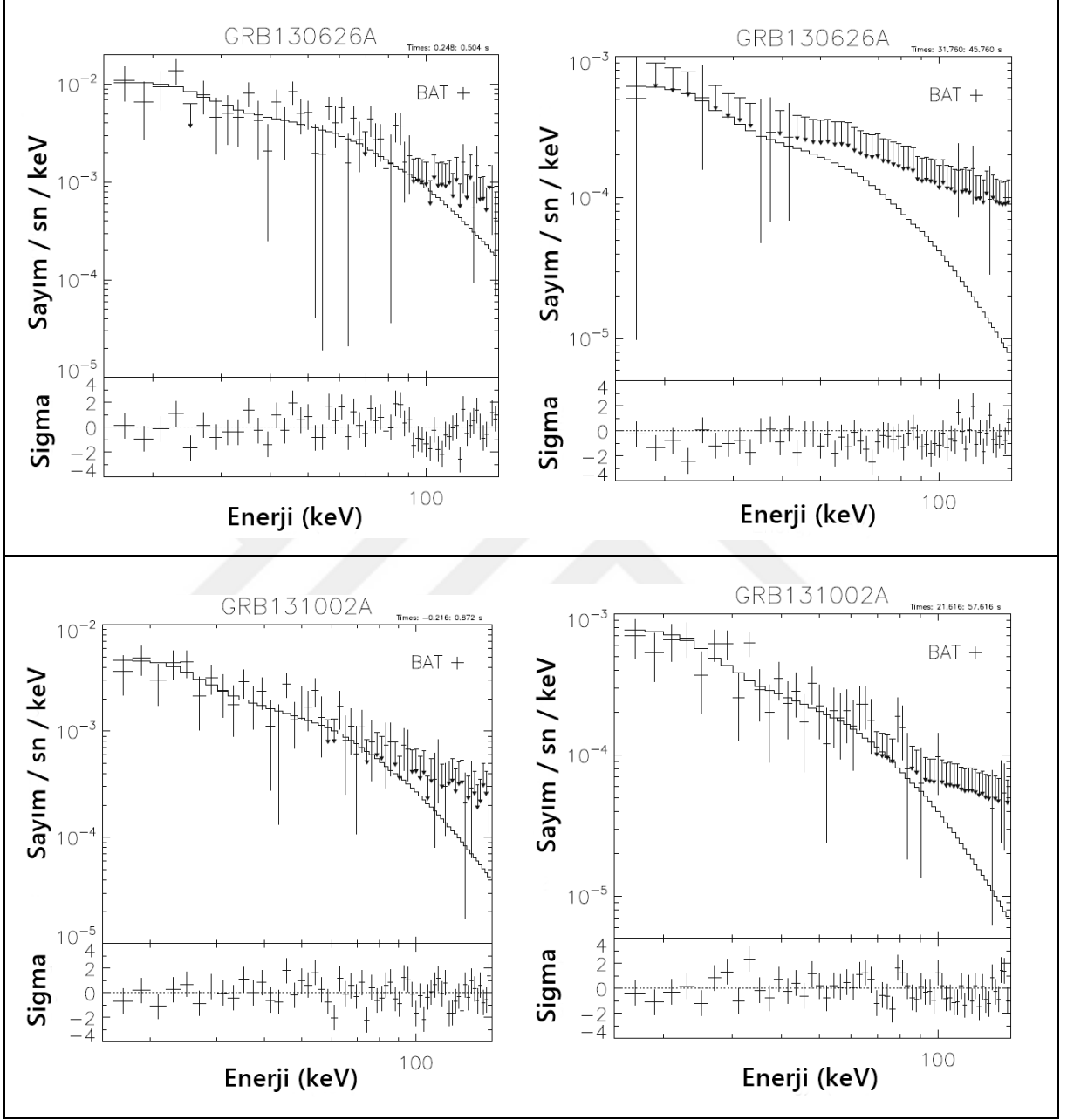


Şekil EK 4.5: GRB190613B, GRB190719C ve GRB200219A patlamalarının Bayes blok ışık eğrileri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 4.1)

