

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FERMİ UYDUSU TARAFINDAN GÖZLENEN GAMA IŞIN
PATLAMALARININ ZAMAN SERİLERİNİN
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ALİ MUTLU

FİZİK ANABİLİM DALI

ADİYAMAN, 2020

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

**FERMİ UYDUSU TARAFINDAN GÖZLENEN GAMA IŞIN
PATLAMALARININ ZAMAN SERİLERİNİN ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ali MUTLU

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Bu tez / /2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU
Üye**

**Doç. Dr. Bayram TALİ
Üye**

Doç. Dr. Tayfun SERVİ

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FERMİ UYDUSU TARAFINDAN GÖZLENEN GAMA IŞIN PATLAMALARININ ZAMAN SERİLERİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ali MUTLU

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Yıl : 2020, Sayfa sayısı: 58

Jüri : Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Doç. Dr. Bayram TALİ
Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU

Gama ışın patlamaları (GIP)'nın ışık eğrileri belirgin bir morfolojiye sahip olmayan ve milisaniye'den onlarca saniyeye kadar değişkenlik gösteren karmaşık bir yapıya sahiptir. GIP ışık eğrilerindeki değişkenlik üzerine yapılan çalışmalar ile onların temelinde yatan fiziksel mekanizmanın doğası hakkında önemli ipuçları elde edilmesi beklenmektedir. GIP ışık eğrilerinin gözlenen zamansal değişkenliğini açıklamak için çeşitli modeller önerilmiştir. Bunlardan iç şok modeli ve fotosferik model gibi önde gelen modeller, hızlı değişkenliği doğrudan merkezi motorun aktivitesine bağlar. Son zamanlarda öne atılan modellerde, zamansal değişkenliğin, hızlı yayılım üreten fiziksel mekanizmalara bağlı olarak iki farklı ölçek gösterebileceğini öne sürmektedir. GIP'ların anlık yayınımlarının daha iyi anlaşılması ve farklı modellerdeki bazı temel bileşenlerin test edilebilmesi için bu kaynakların zamansal değişkenliğinin farklı enerji bantlarında elde edilmesi önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında Fermi/LAT uydusu ile gözlenen GIP'ların zamansal özellikleri 30 MeV–300 GeV enerji aralığında wavelet metodu ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Fermi/GBM uydusu ile gözlenen GIP'ların daha düşük enerjilerde (8 keV – 1MeV) elde edilen zamansal özellikleri ile karşılaştırılmış ve enerjiye bağlı olarak gösterdikleri benzerlikler ve farklılıklar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gama ışın patlamaları; Minimum zaman ölçeği:MTS; Fermi/LAT

ABSTRACT

Msc Thesis

TIME SERIES CHARACTERISTICS OF GAMMA RAY BURSTS OBSERVED BY FERMI

Ali MUTLU

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Year : 2020 , Number of pages: 58
Jury : Prof. Dr. Eda SONBAŞ
Assoc. Prof. Dr. Bayram TALİ
Asst. Prof. Dr. İlham NASIROĞLU

The light curves corresponding to the prompt emission of Gamma-ray bursts (GRBs) show complex structures with no well-defined morphology as well as exhibiting variabilities from milisecond to tens of seconds. Variability studies of GRB light curves are expected to provide important clues on the nature of the underlying physical mechanisms. A number of models have been put forward to describe the time structure of GRB light curves. These include the internal shock and photospheric models which suggest that it is the activity of the central engine that is responsible from the variability of the light curves. Data and models suggest the existence of at least two time scales suggesting more than one mechanism that leads to the prompt emission. It is important to extract the temporal variability of these sources in different energy bands in order to better understand the prompt emissions of GRBs and to test the various components in the different models. In this thesis, the temporal properties of GRBs, observed with the Fermi/LAT satellite, are analyzed with the wavelet method in the energy range of 30 MeV-300 GeV. Results are compared with the temporal properties of GRBs observed with the Fermi / GBM satellite at lower energies (8 keV-1 MeV) to investigate the similarities and the differences.

Key Words: Gamma ray bursts; Minimum time scale:MTS; Fermi/LAT

BEYAN

“Fermi Uydusu Tarafından Gözlenen Gama Işın Patlamalarının Zaman Serilerinin Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Ali MUTLU

imza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince bilgilerini benimle paylaşan ve yol göstericiliği ile bu tezin hazırlanmasında büyük katkıları olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Eda SONBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ile girdiğim akademik yolda maddi ve manevi tüm imkanları ile desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Gama Işın Patlamaları	11
3.2. GIP Anlık Yayınımı	11
3.2.1. GIP Işık Eğrileri	11
3.2.2. GIP Tayfi.....	13
3.2.3. GIP Sınıflandırılması ve Olası Ata Modelleri.....	14
3.3. GIP Ardıl Işınımları	17
3.4. Ateş Topu Şok Modeli	19
3.5. FERMİ Uydusu	20
3.5.1. Fermi/LAT	21
3.6. FERMİ/LAT Işık Eğrisi Analizleri	24
3.7. Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği (MTS).....	26
3.7.1. Wavelet (Dalgacık Dönüşümü).....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR	40
KİŞİSEL BİLGİLER.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Bu tez kapsamında analizleri yapılan patlamaların özellikleri	32
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Vela uydusu tarafından 2 Temmuz 1967 yılında keşfedilen ilk Gama Işın Patlaması	4
Şekil 2.2 BATSE tarafından gözlenen GIP'ların evrendeki dağılımları.....	5
Şekil 2.3 GRB 970228'in BeppoSAX tarafından 28 Şubat ve 3 Mart 1997 tarihlerinde elde edilen X-ışını görüntüsü	6
Şekil 2.4 Swift uydusunda bulunan ve farklı enerjilerde GIP gözlemi yapan 3 detektörün şematik gösterimi.....	8
Şekil 3.1 BATSE tarafından gözlemlenen farklı yapı gösteren GIP ışık eğrileri	12
Şekil 3.2 GRB 090902B patlamasının zaman çözünürlüklü tayfı	13
Şekil 3.3 Swift ve BATSE tarafından tespit edilen GIP'ların T_{90} süre dağılımları ...	15
Şekil 3.4 Kısa ve uzun süreli GIP'lar için ata modelleri.....	16
Şekil 3.5 Uzun ve kısa süreli GIP'ların X-ışın ardıl ışınlamalarının farklı davranışlarının temsili örnekleri	18
Şekil 3.6 Kısa süreli GRB 050724'ün ardıl ışınlamı ve ev sahibi galaksisinin yakın kızılötesi görüntüleri	18
Şekil 3.7 İç ve dış şokların oluşumunu gösteren ateştopu şok modeli.....	20
Şekil 3.8 Fermi / GBM ve Fermi / LAT cihazların genel görünümünü verilmektedir	21
Şekil 3.9 Fermi / LAT cihazın genel görünümü	22
Şekil 3.10 Sol panel: GRB 090510 patlamasının Fermi/LAT ve GBM tarafından ölçülen ışık eğrileri.....	23
Şekil 3.11 LAT tarafından tespit edilen patlamanın özelliklerinin girilerek veri tabanından verilerinin elde edilmesi işle	24
Şekil 3.12 LAT GIP kataloğundaki 2008 ve 2009 yıllara ait GIP'ların bir kesri görülmektedir	25
Şekil 3.13 GRB 080916C'nin Fermi/LAT uydusu için hazırlana yazılımlar kullanılarak elde edilen 1 s çözünürlüklü ışık eğrisi ve poz haritası.....	26
Şekil 4.1 GRB 080916C için frekansın fonksiyonu olarak sinyalin logaritmik değişkeninin diyagramı	33
Şekil 4.2 LAT ve GBM tarafından tespit edilen uzun ve kısa süreli GIP'ların dağılımları karşılıklı olarak gösterilmektedir.....	33
Şekil 4.3 Gözlemci çerçevesinde MTS'e karşılık T_{90} değerleri GBM tarafından gözlemlenen GIP'lar ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.....	34
Şekil 4.4 Kaynak çerçevesinde MTS'e karşılık T_{90} değerleri GBM tarafından gözlemlenen GIP'lar ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.....	34
Şekil 4.5 Patlaman süresinin minimum değişkenlik zaman ölçeğine oranına karşı T_{90} süresi.....	36
Şekil 4.6 MTS'e karşılık patlamaların LAT yayınımlarının süresi verilmektedir	36
Şekil 4.7 Fotosferik yayınının Band tayfını ürettiği, iç şokun değişken güç yasası spektrumuna katkıda bulunduğu ve dış şok uzun ömürlü güç yasası spektrumunu oluşturan fotosfer-iç-dış şok modeli verilmektedir	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	: Enerji
Erg	: Enerji Brimi
$M_{\odot}$	: Güneş Kütlesi
s	: Saniye
T_{90}	: Patlamaların Süresi
z	: Kırmızıya Kayma
Γ	: Lorentz Faktör
μ s	: Mikrosaniye
Δt	: Sıcaklık Artışı
γ	: Gamma

Kisaltmalar

BAT	: Burst Alert Telescope
BATSE	: Burst And Transient Source Experiment
BB	: Blackbody
PL	: Power-Law
CGRO	: Compton Gamma Ray Observatory
CWT	: Continuous Wavelet Transform
EGRET	: Energetic Gamma Ray Experiment
FRED	: Fast Rise and Exponential Decay
FWT	: Fast Wavelet Transform
GBM	: Gamma Ray Burst Monitor
GCN	: Gamma-Ray Burst Coordinates Network
GeV	: Giga Elektron Volt
GIP	: Gama Işın Patlaması
GRB	: Gamma Ray Burst
HEASOFT	: High Energy Astrophysics Software
KeV	: Kilo Elektron Volt
KD	: Kara Delik
LAT	: Large Area Telescope
LGRB	: Lat Gamma Ray Burst
LLE	: Mega Elektron Volt
MTS	: Minimum Time Scale
NY	: Nötron Yıldızı
UV	: Ultraviyole
UVOT	: Ultraviyole and Optical Telescope
VLA	: Very Large Array
XRT	: X-Ray Telescope

1. GİRİŞ

Gama Işın Patlamaları (GIP'lar), evrenin herhangi bir yerinde günde ortalama bir ya da birkaç tane meydana gelen, ilk fazı olan anlık ışınımını yaklaşık olarak 0.1–300 saniye boyunca gama ışınlarında yapan kısa süreli ve çok yüksek enerjili olaylardır. 1960'ların sonlarında Vela uyduları tarafından yapılan keşiflerinden [1, 2] günümüze kadar yaklaşık 50 yıllık zaman içerisinde Astrofiziğin en güncel konularından biri haline gelen bu ilginç olayların doğalarının daha iyi anlaşılması için çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. 1990 yılında dünya yörüngesine taşınan Compton Gama Işını Gözlemevinde (CGRO; Compton Gamma Ray Observatory) bulunan Patlama ve Geçici Kaynaklar Deneyi (BATSE; Burst And Transient Source Experiment) ~3000 tane GIP'in konumunu tespit ederek galaktik olmayan bu olayların Evrende düzgün olarak dağılmış olduklarını göstermiştir [3]. 1997'de Beppo-SAX uydusu tarafından GIP'ların ardıl ışınımalarının X-ışın dalga boyunda keşfedilmesinden bu yana, yer tabanlı optik teleskopların GIP optik karşılıklarını tespit edebilmesine olanak sağlamıştır. Böylece bu cisimlerin kozmolojik mesafelerde olduğu anlaşılmıştır. Swift uydusunun 2004 yılında Yer'in yörüngesine gönderilmesi ile bu olayların çoklu dalga boylu (gama, x-ışını, optik, UV) verileri elde edilebilmiş ve 150'den fazla GIP'in kırmızıya kayma değerleri yani uzaklıkları hesaplanabilmiştir. Özellikle 1990 sonrasında gönderilen uydular tarafından yapılan gözlemlerden elde edilen hassas konum bilgilerinin Gamma-ray burst Coordinates Network (GCN) [4] aracılığı ile hızlı ve otomatik bir şekilde yer tabanlı teleskoplara iletilebilmesi sonucu yapılan gözlemlerden GIP'ların 10^{49} – 10^{54} erg mertebesinde büyük enerjileri ile kozmolojik uzaklıklarda kaynaklar olduğu ve şu ana kadar Büyük Patlamadan sonraki en büyük enerji salma olayı oldukları yaygın olarak kabul edilmektedir.