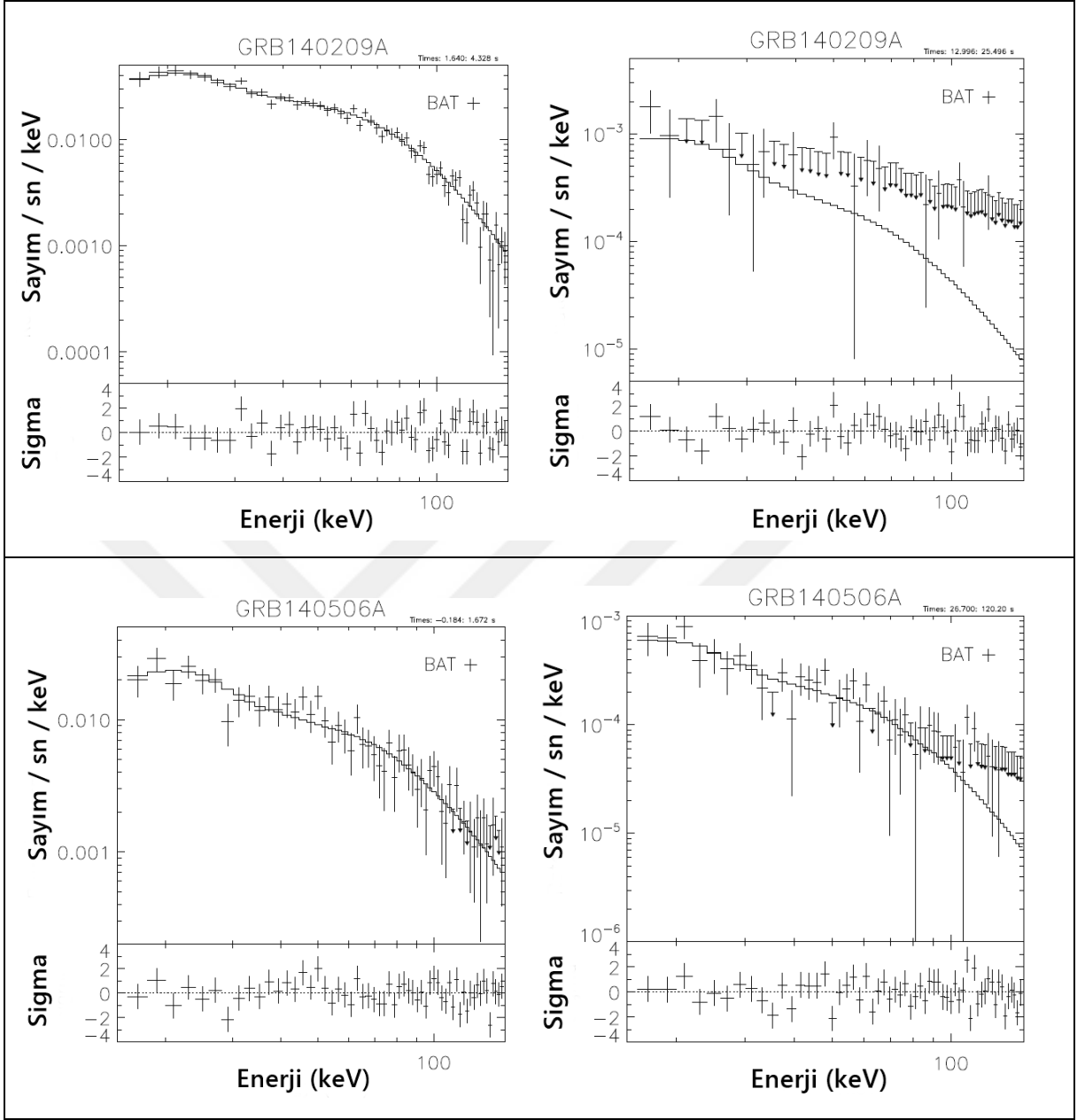


Şekil EK 4.6: GRB200409A ve GRB200410A patlamalarının Bayes blok ışık eğrileri. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 4.1)

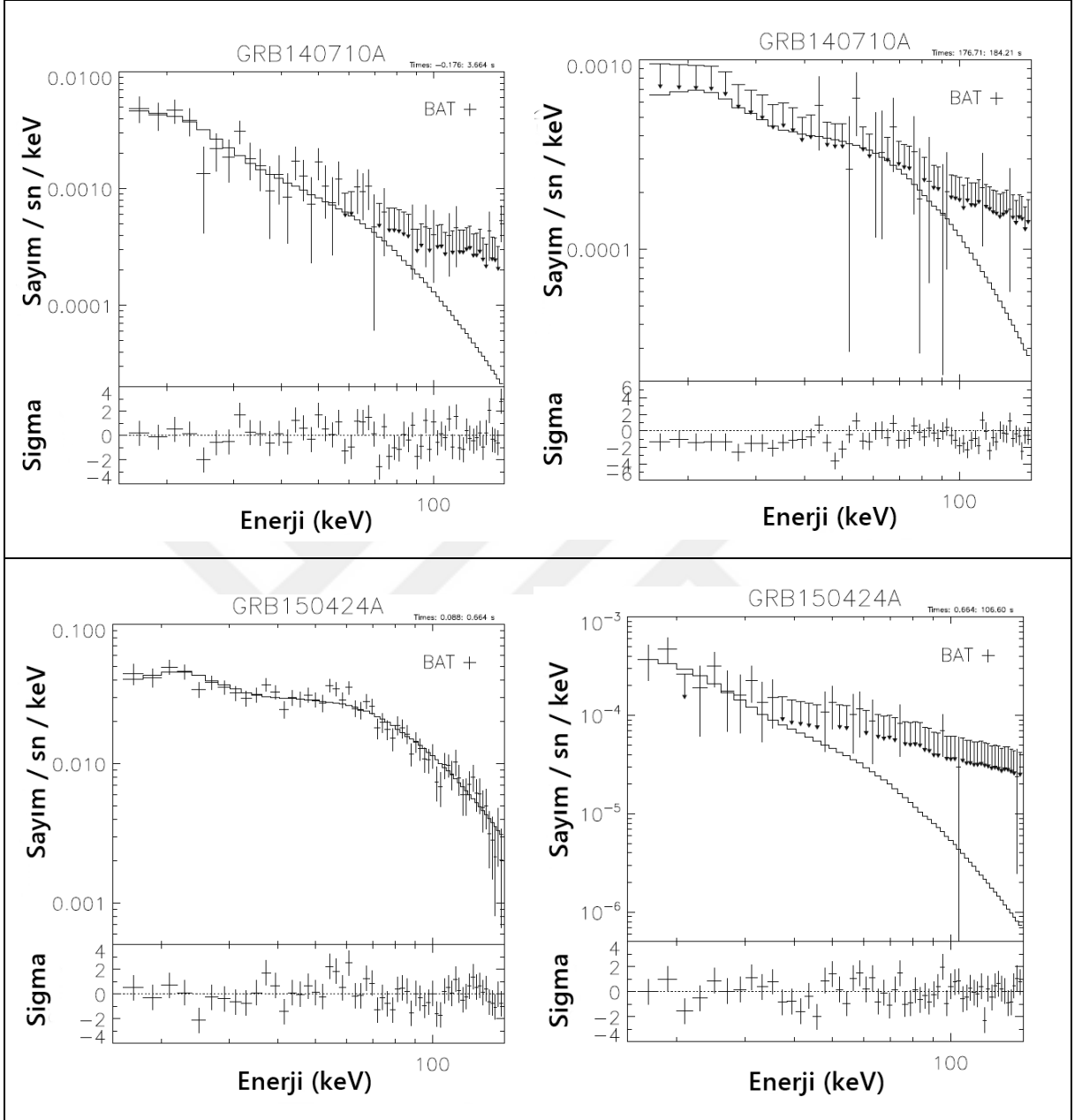
EK 5. Tayf analizi yapılan tüm EE’li GRB patlamalarına ait öncü ışıınım ve EE tayfları ile en iyi uyumu veren foton modelleri.