Doğaları henüz bilinmeyen GIP'lar zamansal özelliklerine göre 'uzun' ve 'kısa' süreli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Oluşum mekanizmalarının farklı olduğu düşünülen ve farklı modellerle açıklanan bu iki sınıfta 2 s'den daha uzun süreli olan 'uzun' süreli GIP'lar (LGRB) çoğunlukla kütleli yıldızların bulunduğu bölgeler olan Galaksilerin en parlak bölgelerinde bulunmaktadır [5]. LGRB'ler genellikle $z =$

0.0085 (GRB 980425) ile $z > 8.2$ (GRB 090423) arasındaki uzaklıklarda bulunmaktadır. Bu kaynakların oluşum mekanizmaları Collapsar modeli olarak adlandırılan ve hidrojen zarfını kaybetmiş yaklaşık $10 M_{\odot}$ 'lik bir çekirdeğe sahip, oldukça hızlı dönen Wolf-Rayet yıldızlarının çekirdeğindeki füzyon reaksiyonlarının durması ile kararsızlaşması sonucu birkaç $M_{\odot}$ kütleli bir karadeliğe çökmesi ile açıklanmaktadır. Uzun süreli patlamaların aksine, kısa süreli patlamalar tipik olarak farklı ya da düşük yıldız oluşum özellikleri gösteren galaksilerde görülmektedir bu da onların oluşum mekanizmalarının LGRB'lerden farklı olduğunun göstergesidir. Bu sonuçlar ışığında kısa süreli GIP'lar iki nötron yıldızı ve/veya bir nötron yıldızı ile karadeliğin bir çift yıldız sistemi içerisinde birbirlerine madde aktarırken açısal momentum kaybı sonucunda birbirlerinin üzerine çökmesi ile açıklanmaktadır.

Uluslararası ortaklıklarla Kasım 2004 ve Haziran 2008'de uzaya gönderilen NASA'nın Swift ve Fermi uyduları GIP araştırmalarında yeni bir dönem başlatmıştır. 2008 yılında uzaya fırlatılan Fermi uydusu, GIP'ların anlık yayılım fazlarını çalışmak üzerine tasarlanmış bir uydudur. Fermi uydusu üzerinde bulunan 8 keV–40 MeV enerji aralığında çalışan GBM (Gamma Ray Burst Monitor) ve 20 MeV–300 GeV enerji aralığında çalışan LAT (Large Area Telescope) detektörleri ile kendinden önce gönderilen Swift uydusundan (15–150 keV) çok daha geniş bir enerji aralığında Gama Işın evrenini algılayabilmektedir.

GIP'ların ışık eğrilerinde görülen milisaniyelik bir zaman ölçeğinde hızlı değişkenlikleri onların doğası hakkında önemli ipuçları sağlamaktadır. Zaman ölçeğindeki değişkenliklerin (Δt) ölçülmesiyle, kaynak boyutunun yaklaşık olarak $D \leq c\Delta t$ hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, 2008–2017 yılları arasında Fermi tarafından 30 MeV–300 GeV enerji aralığında gözlenen GIP'ların MacLachlan ve ark. [6] tarafından geliştirilen ve wavelet (dalgacık) tekniğini temel alarak hesaplanan minimum zaman ölçek (Minimum Time Scale: MTS) değerleri elde edilmiştir. Burada minimum zaman ölçeği olarak adlandırılan MTS, patlamadan gelen sinyalin rastgele oluşan ardalın gürültüsüne baskın olduğu en küçük zaman ölçeği olarak adlandırılan süreçtir. MTS değerlerinin hesaplanabilmesi için bu çalışma kapsamında Fermi/LAT uydusu tarafından 30 MeV–300 GeV enerji aralığında tespit edilen GIP'ların öncelikli olarak ışık eğrileri 200 μs çözünürlükte elde edilmiştir.

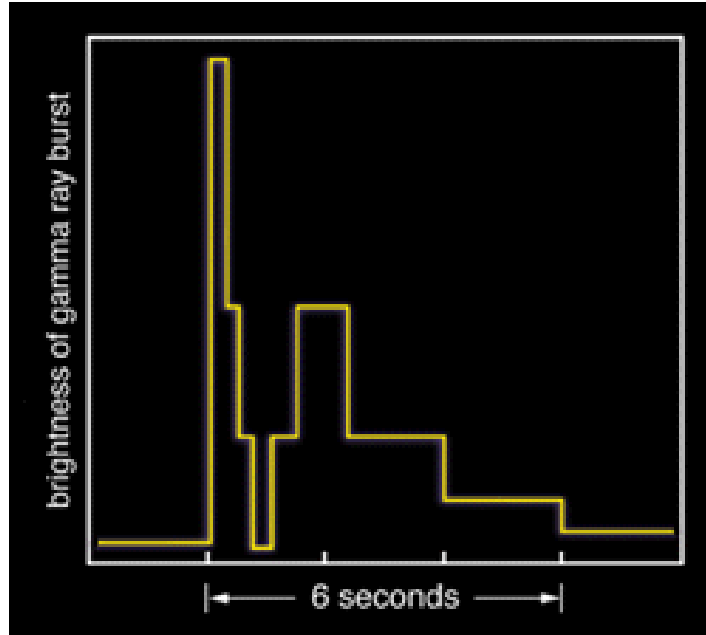
Bunun için Fermi/LAT uydusu için hazırlanan yazılımlar kullanılarak öncelikle patlamanın konumu belirlenmiş olup daha sonra veriler binlenerek ışık eğrisi elde edilmiştir. Bu ışık eğrilerinden wavelet tekniği ile MTS değerleri Fermi/LAT uydusu tarafından tespit edilen patlamalar için hesaplanmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

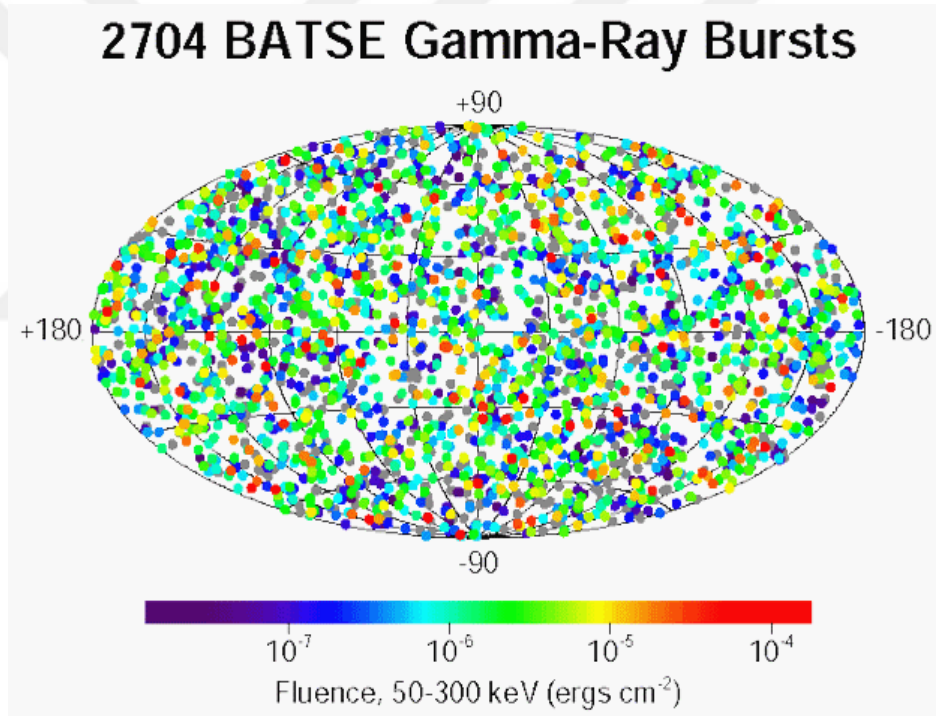
Gama Işın Patlamaları (GIP'lar), evrenin herhangi bir yerinde günde ortalama bir ya da birkaç tane meydana gelen, ilk fazı olan anlık ışınımını birkaç saniye boyunca gama ışınlarında yapan kısa süreli ve çok yüksek enerjili olaylardır. GIP'lar Güneş dâhil olmak üzere evrendeki diğer tüm gama ışın kaynaklarından çok daha yüksek enerjilerde yayınım yaptıkları için Evrendeki en yoğun ve en parlak elektromanyetik olaylar olarak tanımlanmaktadırlar.

Dünya atmosferinin gama ışınlarına karşı geçirgen olmaması nedeniyle, GIP'lar ilk olarak uzaya gönderilen uydular ile keşfedilebilmiştir. GIP'lar, 1960'ların sonunda Sovyetler birliğinin nükleer faaliyetlerini denetlemek üzere Amerika Birleşik Devletleri tarafından askeri amaçla gönderilen Vela uyduları tarafından keşfedilmiştir (Şekil 2.1). Güneş Sistemi'mizin dışından geldiği anlaşılan bu gama ışın patlamaları 1960'ların sonlarındaki keşiflerinden [1,2] günümüze kadar yaklaşık 50 yıllık zaman içerisinde Astrofiziğin en güncel konularından biri haline gelmiş ve bu ilginç olayların doğalarının anlaşılması üzerine şu ana kadar çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.



Şekil 2.1 Vela uydusu tarafından 2 Temmuz 1967 yılında keşfedilen ilk Gama Işın Patlaması [7].

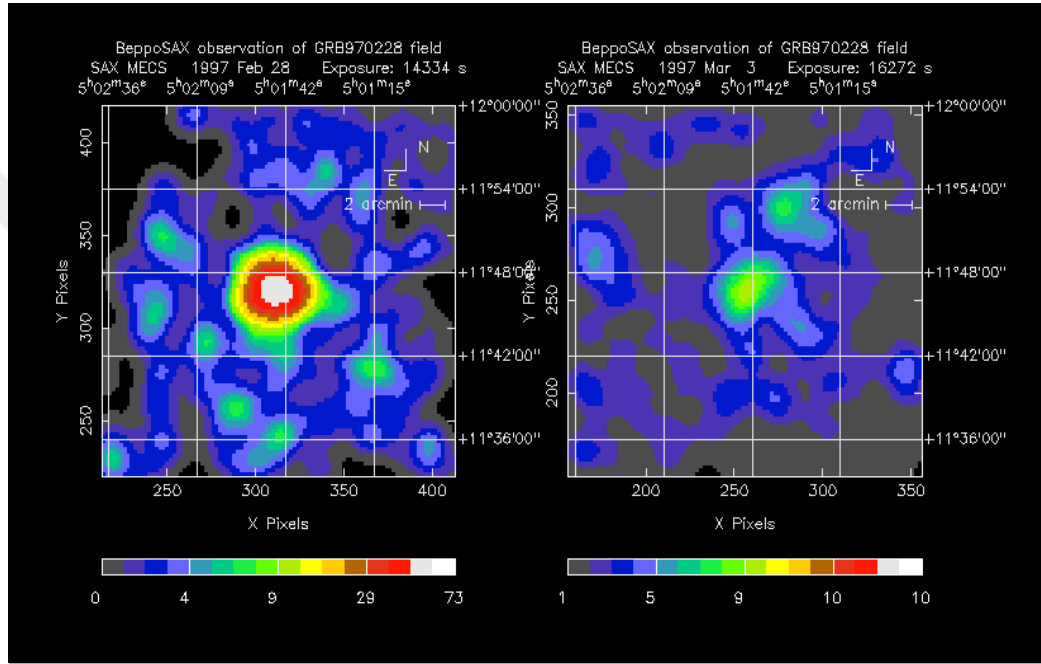
GIP'ların keşfinden sonraki ilk 20 yıllık sürede uzaya gönderilen gama ışın uydularının konum tespiti için yeterli açısal çözünürlüğe sahip olmamaları nedeniyle patlamaların diğer dalga boylarında takip gözlemleri yapılamamış ve kısa süreli yayılım yapan bu ilginç olayların kaynağının anlaşılabilmesi zaman almıştır. 1990 yılında dünya yörüngesine yerleştirilen ve önceki detektörlere göre daha hassas bir açısal çözünürlüğe sahip olan Compton Gama Işın uydusunun BATSE detektörü ile ~ 3000 tane GIP'in konumu tespit edilmiş ve galaktik olmayan bu olayların Evrende düzgün olarak dağılmış oldukları gözlenmiştir (Şekil 2.2) [3]. BATSE tarafından elde edilen veriler ayrıca, GIP'ların 2s'den uzun ve kısa süreli olmak üzere iki şekilde sınıflandırabileceğini göstermiştir [8].



Şekil 2.2 BATSE tarafından gözlenen GIP'ların evrendeki dağılımları [9].

1996 yılında gönderilen BeppoSAX uydusu, [10] 1997 yılında GRB 970228'den gelen sönük X-ışın ardıl ışınımını (Şekil 2.3) tespit etmesi ile GIP'ların konumlarının çok daha hassas bir şekilde tespit edilmesine olanak sağlamıştır. BeppoSAX'dan alınan konum bilgisi ile GRB 970228 patlamadan 21 saat sonra La Palma'da bulunan optik teleskoplarla ilk defa van Paradijs ve ark. [11] tarafından göz-

lenmiştir ve patlamanın olduğu ev sahibi galaksi tanımlanabilmiştir. Patlamadan üç ay sonra Frail & Kulkarni ve ark. [12] tarafından VLA (Very Large Array) ile radyo ardıl ışınımı tespit edilebilmiştir. Bu da ilk defa bir GIP'in farklı dalga boylarında yayınım yaptığıının göstergesi olmuştur. Hassas konum tespitleri ile bu patlamaların optik karşılıklarının bulunması onların kırmızıya kayma değerlerinin ölçülmesini ve bunların galaksi ötesi kökenlerinin doğrulanmasını sağlamıştır.



Şekil 2.3 GRB 970228'in BeppoSAX tarafından 28 Şubat ve 3 Mart 1997 tarihlerinde elde edilen X-ışını görüntüsü [13].

GIP'ların ardıl ışınımalarının keşfedilmesinden sonra yeni olan bir GIP'in konum bilgisinin hızlı bir şekilde diğer gözlem araçlarına iletilmesi amacı ile 1997 yılında GCN kurulmuştur [4]. Gökbilimciler, GCN aracılığıyla uydulardan gelen GIP konum bilgisini hızlı ve otomatik bir şekilde alarak yer tabanlı teleskoplarla patlamaların takip gözlemlerine başlayabilmektedirler. Bu görüntüler mevcut yıldız kataloglarıyla karşılaştırılarak, yeni bir kaynak olup olmadığı tespit edilir. Gözlemlere mümkün olan en kısa sürede başlamak ve ardıl ışınımı sönükleşmeden önce yakalamak patlamaların farklı dalga boylarındaki davranışlarını incelemek için çok önemlidir. Çünkü GIP'ların doğasının farklı yönlerini test etmek ve onları teorik modellerle karşılaştırmak için eş zamanlı çoklu dalga boylu gözlemlere ihtiyaç duyulmakta-

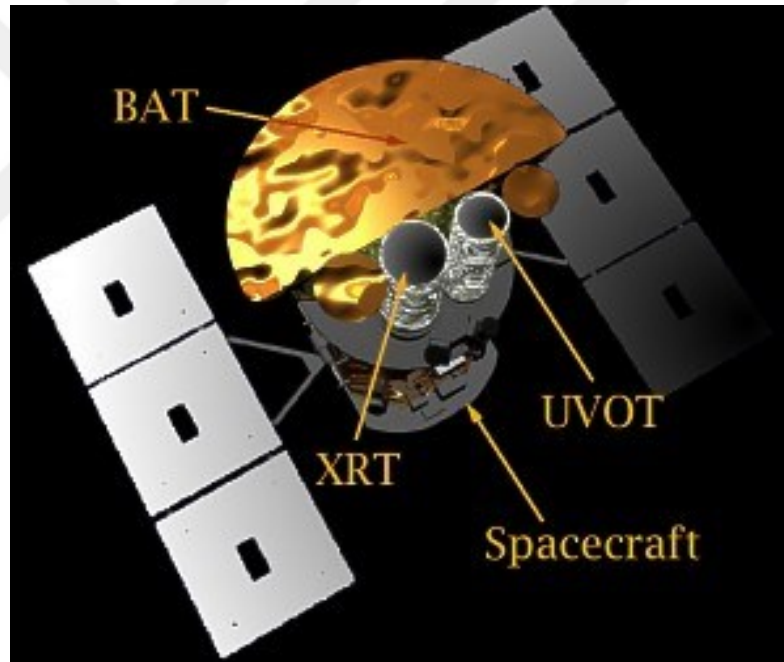
dır. GCN ağı, çok dalga boylu GIP'ların gözlemlerinin belkemiğidir ve takip gözlemlerinin bir GIP'ın uydular tarafından algılanmasından hemen sonra (özellikle Swift uydusunun fırlatılmasıyla çoğunlukla bir dakikadan daha az bir sürede) başlamasını sağlar.

GIP'lar zamansal özelliklerine göre 'uzun' ve 'kısa' süreli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Oluşum mekanizmalarının farklı olduğu düşünülen ve farklı modellerle açıklanan bu iki sınıftan 2'sinden daha uzun süreli olan 'uzun' süreli GIP'lar çoğunlukla kütleli yıldızların yer aldığı Galaksilerin en parlak bölgelerinde bulunmaktadır [5]. LGRB'ler genellikle $z = 0.0085$ (GRB 980425) ile $z > 8.2$ (GRB 090423) arasındaki uzaklıklarda görülmektedir. Bu kaynakların oluşum mekanizmaları, Collapsar modeli olarak adlandırılan ve hidrojen zarfını kaybetmiş yaklaşık $10 M_{\odot}$ 'lik bir çekirdeğe sahip oldukça hızlı dönen Wolf-Rayet yıldızlarının çekirdeğindeki füzyon reaksiyonlarının durması nedeniyle kararsızlaşması sonucu birkaç $M_{\odot}$ kütleli bir karadeliğe çökmesi ile açıklanmaktadır. Uzun süreli patlamaların aksine, kısa süreli patlamalar tipik olarak farklı ya da düşük yıldız oluşum özellikleri gösteren galaksilerde görülmektedir bu da onların oluşum mekanizmalarının LGRB'lerden farklı olduğunun göstergesidir. Bu sonuçlar ışığında kısa süreli GIP'lar iki nötron yıldızı ve/veya bir nötron yıldızı ile karadeliğin bir çift yıldız sistemi içerisinde birbirlerine madde aktarırken açısal momentum kaybı sonucunda birbirlerinin üzerine çökmesi ile açıklanmaktadır.

Bilindiği gibi GIP evrendeki en yüksek enerjili olaylardan birisidir. GIP'lardan neden bu kadar yüksek enerji salınımı (10^{49} – 10^{54} erg) yapıldığını açıklayabilen en yaygın kabul gören model Ateştopu Modeli'dir. Bu model, GIP'lardan bu kısa zaman diliminde ortaya çıkan enerji ve gösterdikleri değişkenlik hakkında bilgi vermeye yardımcı olur [14,15].

Uluslararası ortaklıklarla Kasım 2004 ve Haziran 2008'de uzaya gönderilen NASA'nın Swift ve Fermi uyduları GIP araştırmalarında yeni bir dönem başlatmıştır. 2004 yılı sonlarında özellikle GIP'ların keşfedilmesi için uzaya fırlatılan Swift uydusunda BAT (Burst Alert Telescope), XRT (X-Ray Telesocope) ve UVOT (Ultraviyole and Optical Telescope) detektörleri bulunmaktadır (Şekil 2.4). BAT teleskobu, 15–150 keV enerji aralığında sert X-ışınlarındaki patlamaların hassas bir şekilde ko-

numlarını belirleyerek GCN aracılığı ile yerdeki teleskoplara iletmektedir. BAT ile yılda yaklaşık 100 tane GIP'in konum bilgisi işlenmektedir. Swift'te bulunan XRT teleskobu ise hemen BAT tarafından tespit edilen GIP'in konumuna otomatik olarak çok kısa bir sürede yönlendirilerek 0.3–10 keV enerjilerindeki X-ışın ardıl ışınımının pozisyonunu 5 yay-saniyelik kesinlikte tespit eder. Bu yeni konum bilgileri genellikle bir dakikalık bir zamanda yer tabanlı teleskoplara gönderilir ve birkaç dakika sonra da Swift'te bulunan diğer bir teleskop olan UVOT ile UV ve optik dalga boylarında patlamanın ardıl ışınımı gözlenmeye devam edilir. Swift, gönderildiği 2004 yılından bu yana yüzlerce GIP'in yüksek kaliteli ve çoklu bantlı ardıl ışınımının tespit edilmesi ile GIP'ların farklı fiziksel özelliklerinin anlaşılmasına ve GIP fiziğinde yeni bir dönem başlamasına olanak sağlamıştır.



Şekil 2.4 Swift uydusunda bulunan ve farklı enerjilerde GIP gözlemi yapan 3 detektörün şematik gösterimi [16].

2008 yılında uzaya fırlatılan Fermi uydusu, GIP'ların anlık yayılım fazlarını çalışmak üzerine tasarlanmış bir uydudur. Fermi uydusu üzerinde bulunan, 8 keV–40 MeV enerji aralığında çalışan GBM ve 20 MeV–300 GeV enerji aralığında çalışan LAT detektörleri ile kendinden önce gönderilen Swift uydusundan (15–150 keV)

çok daha geniş bir enerji aralığında Gama Işın evrenini algılayabilmektedir. LAT, yılda ortalama 8 tane patlama tespit etmektedir. LAT tarafında 2008 yılından bu yana yüksek enerjili yayınımlı yaptığı tespit edilen GIP'lara örnek olarak, GRB 080916C (8.8×10^{54} erg), GRB 090510 (1.1×10^{53} erg), GRB 090902B (3.5×10^{54} erg) ve GRB 090926A (7.54×10^{53} erg) verilebilir. Fermi uydusu ile yapılan GIP gözlemlerinden elde edilen sonuçlar, BATSE tarafından da daha önce gözlemlendiği gibi, GIP'ların çoğunun kırık güç yasası (broken power-law) tayfına sahip olduğunu göstermektedir. Çok yüksek enerjili yayınımlı yaptığı tespit edilen birkaç GIP'ın, kırık güç yasası tayfına ek olarak ekstra bir yüksek enerji bileşeninin olduğuna dair kanıtlar yine Fermi uydusu ile elde edilen gözlemler sonucu bulunmuştur.

GIP'ların ışık eğrilerinde görülen milisaniyelik bir zaman ölçeğinde hızlı değişkenlikleri onların doğası hakkında önemli ipuçları sağlamaktadır. Zaman ölçeğindeki değişkenliklerin (Δt) ölçülmesiyle, kaynak boyutunun $D \leq c\Delta t$ şeklinde yaklaşık olarak hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda, ilk olarak MacLachlan ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmalar sonucunda uzun ve kısa süreli GIP'lar için wavelet tekniğini temel alınarak hesaplanan minimum zaman ölçeği değerlerinin kendi içlerinde benzerlik gösterdikleri görülmüştür. Burada minimum zaman ölçeği olarak adlandırılan MTS, patlamadan gelen sinyalin rastgele oluşan ardalana gürültüsüne baskın olduğu en küçük zaman ölçeği olarak adlandırılan süreçtir.

Sonraki yıllarda, Golkhou ve ark. [17] Swift-BAT tarafından tespit edilen patlamalar için 0.01–1 s'lik tipik bir değişkenlik zaman ölçeği hesapladılar. Benzer bir değişkenlik zaman ölçeği, Golkhou ve ark. [18] tarafından Fermi'deki Gama Işını Patlama Monitörü ile de tespit edilmiştir. Golkhou & Butler [17] ve Golkhou ve ark. [18], Swift ve Fermi'den elde edilen geniş bir GIP örneği için MTS'i örneklem sayısının belirli aralıklarda zaman ölçeğine dönüştürüldüğü (non-decimated) Haar dalgacıklarına dayanan yapı-fonksiyonu yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Ayrıca Sonbas ve ark. [19] Swift ve Fermi GIP'ları için anlık yayınımların için elde edilen MTS ve tayfsal gecikme lorentz faktörü (Γ) ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Küçük Γ değerleri için, değişkenlik zaman ölçeği sığ (plato) bir bölge sergiler. Büyük Γ değerleri için ise, değişkenlik zaman ölçeği $\Gamma(dT \propto \Gamma^{-4.05 \pm 0.64})$ 'in bir fonksiyonu olarak azalma gösterir. Daha sonra Wu ve ark. [20] GIP'larda bu korelasyonu blazarlar

için de elde etmiş ve her iki grup için $MTS \propto \Gamma^{-4.7 \pm 0.3}$ ile ifade edilebilen ortak bir korelasyon bulmuştur.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Gama Işın Patlamaları

100 keV–1 MeV arasındaki yüksek enerjilerde yayılım yapan Gama ışını patlamaları, Vela uyduları tarafından altmışlı yılların sonlarında keşfedilmiştir. Patlamaların keşfinin 1973 yılında Klebesadel ve ark. [1] tarafından açıklanmasının ardından bu gizemli olayların kökenlerini açıklamak için çok sayıda teori öne sürülmüştür. GIP'lar üzerine 50 yıldan da uzun zamandır farklı dalga boylarında geniş kapsamlı çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen bu kaynakların doğası hala gizemini korumaktadır.