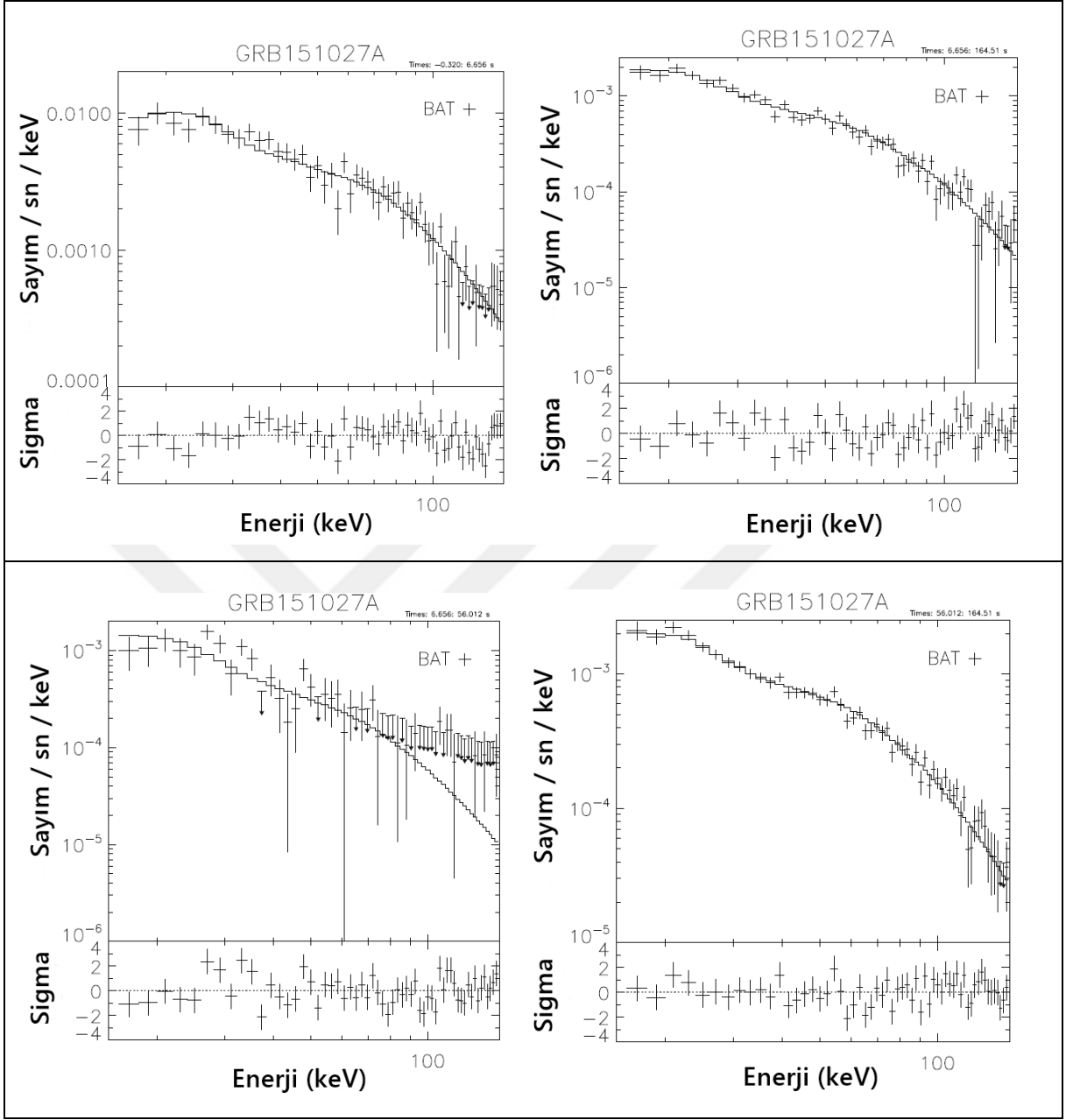
Şekil EK 5.1: GRB130626A, GRB131002A patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. Sürekli çizgiler foton modellerini, “+” sembolleri ise veriyi temsil etmektedir. Grafiklerdeki alt panellerde veri ile model arasındaki farkların dağılımları verilmiştir.



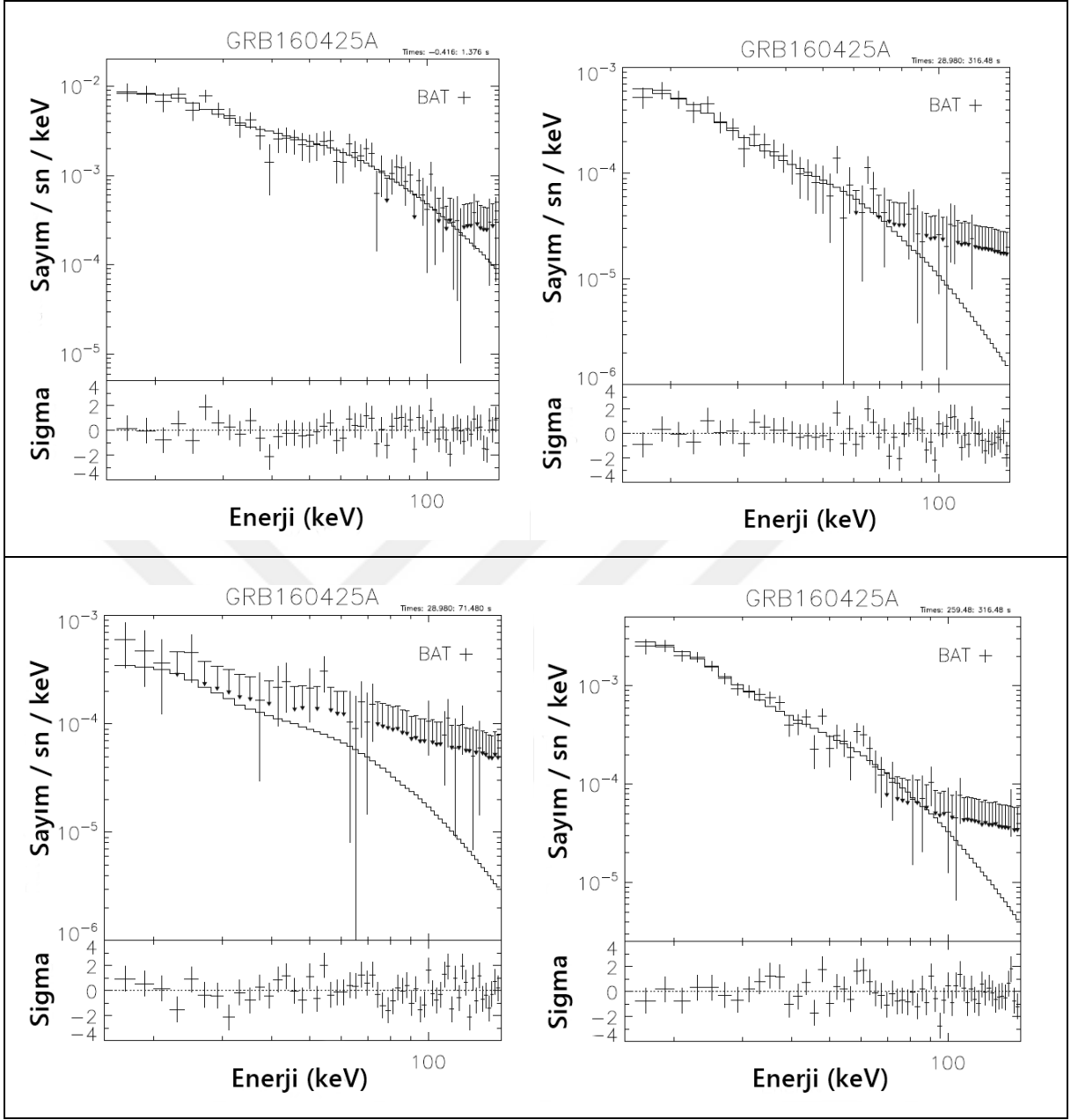
Şekil EK 5.2: GRB140209A ve GRB140506A patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)



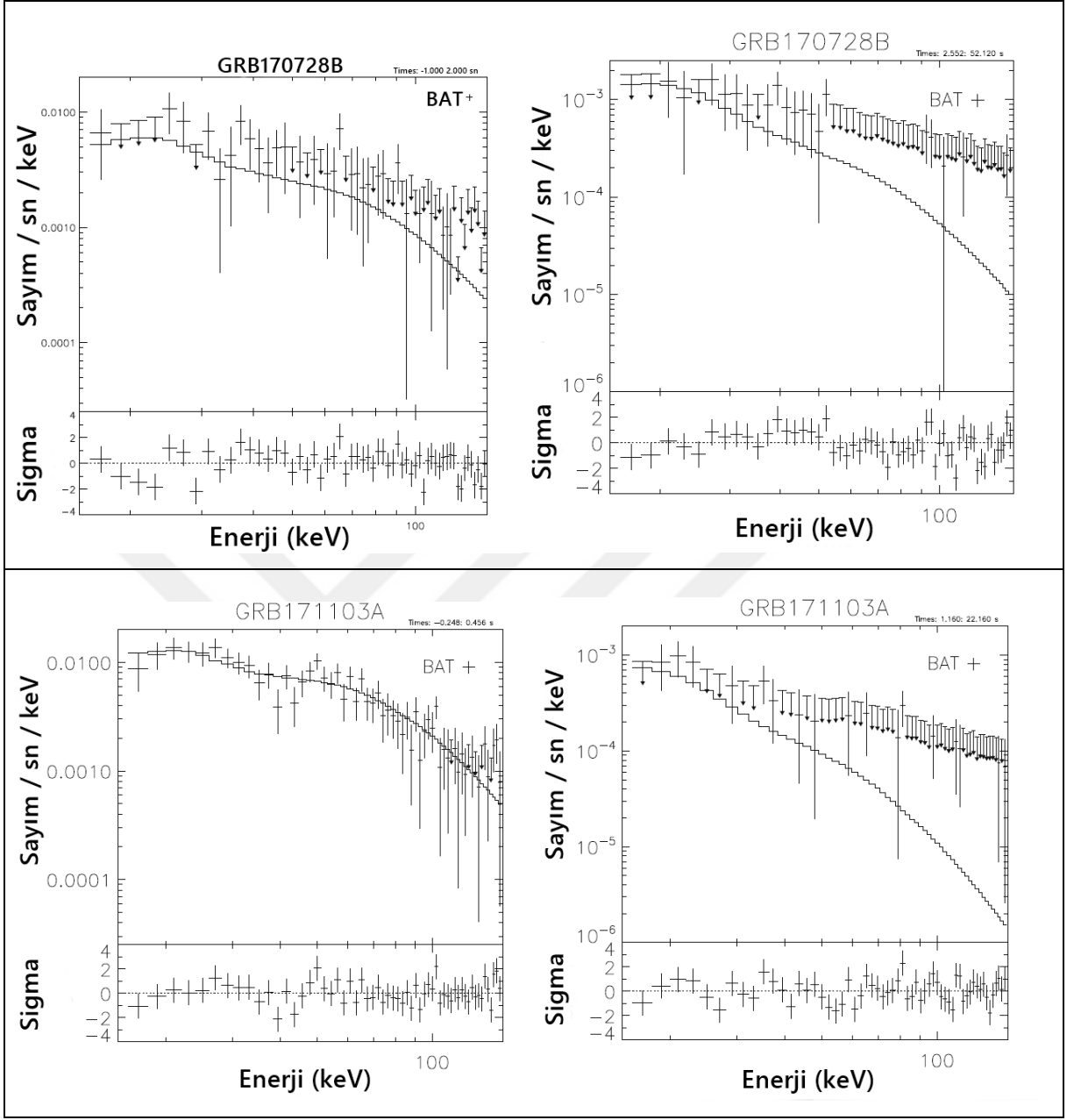
Şekil EK 5.3: GRB140710A ve GRB150424A patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)



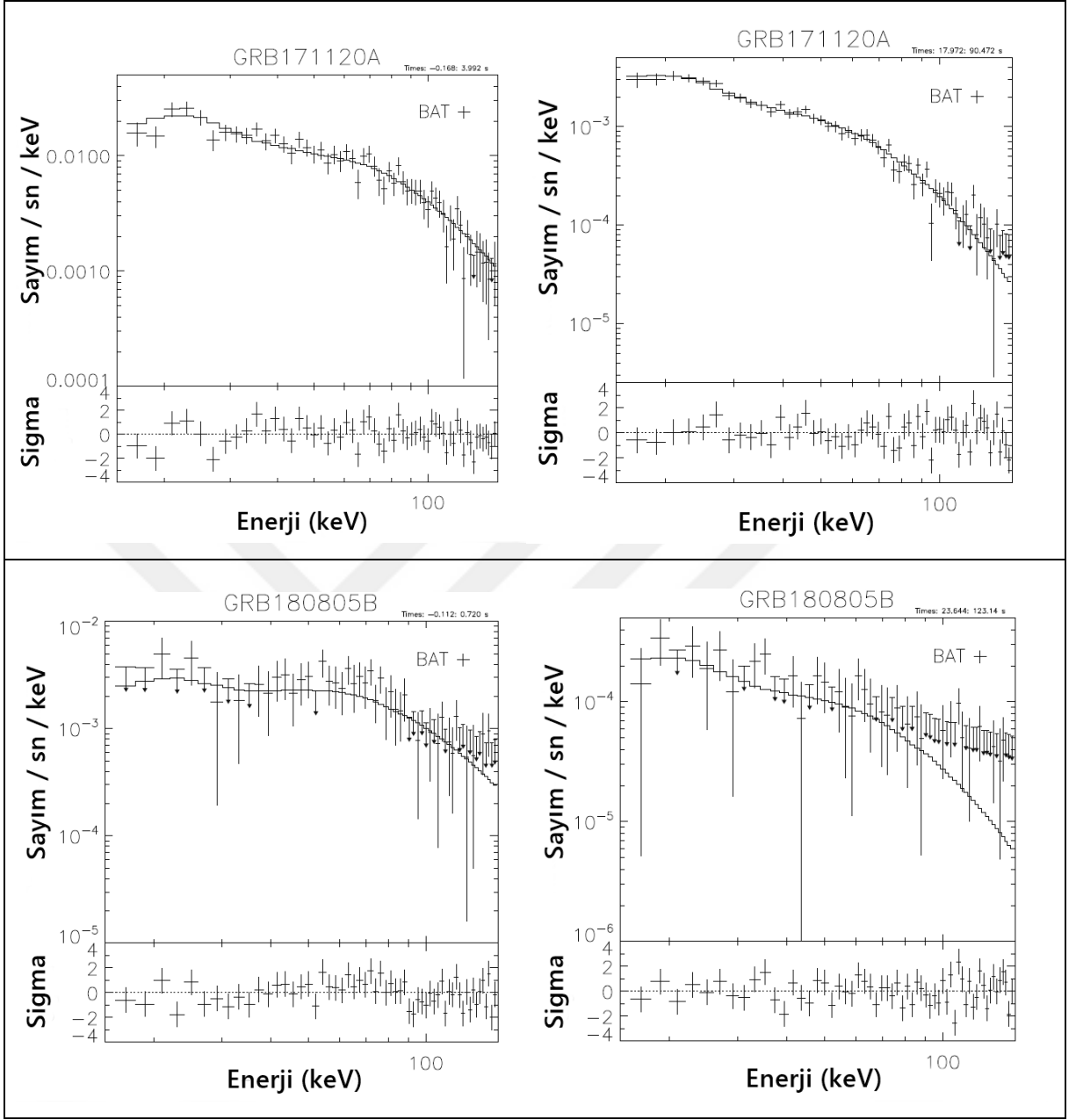
Şekil EK 5.4: GRB151027A ve GRB160425A patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)