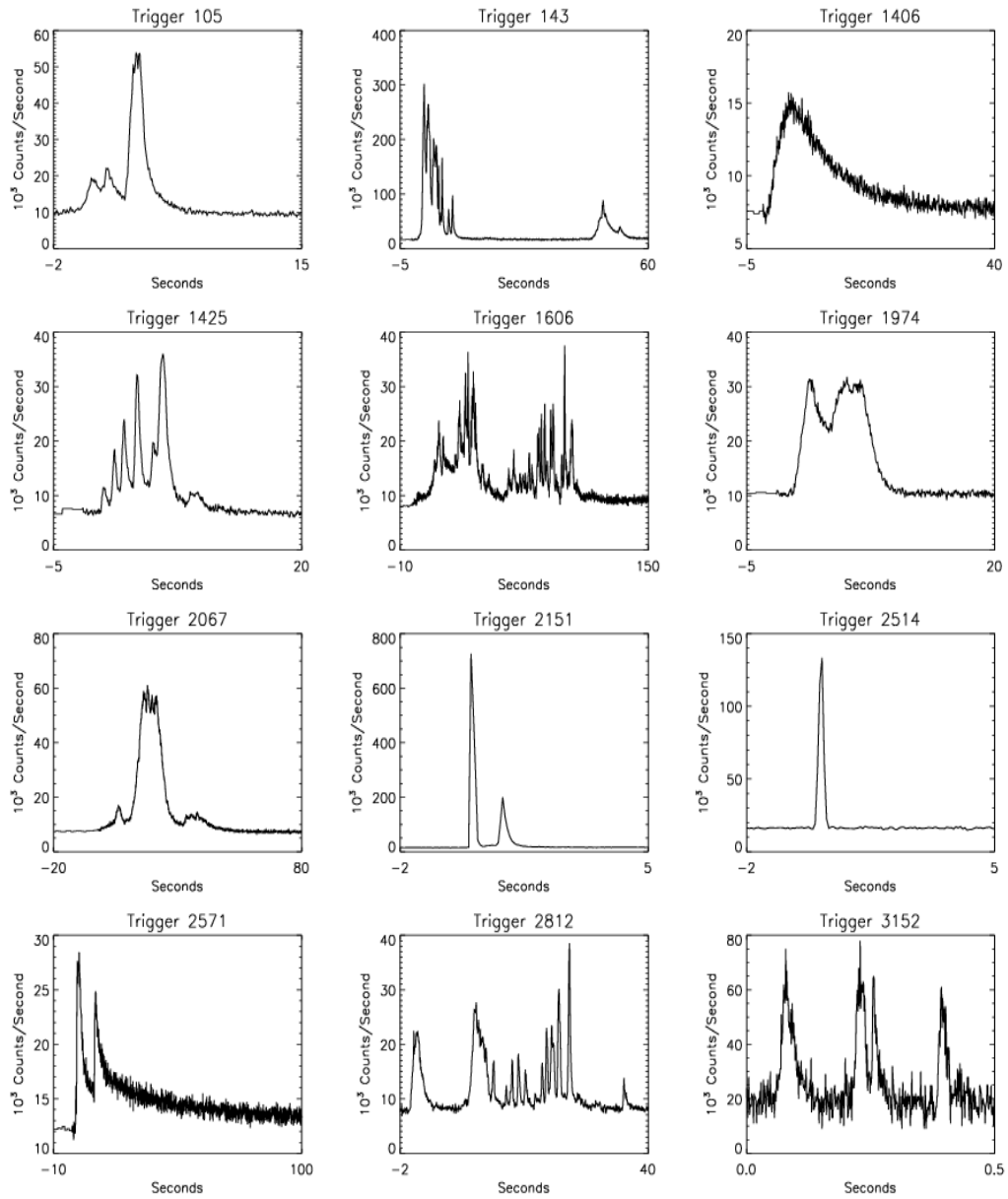
COMPTON-GRO'da bulunan BATSE detektörünün 1991 yılında gözlemlerine başlaması GIP'ların doğaları hakkındaki o güne kadar kabul gören temel fikirlerin değişmesine yol açmıştır. Bunlardan en önemlisi BATSE gözlemlerinden GIP'ların izotropik dağılımlarının bulunması ile bu kaynaklar ile ilgili o güne kadar en çok kabul gören teorilerin başında olan galaktik disk nötron yıldızı modelinin geçerliliğini yitirmesidir. 1997'de Beppo-SAX uydusu tarafından ilk defa bir GIP'in [10] ardıl ışınımının X-ışın dalga boyunda tespit edilebilmesi ile birlikte yer tabanlı optik teleskoplarla da ilk defa GIP'ların optik karşılıkları takip edilmeye başlanmıştır. Böylece bu cisimlerin kozmolojik mesafelerde olduğu anlaşılmış ve bu tarihten itibaren GIP'ların kozmolojik mesafelerde galaksi ötesi kaynaklar olduğu kabul edilmiştir [3]. GIP'ların galaksi ötesi kaynaklar olduğunun bulunması ve bu kaynakların ışıma güçlerinin $\sim 10^{51}$ – 10^{53} erg aralığında olması, onların Evrendeki en yüksek enerjili patlamalar olduklarını göstermiştir.

3.2. GIP Anlık Yayınımı

3.2.1 GIP Işık Eğrileri

GIP'lar bir patlamadan diğerine büyük ölçüde değişkenlik gösteren karmaşık ve düzensiz bir zaman profiline sahiptir. GIP'lar, farklı süreler, genlikler ve birçok

düzensiz atım yapıları gösteren oldukça karmaşık ışık eğrilerine sahiptirler (Şekil 3.1). Bazı patlamalar hızlı artan ve eksponansiyel azalan (FRED; Fast Rise and Exponential Decay) yapı gösterirken bazı patlamalar da basit fonksiyonlarla tanımlanması zor olan üst üste binen yapılar gösterir. Swift uydusunun yaptığı gözlemler sonucunda GIP'ların nadiren de olsa ön patlama (precursor) gösterdiği gözlemlenmiştir. GIP'ların puls yapılarının analiz edilmesi ile uzun ve kısa patlamaların farklı belirgin puls özelliklerine sahip olduğu bulunmuştur [21].



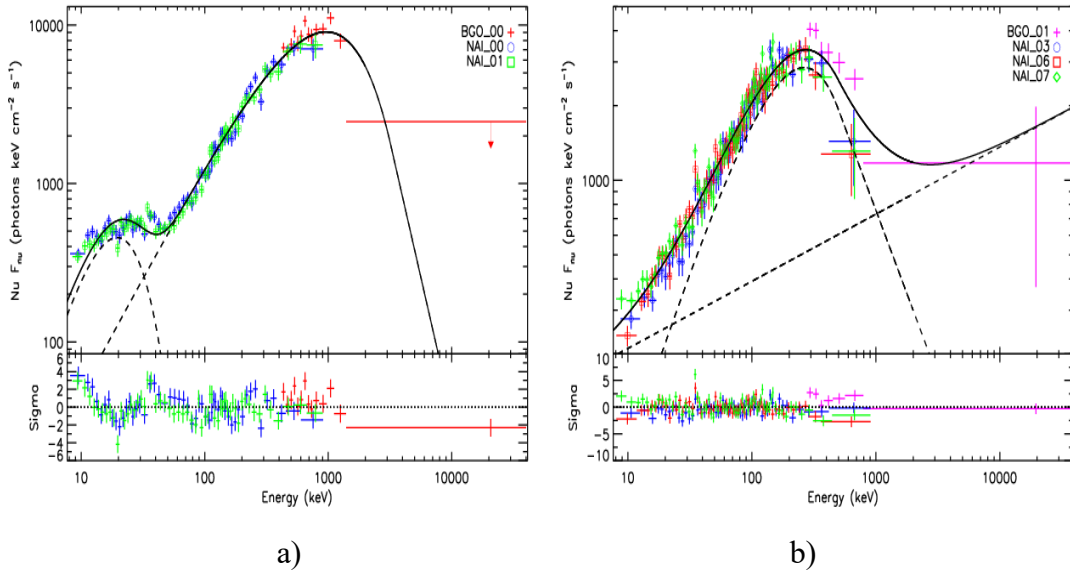
Şekil 3.1 BATSE tarafından gözlemlenen farklı yapı gösteren GIP ışık eğrileri [22].

3.2.2 GIP Tayfı

GIP'ların enerji tayfları birkaç yüz keV aralığında termal olmayan bir yayınımla karakterize edilirler. Tayfların çoğunlukla patlamadan patlamaya farklılık göstermesinin yanısıra bazı durumlarda zaman içinde bir patlama içinde önemli ölçüde değişebilir (Şekil 3. 2). GIP'ların tayfları genel olarak Band fonksiyonu ile iyi uyum sağlamaktadır [23]. Band fonksiyonu belirli bir kesilim enerjisinde $((\alpha - \beta) E_0)$ düzgün şekilde birleştirilen iki güç yasasından (PL) oluşur ve (3.1) denkleminde gösterilmektedir.

$$N(\nu) = \begin{cases} (h\nu)^\alpha \exp\left(-\frac{h\nu}{E_0}\right) & \text{for } h\nu < H; \\ [(\alpha - \beta)E_0]^{(\alpha - \beta)} (h\nu)^\beta \times \exp(\beta - \alpha), & \text{for } h\nu > H, \end{cases} \quad (3.1)$$

burada, $H \equiv (\alpha - \beta) E_0$ olarak tanımlanmaktadır. Bu tayfsal şekli öngören özel bir teorik model olmasa da bu fonksiyon gözlemlenen tayfların çoğuna mükemmel uyum sağlar.



Şekil 3.2 GRB 090902B patlamasının zaman çözünürlüklü tayfı a) termal+Band b) Band+PL ile fit edilmiştir [24].

Çok sayıda GIP için yapılan çalışmalar ortalama 200 keV'lik bir E_{pik} değeri için α ve β değerinin dağılımlarının sırasıyla ~ -1 ve ~ -2 'de ortalama bir değer

verdiğini göstermiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar bazı patlamaların tayfinin, ya sadece bir kara cisim (termal) yayılımı (BB; blackbody) ya da BB'ye ek olarak termal olmayan bir Power-law (PL) ile tanımlanabileceğini göstermiştir (Şekil 3.2) [24,25,26].

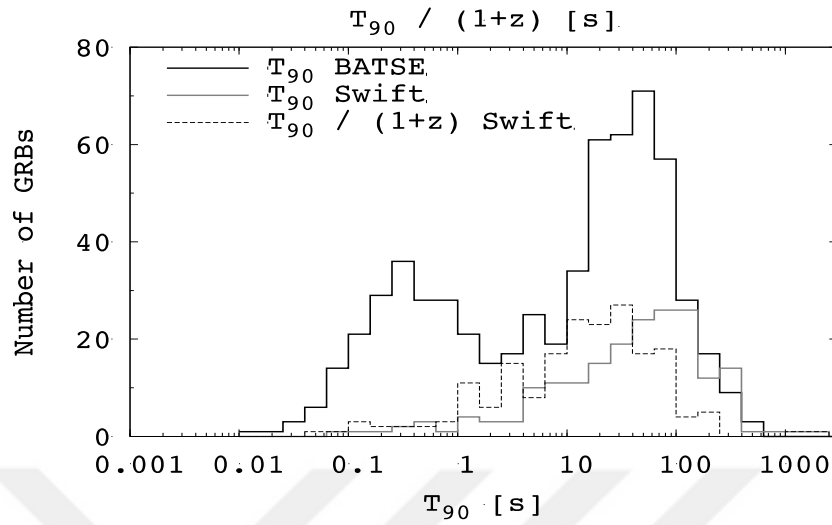
3.2.3 GIP Sınıflandırılması ve Olası Ata Modelleri

BATSE detektörünün gözlem aralığı olan 50 keV–300 keV bandında alınan GIP verilerinden gelen yayınımların %90'lık kesrine karşılık gelen T_{90} süreleri kullanılarak kısa ve uzun GIP'lar olarak sınıflandırılmışlardır. Bu tür bir sınıflandırma sonraki yıllarda Swift ve Fermi gibi farklı uydulardan alınan veriler ile de doğrulanmıştır (Şekil 3.3). GIP'ların T_{90} sürelerinin dağılımı kısa süreli ($T_{90} < 2s$) ve uzun süreli ($T_{90} > 2s$) olmak üzere iki kutuplu bir yapı göstermektedir [8,27,28].