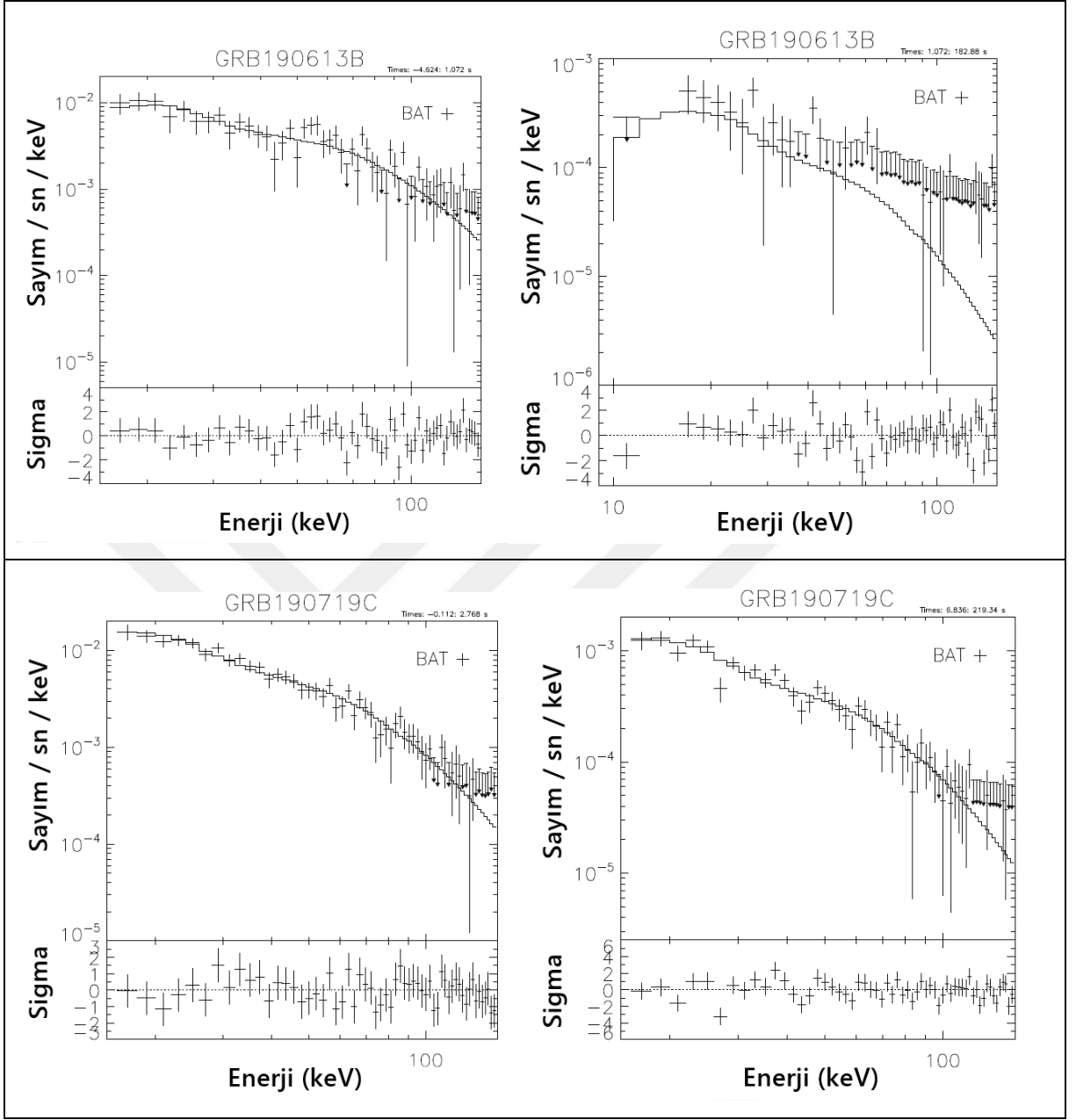
Şekil EK 5.5: GRB160425A , GRB170728B patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)