BATSE, Swift ve en son olarak Fermi uydularından alınan veriler temel alınarak kısa ve uzun süreli GIP'ların yayılım özelliklerine ilişkin yapılan çalışmalar bu iki farklı sınıftaki patlamaların anlık yayılım özelliklerindeki farklılıkların ortaya konulmasını sağlamıştır. Bunlardan en önemlisi kısa süreli GIP'ların uzun süreli GIP'lardan daha sert bir tayfa sahip olmalarıdır [29,30,31,32].

Kısa ve uzun GIP'lar arasındaki bir başka fark ise kısa süreli GIP'larda görülen tayfsal gecikme $\sim 0 (\pm 20)$ s iken uzun süreli patlamalarda bu değer genellikle ≥ 0 s (yani, sert-yumuşak bir evrim sergilerler) olarak bulunmaktadır [33,34,35]. Kısa ve uzun GIP'lar arasındaki tayfsal gecikmelerde görülen bu fark onların anlık yayınımlarının ayırt edilmesinde önemli bir faktör olarak kullanılmaktadır [36].

Son olarak, kısa GIP'ların $E_p - E_{\gamma,iso}$ düzleminde uzun süreli patlamalardan farklı bir bölgede bulunduğu yani kısa süreli patlamalar için E_p değerine karşılık gelen $E_{\gamma,iso}$ değerinin uzun GIP'lara göre düşük değerler gösterdiği gözlemlenmiştir [30,37,38,39]. Fakat uzun süreli GIP'ların yaklaşık ilk 2 saniyelik kısmına bakıldığında kısa süreli patlamalarla benzer ilişki içinde olduğu görülmekle beraber önümüzdeki zamanlarda bu konuda ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekmektedir [40].

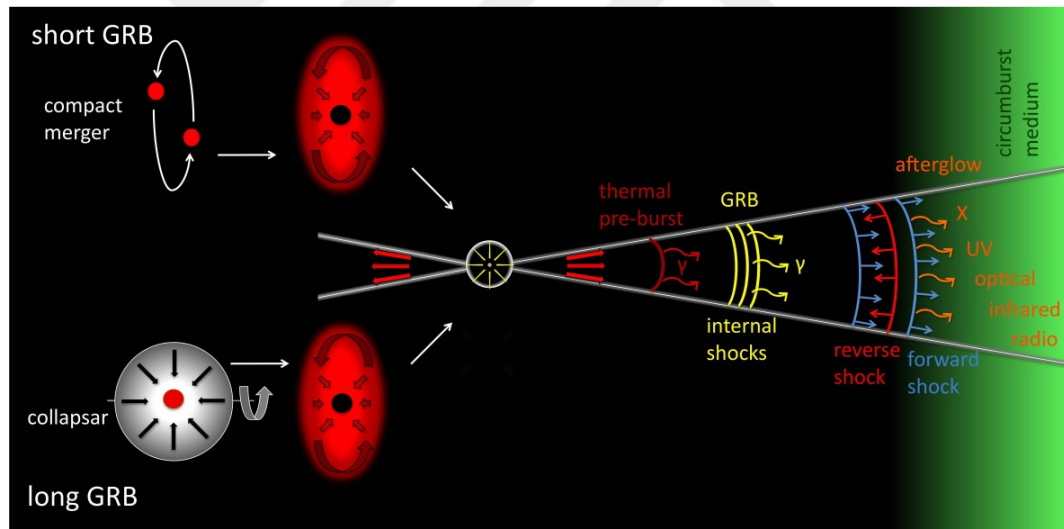


Şekil 3.3 Swift ve BATSE tarafından tespit edilen GIP'ların T_{90} süre dağılımları. $T_{90} < 2$ s kısa süreli patlamalar ve $T_{90} > 2$ s uzun süreli patlamalar olarak sınıflandırılmaktadır. Kesikli çizgiler kırmızıya kayma ile düzeltilmiş T_{90} değerini vermektedir [41].

Bütün bu gözlemsel farklılıkların incelenmesi ile kısa ve uzun süreli GIP'ları hangi astrofiziksel nesnelerin ürettiği, fiziksel olarak onların oluşumuna neyin sebep olduğu, neyin harekete geçtiği ve altlarında yatan fiziksel mekanizmaların anlaşılması için bu kaynakların olası ataları üzerine modeller üretilmesi gerekliliğini doğurmuştur. GIP'ların ataları için en kabul edilen modeller uzun GIP'lar için collapsar (çökertici) ve kısa GIP'lar için de iki yoğun cismin birleşmesi modelidir (Şekil 3.4). Uzun patlamalar için önerilen büyük yıldızların çöküşü ile kısa patlamalar için önerilen iki yoğun cismin birleşmesi modelleri kesin bir sınıflandırma olmasa da günümüzde en çok kabul gören modellerdir. Collapsar modeli, hidrojen zarfını kaybetmiş, yaklaşık $10 M_{\odot}$ 'lik bir çekirdeğe sahip, Güneş boyutlarında devasa hızla dönen Wolf-Rayet yıldızının çekirdekteki füzyon reaksiyonları durduğunda, kararsızlaşması ve birkaç $M_{\odot}$ kütleli bir karadeliğe çökmesidir. Eğer collapsar modeli ile uzun süreli GIP'lar üretiliyorsa bu patlamaların yoğun yıldız oluşum bölgelerinde bulunması beklenir. Gerçekten de GIP'ların ev sahibi galaksileri ve galaksilerin içindeki konumlarının ayrıntılı gözlemleri onların mavi cüce galaksilerin yıldız oluşum bölgelerinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra uzun GIP'ların hem fotometrik hem de tayfsal gözlemlerine bakıldığında onların Tip Ic süpernovalar ile ilişkili ol-

duğunun görülmesi bu patlamaların büyük kütleli yıldızların ölümünden kaynaklandığının doğrulanmasına yani collapsar modelinin yaygın olarak kabul görmesine neden olmuştur [41,42,43,44,45,46,47].

Kısa süreli GIP'lar için önerilen iki yoğun cismin birleşmesi modeli iki nötron yıldızı ve/veya bir nötron yıldızı (NY) ile karadeliğin (KD) bir çift yıldız sistemi içerisinde birbirlerine madde aktarırken açısal momentum kaybı sonucunda birbirlerinin üzerine çökmesidir. NY-NY birleşmesi modelinde sonuçta bir yığılma diskiyle çevrili bir kara delik oluşur. NY-KD birleşmesi, nötron yıldızı karadeliğin ufku dışında gelgitle bozulursa aynı yapılandırmaya yol açabilir. Bu model son zamanlarda üzerine çokça çalışılan gelişmiş LIGO/VIRGO detektörleri ile NY-NY birleşmeleri için yaklaşık 200 Mpc'ye kadar tespit edilebilen güçlü kütle çekimsel dalganın tespit edilmesiyle gözlemsel olarak da kanıtlanmıştır [48,49].



Şekil 3.4 Kısa ve uzun süreli GIP'lar için ata modelleri solda verilmektedir. Ateştopu modeli ile γ ışını ve ardıl ışınlımların oluşumu sağda verilmektedir [41].

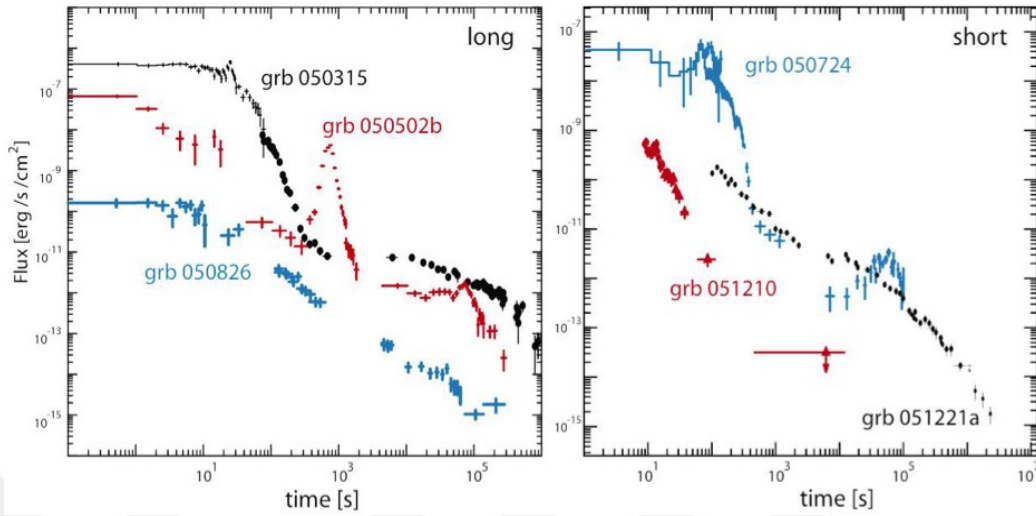
3.3. GIP Ardıl Işınımı

28 Şubat 1997'de İtalyan-Hollanda uydusu BeppoSAX tarafından GRB 970228'in X-ışınlarında karşılığının gözlenmesi GIP fiziği için çok önemli bir gelişme olmuştur. Patlamaların yay-dakikası (X-ışınlarında) ve yay-saniye ölçeğinde (optik ve radyo dalgalarında) konumlarının lokalizasyonu, ardıl ışınlım ve ev sahibi ga-

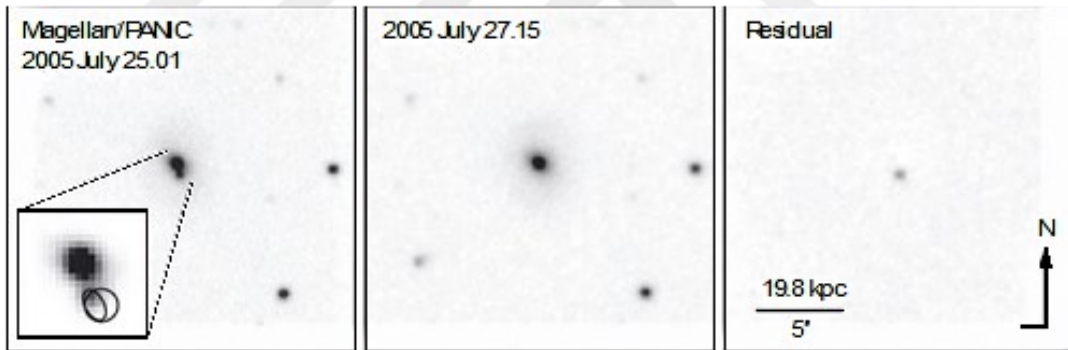
laksilerin tayfsal ölçümleri ile kırmızıya kayma değerlerinin elde edilmesine dolayısıyla patlamaların kozmolojik bir köken gösterdiğinin bulunmasını sağlamıştır [50,51]. O tarihten sonra BeppoSAX, HETE-2 ve Swift uydularının hızlı bir şekilde kaynağa yönelebilme özellikleri sayesinde, X-ışını, yakın kızılötesi, optik ve radyo bölgede çok sayıda GIP'in ardışık gözlemleri yapılabilmiş ve ev sahibi galaksileri belirlenebilmiştir.

Patlama olduktan hemen sonra tespit edilen X-ışınlarındaki ardıl ışınlama ışık eğrilerinin birçoğu üç farklı güç yasası ile tanımlanabilen kanonik bir davranış gösterir (Şekil 3.5). Anlık yayınımdan hemen sonra $\alpha > 3$ olduğunda $t^{-\alpha}$ parlak hızlı düşüş evresini genellikle güç yasası indeksinde bir değişiklik ile birlikte dikten sağa doğru bir geçiş izler. Dik bozunma aşaması iyi anlaşılmamıştır, ancak yüksek enlemlerdeki anlık yayınımdan kaynaklandığına inanılmaktadır [52,53,54]. Patlamaların X-ışın ışık eğrilerinde ani parlama (flare) yapıları da gözlenmektedir. Hızlı yükselme ve bozulma, aynı patlamadaki çoklu ani parlamalar ve bu parlamaların akılarının anlık yayınımla karşılaştırılabilir olması, bu parlamaların genellikle merkezi motorla aynı mekanizmadan kaynaklandığını düşündürmektedir.

Ardıl ışınlama gözlemleri, göreceli genişleme [55,56], açılma açısı $\sim 3-10^\circ$ olan jet kolimasyonu [57,58,59], $\sim 10^{51}$ erg'lik bir enerji ölçeği [59,60,61] ve patlama yoğunluğunun tipik olarak $\sim 1-10 \text{ cm}^{-3}$ [62,63,64] olduğuna dair gözlemsel kanıtlar sağlamıştır. Ayrıca uzun GIP'ların hem fotometrik hem de tayfsal gözlemleri ile Tip Ic süpernovalar ile ilişkili olduğu bulunmuştur [42,43,44,45,46]. Kısa süreli GIP'ların ardıl ışınlamalarının ilk keşfinden sonraki on yıl içinde Swift ve diğer gama ışınlama uyduları tarafından 70'den fazla kısa süreli GIP'in X-ışını ve optik ve birkaçının da radyo ardıl ışınlamaları keşfedilmiştir. Ardıl ışınlamaların gözlenmesiyle patlamaların konumlarının kesin olarak tespiti onların yaklaşık olarak 40 tanesinin ev sahibi galaksinin tanımlanmasını sağlamış Şekil 3.6'da ve böylece kısa süreli GIP'ların ev sahibi galaksileri içerisindeki yerleri hakkında çalışmalara olanak sağlamıştır.



Şekil 3.5 Uzun ve kısa süreli GIP'ların X-ışın ardıl ışınlamalarının farklı davranışlarının temsili örnekleri [65].



a)

b)

c)

Şekil 3.6 Kısa süreli GRB 050724'nün ardıl ışınlamaları ve ev sahibi galaksisinin yakın kızılötesi görüntüleri, a) 0.49 gün b) patlama sonrası 2.63 gün, ve c) eliptik bir galaksinin dış kısımlarında sönen ardıl ışınlamaların görüntüsü. Şekil a) da kare içinde Chandra tarafından tespit edilen X-ışın ardıl ışınlamalarının (daire) ve VLA (Very Large Array) tarafından tespit edilen radyo ardıl ışınlamalarının (elips) konumları gösterilmektedir [41].

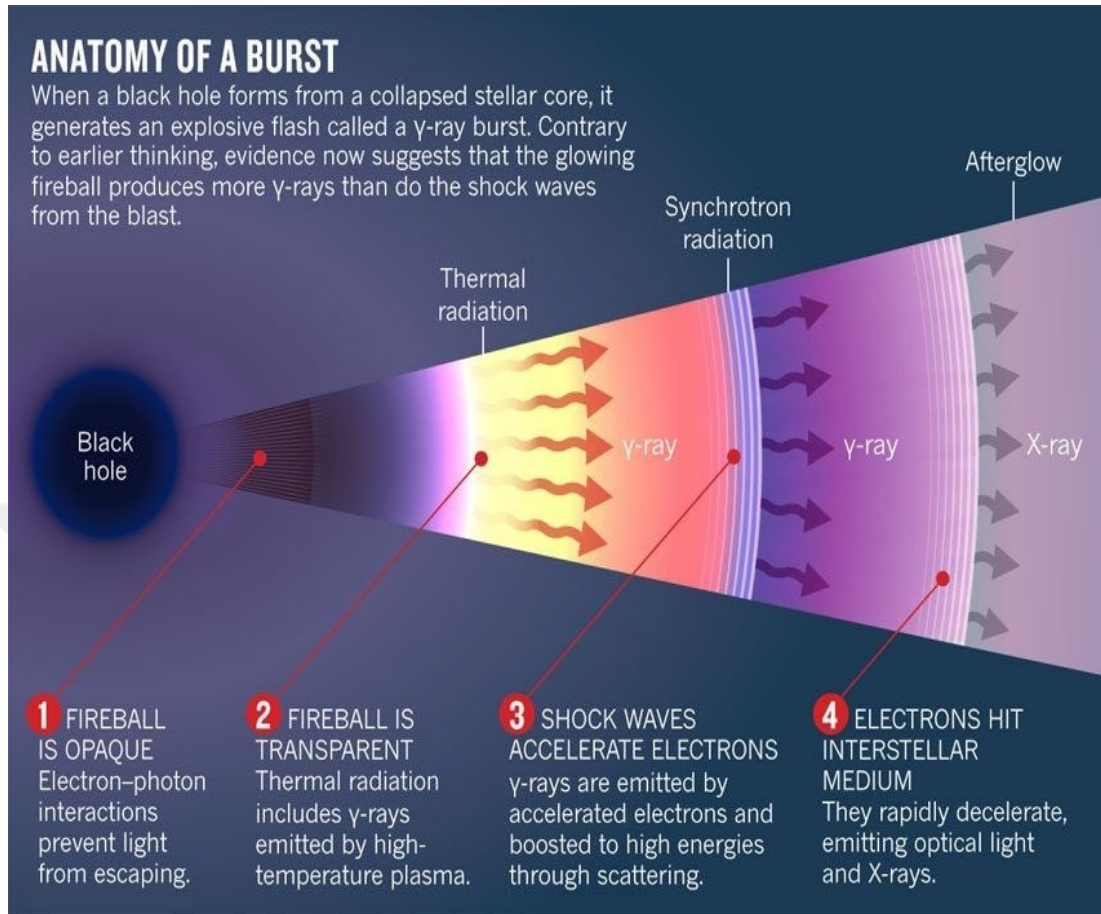
3.4. Ateş Topu Şok Modeli

Kütleli yıldızların hızla içe çökmesi ile oluştuğu düşünülen GIP'lar için önerilen farklı modeller içinden son kırk yılın en popüler olanı ateştopu şok modeli olmuştur. Ateştopu şok modeli, elektron, pozitron ve gama ışınlarından oluşan enerji yu-

mağının kendi dışındaki maddeyi iterek büyümesi fikrine dayanır. Ateştopu modelinde hem anlık yayınımlı (prompt emission) hem de GIP'dan sonra tespit edilen ardıl ışınlamayı açıklamak için iki farklı şok dalgası modeli kullanılmaktadır. Ateştopu modelindeki ultrarelativistik enerji, içinde az sayıda baryon bulunduran optik olarak ince materyalden oluşmaktadır. Esasen, bir GIP olayı sırasında merkezi motor, optik kalınlık ve iç motorun kompaktlığından (sıkılığından/yoğunluğundan) bir termal profilin olmaması nedeniyle algılanamamaktadır ve çözölmeyi bekleyen konuların başında gelmektedir (Şekil 3.7).

Ateştopu şok modeli, GIP'larda gözlenen termal olmayan yayının kaynağının relativistik şoklar olduğu fikrine dayanır. Ateştopunun termal enerjisinin bir kısmı daha sonra iç ve/veya dış şoklar yoluyla parçacıkların kinetik enerjisine dönüştürölür. Çok yüksek enerjilere hızlanan bu parçacıklar, geniş bir frekans aralığında gözlemlenebilen ve termal olmayan (Sinkrotron) radyasyonu yayar.

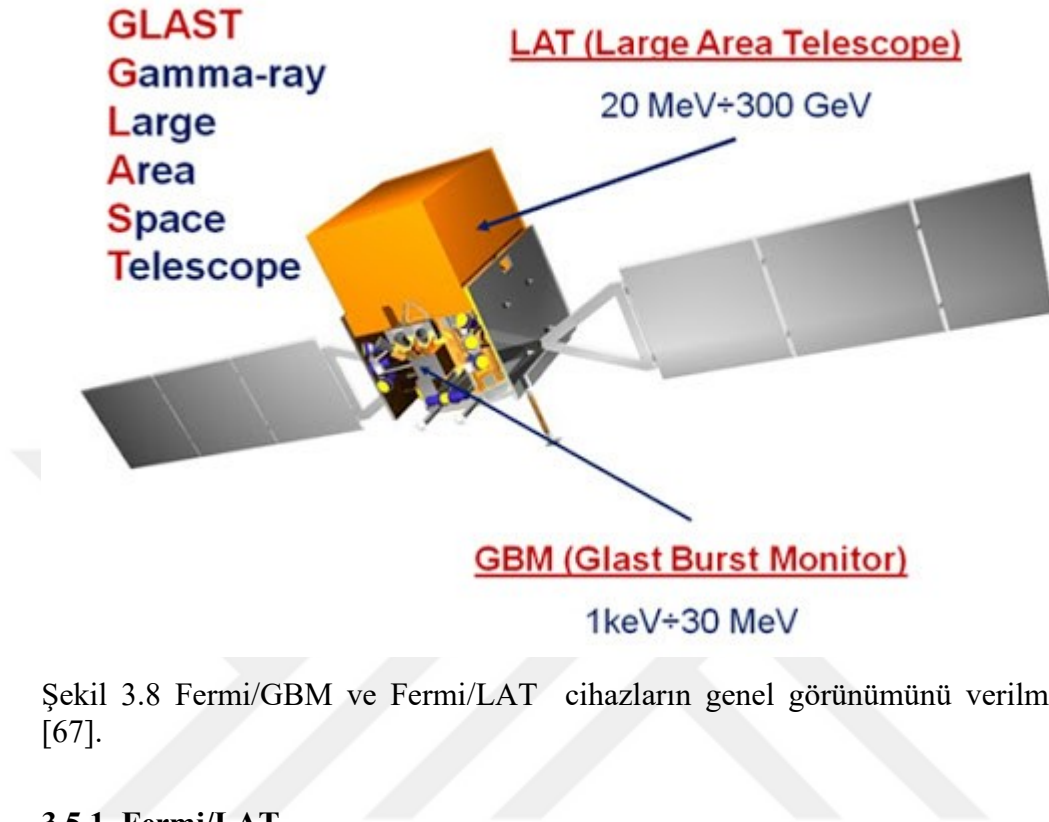
Ateştopunun şok kaynağının dış çevresindeki ortam olduğu düşüncesine dayanan "dış şoklar", patlamanın çoklu dalga boyu ardıl ışınlamayı oluşturmaktadır. Üretilen dış şok tipik olarak ileri şoktur. Ancak ilerleyen plazma zayıf bir şekilde manyetize olmuşsa ateştopu çevredeki ortamla çarpışır ve kaynağa doğru giden ve ters şok adı verilen ikincil bir şok oluşturlar. Merkezi motordan zamanla değişen madde akışı nedeniyle hızlı hareket eden ateştopunun içinde gerçekleşen şok 'iç şok' olarak adlandırılır. Zamanla değişen bu madde akışı farklı Lorentz faktörlerine sahip kabuklar oluşturur. Hızlı hareket eden kabuğun yavaş hareket eden kabukla çarpışması iç şoklar yaratır. Ateştopu şok modeli şematik olarak Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 İç ve dış şokların oluşumunu gösteren ateştopu şok modeli [66].

3.5. FERMİ Uydusu

Haziran 2008’de yörüngeye taşınan Fermi uydusu Ağustos 2008 başlarında ilk gözlemlerini yapmaya başlamıştır. Uyduda Gamma ışını Patlama Monitörü (GBM) ve Geniş Alan Teleskopu (LAT) olmak üzere iki adet detektör bulunmaktadır (Şekil 3.8). GBM, 12 sodyum iyodür (NaI) detektörü ve iki bizmut germanat (BGO) detektöründen oluşan tüm gökyüzü monitörüdür. 8 keV–1 MeV (NaI detektörleri) ve 150 keV–30 MeV (BGO detektörleri) enerji aralığında hassas olan GBM, GIP’ları tespit eder ve konumlarını $\sim 3^\circ - 4^\circ$ doğrulukla belirler. GBM, $\sim 16\%$ ’sı kısa patlama olmak üzere yılda ortalama 240 tane GIP tespit etmektedir. Bu GIP’ların yaklaşık yarısı LAT görüş alanında meydana gelir, bunların $\sim 10\%$ ’unun 100 MeV’nin üzerinde yayılım yaptığı belirlenmiştir.