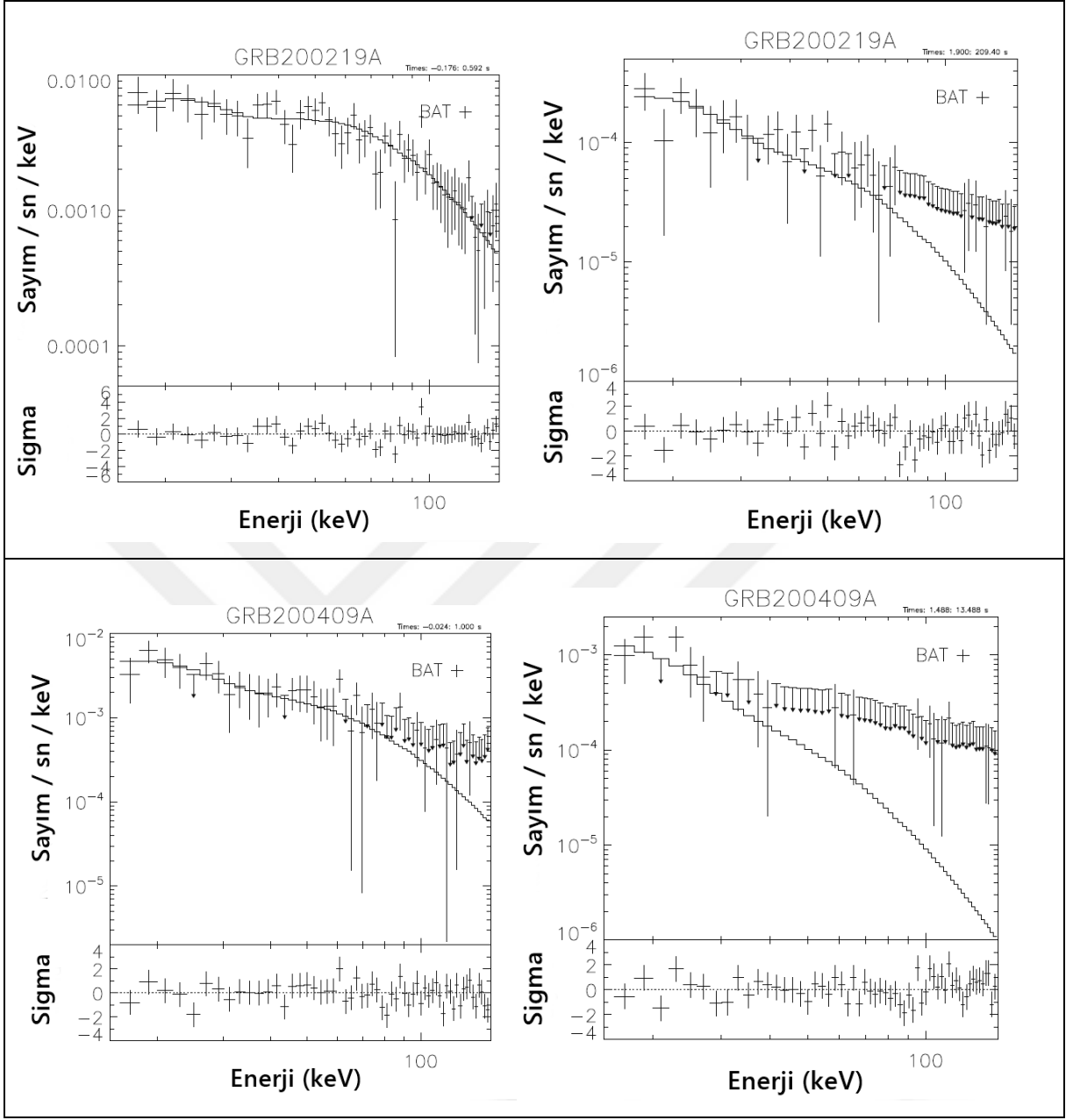
Şekil EK 5.6: GRB170728B ve GRB171103A patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)



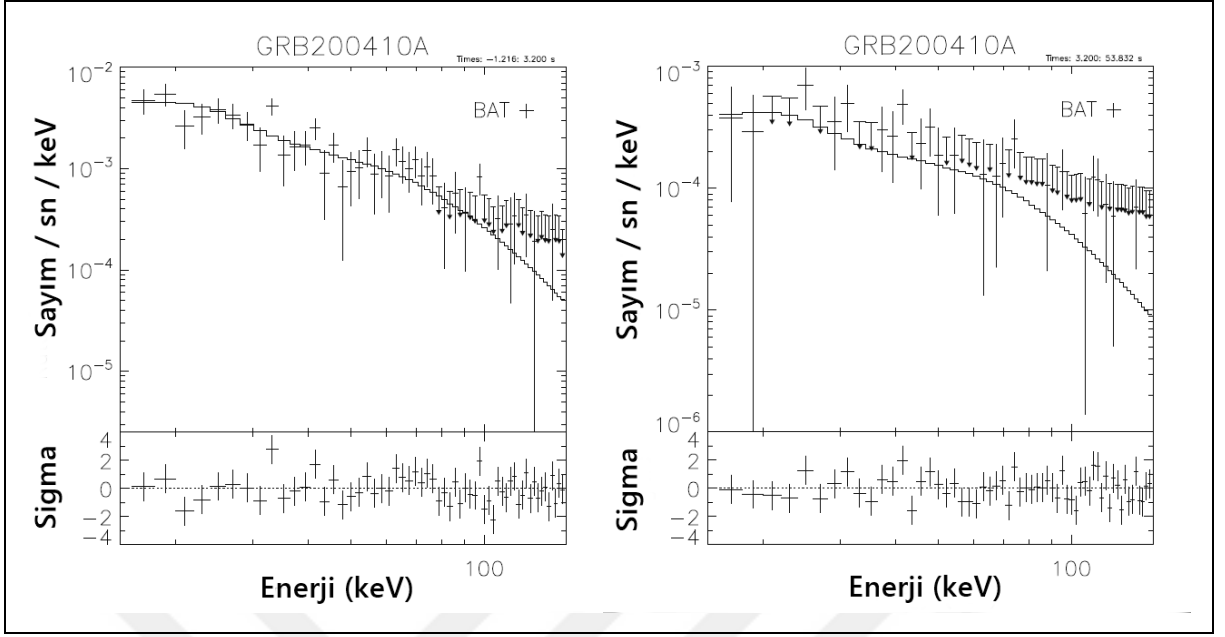
Şekil EK 5.7: GRB171120A ve GRB180805B patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)



Şekil EK 5.8: GRB190613B ve GRB190719C patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)

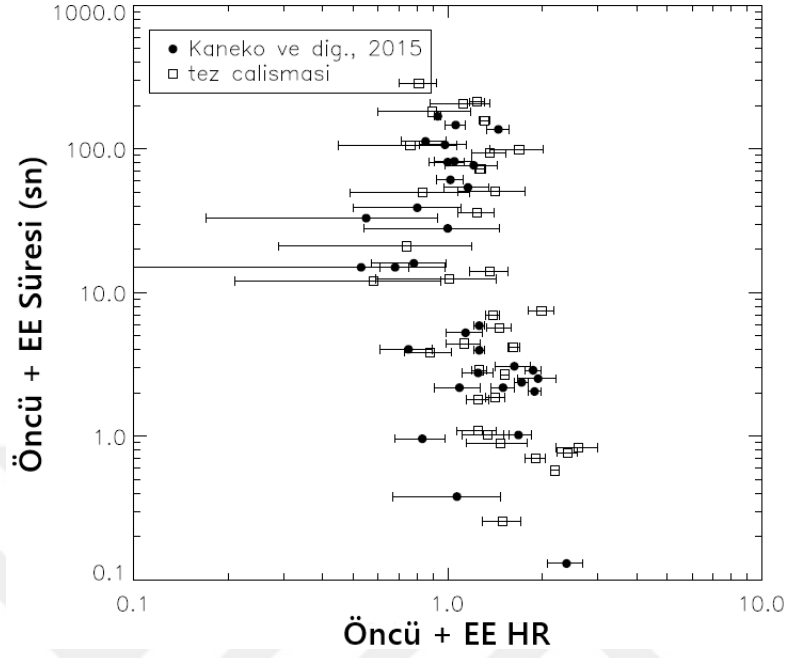


Şekil EK 5.9: GRB200219A ve GRB200409A patlamalarının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)