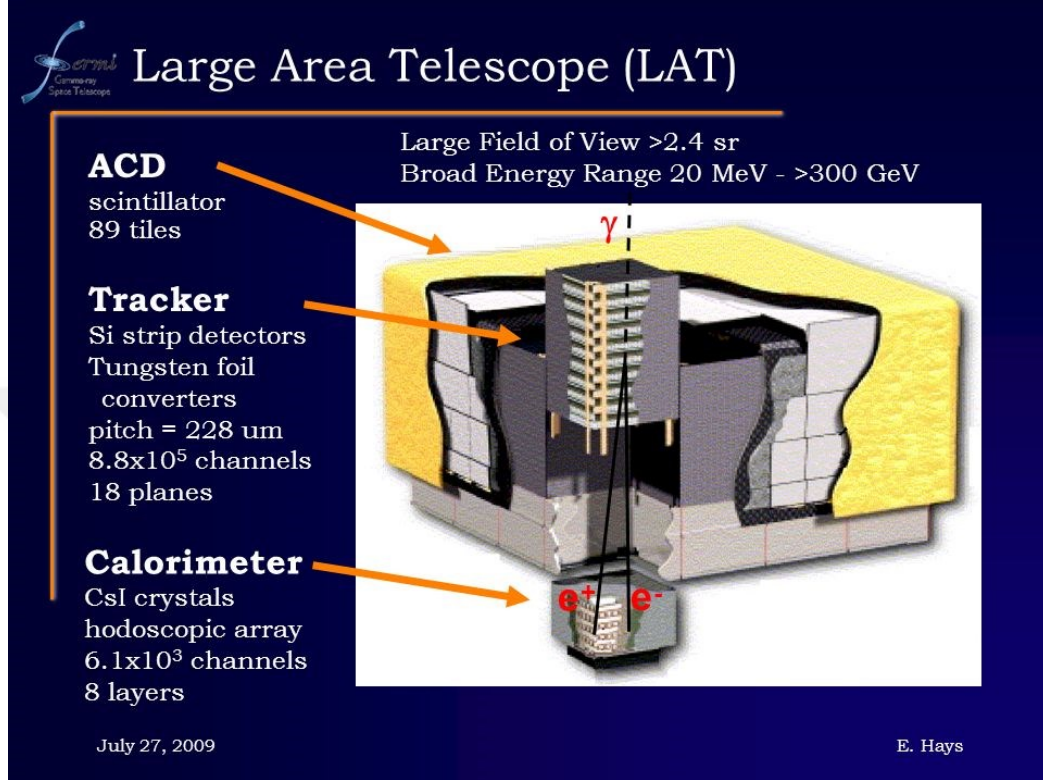


Şekil 3.8 Fermi/GBM ve Fermi/LAT cihazların genel görünümünü verilmektedir [67].

3.5.1. Fermi/LAT

LAT, 20 MeV ile 300 GeV enerji aralığını kapsayan çift oluşum prensibi ile çalışan bir Gama Işın teleskopudur (Şekil 3.9). LAT, 1 GeV’de 2,4 steradyan geniş bir görüş alanına, geniş bir enerji aralığına ve her bir gözlem için <50 s gibi düşük bir deadtime (ölü zaman) ve tüm enerjilerde geniş bir etkin alana sahiptir. EGRET (Energetic Gamma Ray Experiment) uydusu ile karşılaştırıldığında sahip olduğu özellikleri LAT detektörünün çok daha fazla sayıda GIP olayı tespit etmesi ve yüksek enerjili yayınımaların zamansal ve tayfsal özelliklerinin çok daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. LAT yılda ortalama 14 tane GIP tespit etmektedir. GBM tarafından tespit edilen GIP’ların yaklaşık yarısının LAT görüş alanı içine düştüğü göz önüne alındığında, LAT, GBM tarafından tespit edilen patlamaların ~%12’sini gözlemlemiştir. İlk 2 yıllık gözlemlerde, GIP verilerinin analizi 100 MeV’den daha büyük enerjiye sahip fotonlarla sınırlıyken, 2010 yılında 45 GIP için 30 ve 100 MeV arasındaki dü-

şük enerjili sinyal LLE (LAT low-energy) adı verilen bir teknik ile analiz edilerek aradaki enerjiden kaynaklanan boşluğun doldurulmasını sağladı.



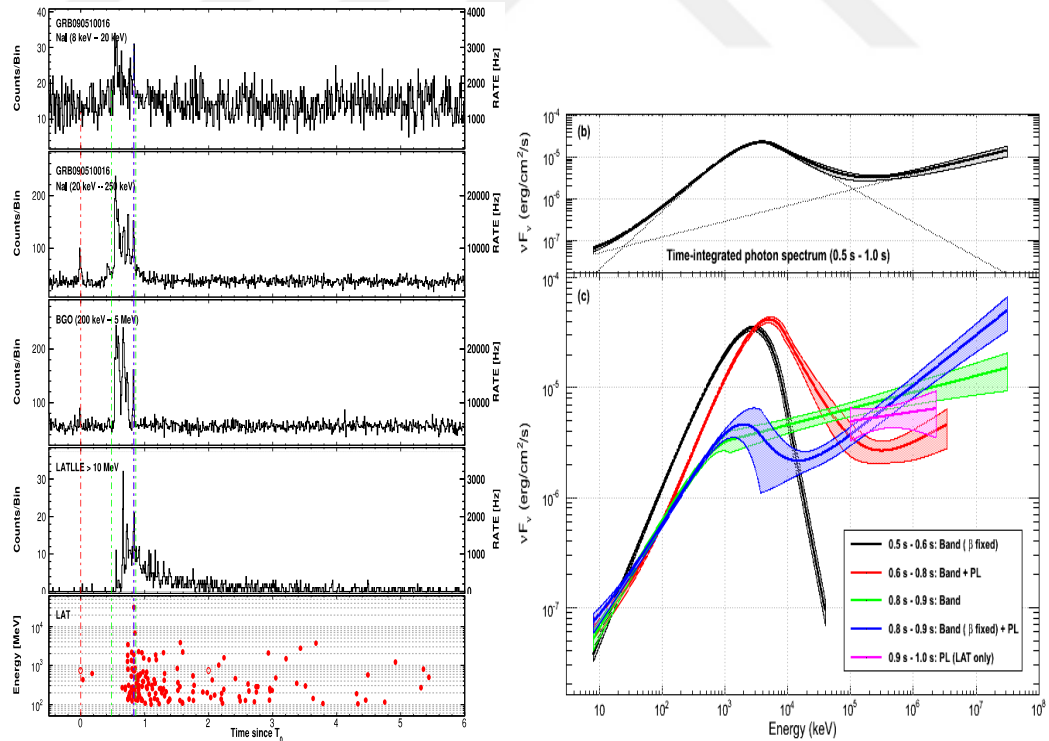
Şekil 3.9 Fermi /LAT cihazın genel görünümü [68].

LAT 6.5 yıllık gözlem süresi içerisinde 7 kısa patlama dâhil olmak üzere yaklaşık 90 patlama tespit etmiştir. LAT enerjilerinde parlak olan tüm GIP'lar, Swift üzerindeki detektörlerin daha kesin konum tespitleri ile yer tabanlı optik teleskoplarla uzaklık ölçümlerinin yapılmasına imkan sağlamıştır. Bugün itibariyle, LAT tarafından tespit edilen GIP'ların kırmızıya kaymaları $z=0.145$ (GRB 130702A) ile $z = 4.35$ (GRB 080916C) arasında değişmektedir.

Uzun süreli ve parlak bir GIP olan GRB 080916C LAT tarafından tespit edilen ikinci patlamadır. Patlamanın anlık yayını yüksek enerjilerde 13.2 GeV enerjisine ulaşmıştır ve bu da şimdiye kadar ölçülen en büyük Lorentz faktörüne ($\Gamma_{\min} = 870$) tekabül etmektedir. Ayrıca GRB 080916C 10 keV – 10 GeV enerji bandında kaynak çerçevesindeki $E_{\text{iso}} = 8.8 \times 10^{47}$ J (8.8×10^{54} erg)'lik enerji salınımı ile şimdiye kadar en yüksek enerjiye sahip patlamalardan bir tanesi olma özelliğine sahiptir. Patlamanın anlık yayını tayfında zayıf bir ekstra güç yasası bileşeni bulunmaktadır.

Yüksek enerjili yayınımları keV – MeV yayınımlarına göre patlamanın tespitinden birkaç saniye gecikme ile başlamıştır ve patlamanın tespitinden sonraki 1400 s’lik zamana kadar (yani, GBM tarafından tespit edilen yayımların sönene kadar) devam etmiştir. Bu son iki özellik LAT tarafından tespit edilen yüksek enerjili GIP’ların büyük çoğunluğu için görülmektedir [69,70].

GRB 090510, LAT tarafından tespit edilen ilk kısa ve parlak patlamadır ve gözlenen yayınımlar anlık fazda 31.3 GeV’e kadar uzanır. Patlamanın yüksek enerjilerde yaptığı yayımlar keV– MeV yayınımlarına göre gecikmeli olarak başlamıştır. LAT tarafından tespit edilen diğer uzun süreli ve yüksek ışıma gücüne sahip patlamalarda olduğu gibi tayfında ek olarak bir güç yasası formu görülmektedir. GRB 090510’un ardıl ışınımı patlamadan sonraki 200 s’ye kadar gözlenmiş ve eş zamanlı olarak Swift uydusu ile de takip edilmiştir (Şekil 3.10). Bu çoklu dalga boylu gözlemlere (görünür alandan GeV enerjilerine kadar) ileri bir şok sinkrotron yayımlar modeli başarıyla uygulanmıştır [70,71,72].



Şekil 3.10 Sol panel: GRB 090510 patlamasının Fermi/LAT ve GBM tarafından ölçülen ışık eğrileri. Sağ panel: Patlamanın Fermi tarafından ölçülen tayfsal enerji dağılımı (erg cm⁻² s⁻¹ biriminde) [71].

3.6. FERMİ / LAT Işık Eğrisi Analizleri

LAT'in yörüngeye taşınmasının ardından ilk GIP 2008 yılında (GRB 080825C) tespit edilmiştir. LAT tarafından tespit edilen GIP'ların özellikleri Şekil 3.12'de gösterilen katalogda yıllara göre her bir patlama için verilmektedir ve her biri ilgili kaynaklardan indirilmiş ve GIP ışık eğrileri Fermi/LAT uydusu için hazırlanan yazılımlar ve HEASOFT (High Energy Astrophysics Software) kullanılarak sırasıyla gtselect, gtvcut ve gtbin komutları ile elde edilmiştir.

MTS değerlerinin hesaplanabilmesi için bu çalışma kapsamında Fermi/LAT uydusu tarafından 30 MeV–300 GeV enerji aralığında tespit edilen GIP'ların öncelikli olarak ışık eğrileri 200 μ s çözünürlükte elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle analizini yapmak istediğimiz patlamanın zamanını ve konumunu Şekil 3.12'de görülen katalogdan ve ilgili kaynaklardan alındıktan sonra Şekil 3.11'de gösterildiği gibi LAT'ın veri tabanından çalıştığımız dosyanın içerisine indirilir.

LAT Photon, Event, and Spacecraft Data Query

Object name or coordinates: 203.68054,-10.334694

Coordinate system: J2000

Search radius (degrees): 40

Observation dates: 269801978,269802378

Time system: MET

Energy range (MeV): 30,300000

LAT data type: Photon

Spacecraft data: ☒

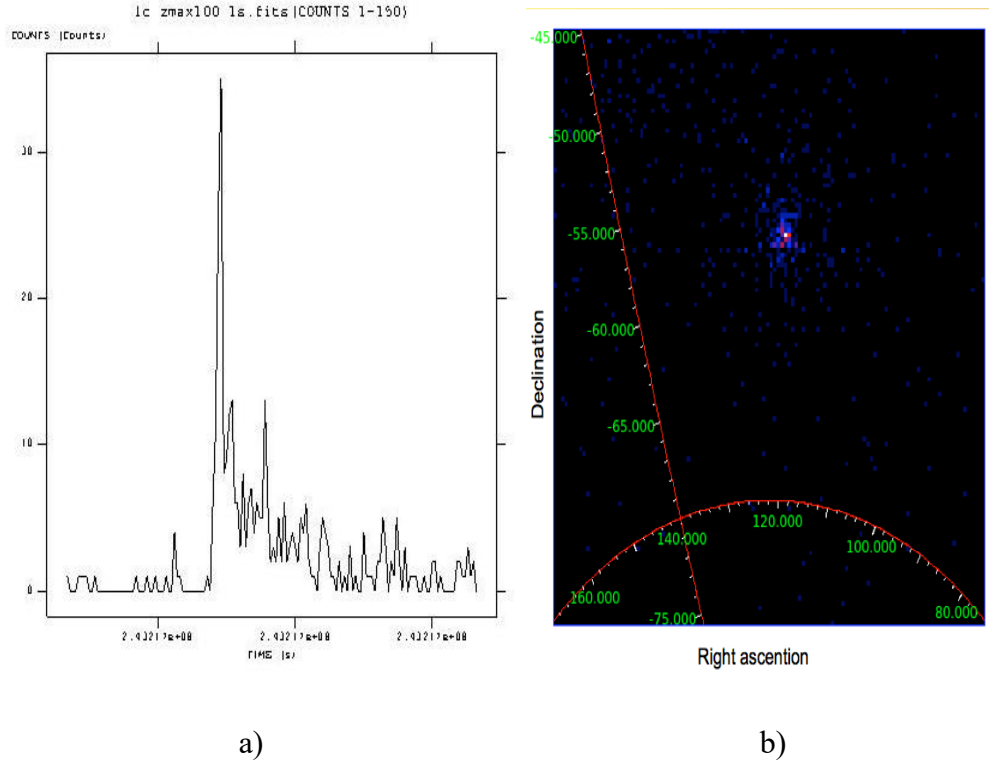
Start Search Reset

Şekil 3.11 LAT tarafından tespit edilen patlamanın özelliklerinin girilerek veri tabanından verilerinin elde edilmesi işlemi [73].

GRB	GCN Name	MET	Date (UTC)	Time (UT)	RA (Degrees)	Dec (Degrees)	Error (Degrees)	Source	Theta (Degrees)	Zenith (Degrees)	LLE Detection	Likelihood Detection	LLE Significance	Likelihood TS	Analysis Start	Analysis Stop	Analysis RA (Degrees)	Analysis Dec (Degrees)	Error (Degrees)
180720568	180720B	553789304.0	2018-07-20	14:21:39	0.52856	-2.91892	0.00083	Swift-ART	49.33	8.56	NO	YES	NA	612.0	0.0	580.0	0.57	-2.95	0.11
180718763	180718B	553630709.0	2018-07-18	18:18:24	44.68	-31.5	0.65	Fermi-LAT	46.86	87.26	NO	YES	NA	27.9	0.0	100.0	44.677	-31.53	0.65
180703940	180703B	552350816.0	2018-07-03	22:46:51	96.920	-29.880	0.4	Fermi-LAT	31.48	43.5	NO	YES	NA	48.86	0.0	100.0	96.978	-29.83	0.43
180305393	180305A	541934773.60	2018-03-05	9:26:3	49.67	32.1	0.12	Fermi-LAT	73.82	88.03	NO	YES	NA	31	0.0	2600	49.67	32.1	0.12
180210617	180210A	539958283.0	2018-02-10	12:24:38	1.8	18.35	0.18	Fermi-LAT	31.2	22.13	NO	YES	NA	171	0.0	2000.0	1.8	18.35	0.18
171212434	171212B	534767083.0	2017-12-12	10:24:18	39.44	-70.62	0.39	Fermi-LAT	11.58	64.29	NO	YES	NA	29.2	0.0	585.00	39.44	-70.62	0.39
171210463	171210A	534596390.0	2017-12-10	11:49:15	338.29	24.44	0.15	Fermi-LAT	51.23	3.29	NO	YES	NA	61.00	0.0	1500.0	335.29	24.44	0.15
171124235	171124A	533194681.5	2017-11-24	5:37:58	335.47588	35.32213	0.00083	Swift-ART	19.43	44.55	NO	YES	NA	84.89	0.0	35.0	335.51	35.23	0.18
171120559	171120A	532878807.0	2017-11-20	13:20:2	163.84	22.40	0.17	Fermi-LAT	24.79	12.88	-	YES	-	149.24	0.0	1000.0	163.841	22.4	0.17
171102107	-	531262820.0	2017-11-02	2:33:35	187.684	54.110		Fermi-LAT	45.22	64.65	NO	YES	NA	41.99	0.0	300.0	187.769	54.16	0.892
171022885	171022A	530396865	2017-10-22	21:14:20	204.270	10.970	0.17	Fermi-LAT	97.99	84.89	NO	YES	NA	28.54	0.0	10000.0	NA	NA	NA
171010762	-	529354855.58	2017-10-10	18:00:50	66.74	-10.53	0.2	Fermi-LAT	114.61	83.97	NO	YES	NA	224.61	0.0	10000.0	66.581	-10.39	0.144
170906030	170906A	526351396.0	2017-09-06	0:43:11	203.95487	-47.10054	1.7e-4	Swift-LVOT	88.15	88.53	-	YES	NA	190.74	0.0	3000.0	203.918	-47.175	0.108
170810918	170810A	524095306.0	2017-08-10	22:1:41	187.93852	3.68094	4.7e-4	Swift-ART	60.99	57.73	NO	YES	NA	30.3	0.0	1000.0	187.489	3.397	0.706
170808636	170808B	523924068.0	2017-08-08	22:27:43	145.66	2.18	0.34	Fermi-LAT	63.90	16.57	YES	YES	-	51.88	0.0	1100.0	NA	NA	NA
170522857	170522A	517160738.28	2017-05-22	15:45:34.28	139.34	25.67	0.19	Fermi-LAT	49.422	74.555	NO	YES	2.21	45.09	0.0	1000.0	139.34	25.67	0.23
170510217	170510A	516985950.73	2017-05-10	05:12:26.73	159.911	-39.328	0.34	Fermi-LAT	66.757	24.548	NO	YES	3.11	40.09	0.0	500.0	159.91	-39.33	0.42
170409112	170409A	515398523.46	2017-04-09	02:41:59.46	347.53	-7.16	0.15	Fermi-LAT	85.979	68.655	NO	YES	0.94	38.39	0.0	1000.0	347.58	-7.37	0.64
170405777	170405A	513110387.0	2017-04-05	18:39:23	219.828	-25.243	5.0	Fermi-GBM	52.211	60.620	NO	YES	-	64.42	0.0	1000.0	219.89	-24.91	0.41
170329387	170329A	512471829.04	2017-03-29	09:17:04.04	356.0	23.79	0.6	Fermi-LAT	33.017	17.215	NO	NO	2.89	0.00	0.0	1000.0	-	-	-

Şekil 3.12 LAT GIP kataloğundaki 2008 ve 2009 yıllara ait GIP'ların bir kesri görülmektedir. Bu katalogdan elde edilen özellikler veri analizlerinde kullanılmıştır [74].

Veriler indirildikten sonra gtselect komutu kullanılarak çalışılmak istenilen enerji aralığı ve kaynağın zenit açısı girilerek ham olarak indirilen patlama verileri filtrelenmiştir. Bu aşamadan sonra gtbin komutu ile temizlenmiş veriler kullanılarak her bir patlama için patlamanın konumunun görüldüğü poz haritası ve farklı zaman çözünürlüklerinde ışık eğrileri oluşturulmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. GRB 080916C'nin Fermi/LAT uydusu için hazırlana yazılımlar kullanılarak elde edilen a) 1 s çözünürlüklü ışık eğrisi b) poz haritası.

3.7. Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği (MTS)

Milisaniyeden saniyeye kadar değişkenlik gösteren GIP ışık eğrilerinin karmaşıklığı ve çeşitliliği patlamaların zamansal analizlerini ve sınıflandırılmalarını oldukça zorlaştırmıştır. Bununla birlikte uzun ve kısa süreli GIP'lar için en önemli sınıflandırmalardan biri bu olayların ışık eğrilerinin zamansal bir özelliğinin, yani süresinin incelenmesidir. GIP ışık eğrileri karmaşık olduğu için, özelliklerini karakterize etmek ve onları oluşturan mekanizmanın fiziksel özelliklerini tanımlamak için

istatistiksel yöntemler gereklidir. Literatürde ilk defa Fenimore ve ark. [75] tarafından GIP'ların değişkenliği ile izotropik pik parlaklıkları arasında bir korelasyon olduğu rapor edilmiştir. Bu tarihten sonra bu korelasyonu destekleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır [76,77,78,79]. Değişkenlik-ışımagücü korelasyonunun varlığı, anlık yayılım ışık eğrisinde GIP'ların mikrofiziği ile ilgili zamansal bilgilerin olduğunu düşündürmektedir. Beloborodov ve ark. [80], GIP ışık eğrilerinin istatistiksel özelliklerini tanımlamak için Fourier analizini kullanmış ve GIP ışık eğrilerindeki çeşitliliğin aynı sürecin çok çeşitli zaman ölçeklerinde kendine benzer olan rastgele gerçekleştirmeleri ile açıklanabileceğini önermiştir. MacLachlan ve ark. [81] wavelet analizi tekniği ile kullanarak Fermi/GBM tarafından tespit edilen 122 GIP'ın analizini yaparak kısa ve uzun süreli patlamaların MTS temel alınarak dağılımlarına bakılmıştır. Ek olarak, Bhat ve ark. [82] tarafından elde edilen yaklaşık 400 atım (puls) parametresi ile de MTS değerlerini karşılaştırmışlardır. Bu patlamalar için hesaplanan en küçük değişkenlik zaman ölçeği ve atım zamanları birbiri ile uyum göstermiştir [6]. Sonbas ve ark. [83] wavelet tekniğini GIP'ların Swift/XRT ile alınan X-ışını ışık eğrilerinde görülen parlamalara uygulamıştır. Sonuçla atım parametreleri ile minimum değişkenlik zaman ölçeğindeki ilişkiyi X-ışın dalga boyunda incelemişlerdir. Sonbas ve ark. [19] tarafından yapılan çalışmada Swift ve Fermi gama ışını patlamalarından oluşan bir örneklem için anlık yayılımının minimum değişkenlik zaman ölçeği ve tayfsal gecikmesinin Lorentz faktörü ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma daha sonra Wu ve ark. [20] tarafından Blazar'lara da uygulanmış ve GIP'larla benzer davranışı gösterdiği bulunmuştur.

3.7.1. Wavelet (Dalgacık Dönüşümü)

Dalgacık dönüşümleri sinyal işleme için en güçlü araçlardan biridir ve duran olmayan zaman serilerinin çoklu çözümleme analizleri için doğal bir araç olduğu bilinmektedir [84,85,86]. Dalgacık analizi, birçok açıdan Fourier analizine benzerdir, ancak Fourier temel fonksiyonları daha genel iken wavelet fonksiyonları daha net belirlenmektedir. Yani sınırlı aralığın dışında olan dalgacık temelli fonksiyonların genliği sıfıra gider ya da ihmal edilebilir derecede küçük bir değer alır [87]. Öte yan-

dan dalgacık dönüşümü Fourier dönüşümüne benzer, çünkü her ikisi de tam bir ortogonal temelde genişler ve düşük frekanslı, büyük ölçekli yapıyı yüksek frekanslı, küçük ölçekli yapıdan çözer. Bu teknik, baskın süreçleri sınıflandırmanın yanı sıra süreçlerin baskınlığını değiştiren karakteristik zaman ölçeğini saptamak için bir araç olarak da kullanılabilir. Bu zaman ölçeğinin belirlenmesi, gözlemsel verilerin anlaşılması ve teorik modellerin geliştirilmesine yardımcı olur.

Dalgacık analizinin çok çözümlü olduğu bilinmektedir. Çünkü incelenen zaman serisi ana dalgacık, $\Psi(t)$ olarak adlandırılan orijinal bir dalgacığın yeniden düzenlenmiş ve dönüştürülmüş modelleri olan bir dizi dalgacık tarafından birden fazla ölçekte analiz edilir ve denklem (3.2)'de görülür.

$$\psi(t) \rightarrow \psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.2)$$

burada a bir frekans ölçeği olan oktavı (octave) veya zaman ölçeğini ve b parametresi dalgacığın oktav içindeki konumunu verir.

Sürekli dalgacık dönüşümü (The continuous wavelet transform; CWT), $C_{a,b}$ herhangi bir ölçek için tanımlanmış bir zaman serisidir ve (3.3) denkleminde gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$C_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int X(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (3.3)$$

CWT'ye benzer şekilde, ayrık hızlı dalgacık dönüşümü (the discrete fast wavelet transform; FWT) FWT'nin temelini oluşturan dalgacıkların, $\psi_{j,k}$, yapısından dolayı çok-dönüştümlü bir işlemdir. Aynı zamanda yüksek hesaplama gücü nedeniyle FWT tercih edilen bir yöntemdir ve bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde kullanılmıştır. CWT ve FWT'yi birbirinden ayırt edebilmek için bu çalışma kapsamında kullanılan ölçeklendirme fonksiyonunda (3.4) denkleminde gösterildiği gibi ufak değişiklikler yapılmıştır.

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (3.4)$$

Dalgacık ve ölçek fonksiyonlarının kesin bir formu yoktur ve kullanılmak istenen özelliklere göre seçim yapılır [88,89]. Ölçek fonksiyonu ele alınan zaman serisi için bir düzleştirme filtresi gibi davranır. Dalgacık fonksiyonu ise Δt gibi bir zaman ölçeği için kullanılan en küçük bin'in iki katı olan zaman serisini detaylı olarak inceler ($\Delta t \rightarrow 2\Delta t$) ve dönüşüm $