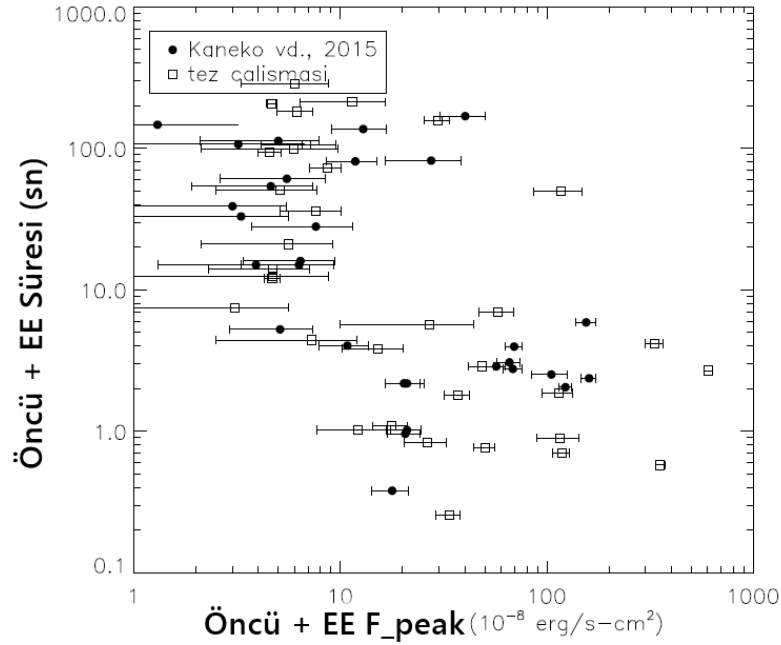


Şekil EK 5.10: GRB200410A patlamasının öncü (sol panel) ve EE (sağ panel) bileşen tayfları. (Ek açıklamalar için bkz.: Şekil EK 5.1)

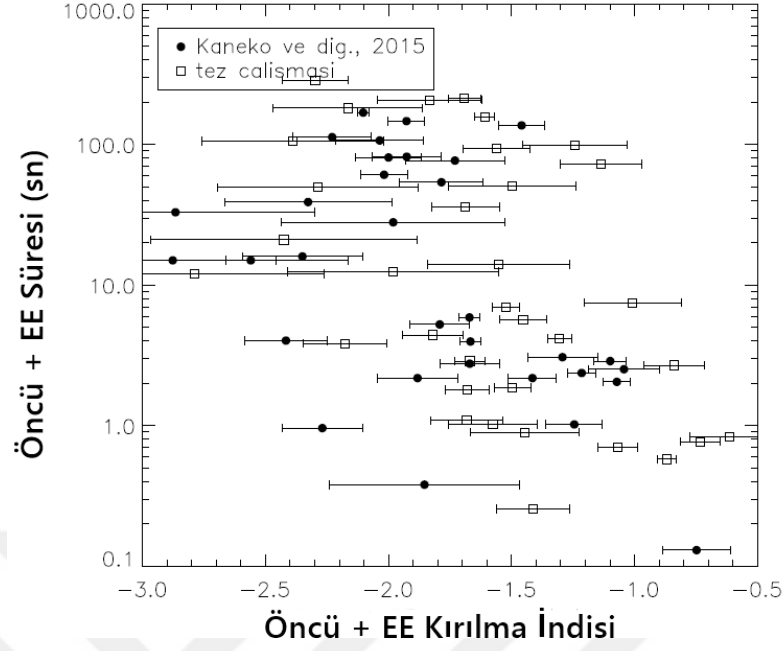
EK 6. Parametre çiftleri arasında bulunan korelasyonların grafikleri.



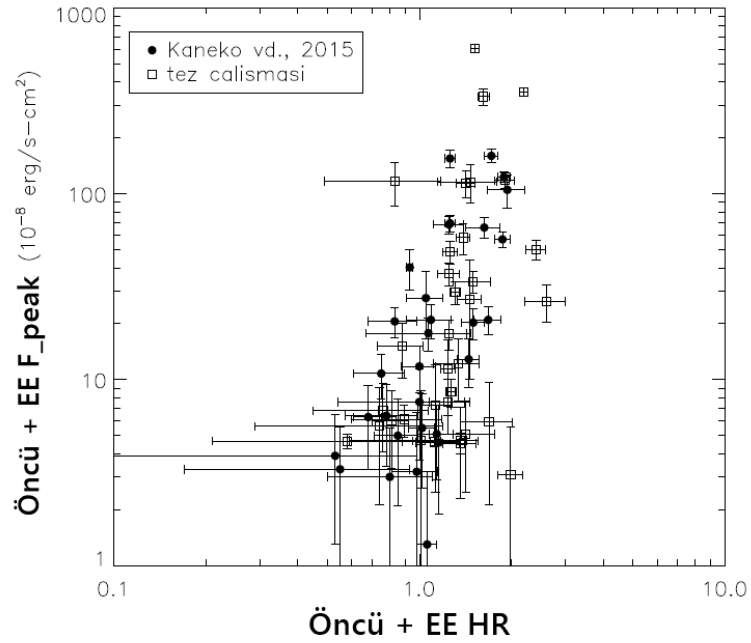
Şekil EK 6.1: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerin BB süreleri ile tayfsal sertlik oranları arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.



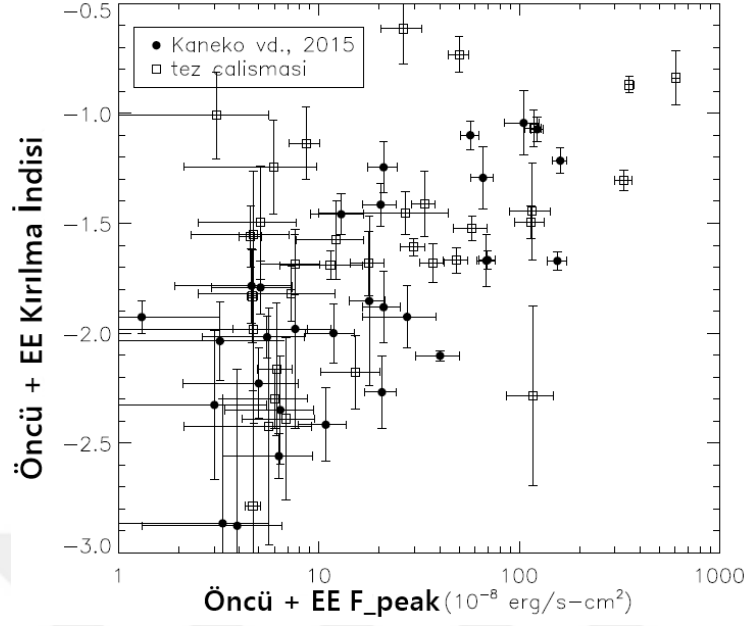
Şekil EK 6.2: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerin BB süreleri ile maksimum akıları arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.



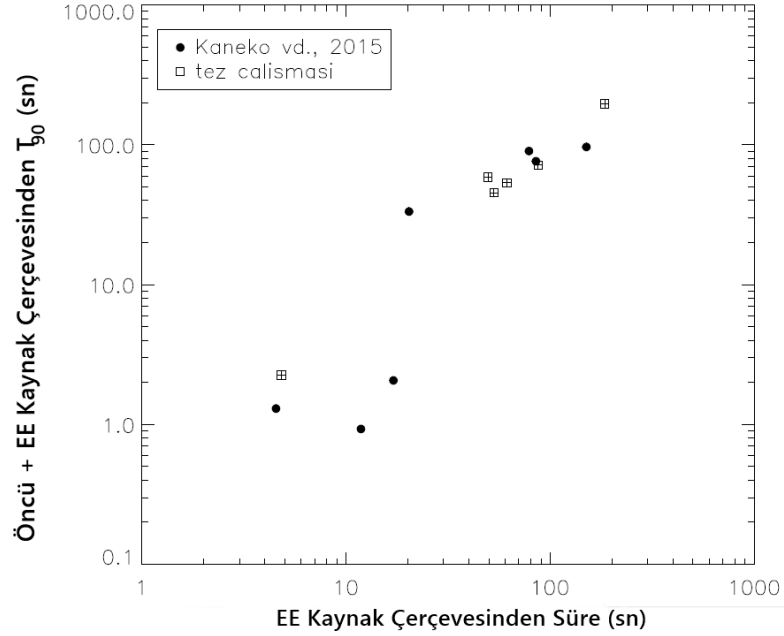
Şekil EK 6.3: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerin BB süreleri ile kırılma indisleri arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.



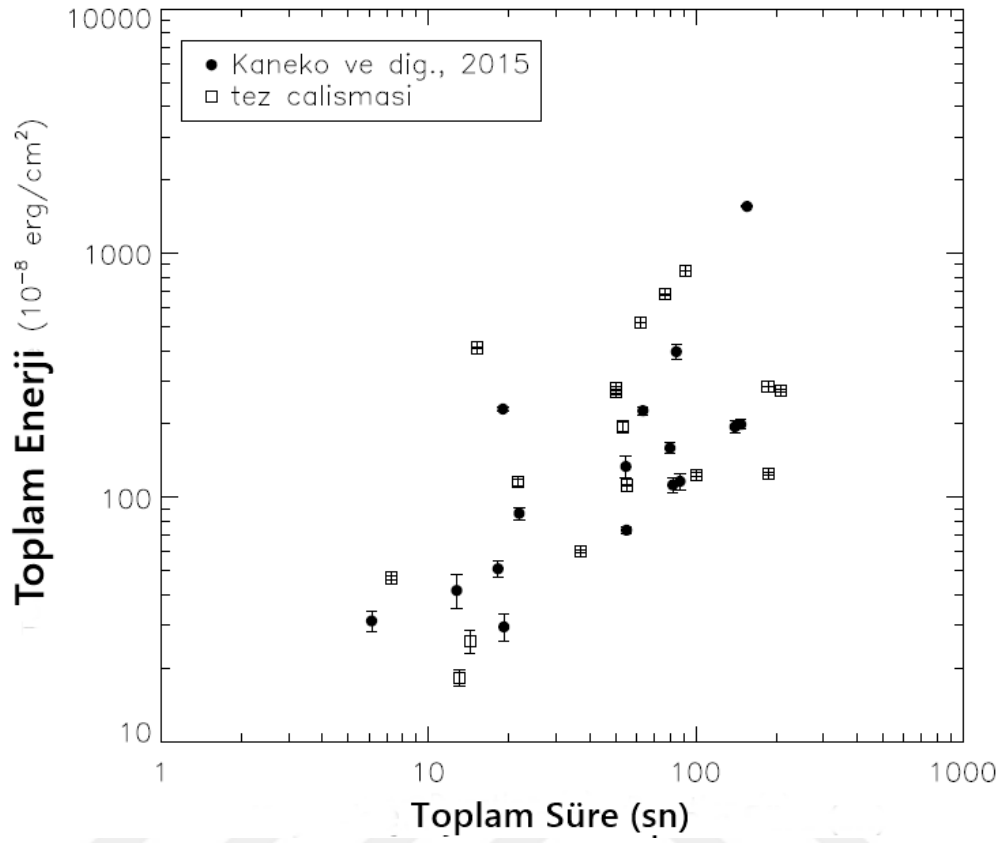
Şekil EK 6.4: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerin maksimum akıları ile tayfsal sertlik oranları arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.



Şekil EK 6.5: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerin kırılma indisleri ile maksimum akıları arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.



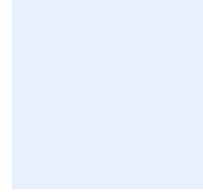
Şekil EK 6.6: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerin kaynak referans çerçevesinden hesaplanan T_{90} süreleri ile EE bileşenlerinin BB süreleri arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.



Şekil EK 6.7: *Swift*/BAT ile gözlenmiş tüm EE'li GRB'lerinin toplam süreleri ile toplam enerjileri arasındaki korelasyonun grafiği. İçi boş semboller tez çalışması, içi dolu semboller ise Kaneko ve diğ., 2015 çalışmasını temsil etmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Şeyma Ceren SANLI
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
Mezuniyet Yılı	11.07.2019

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı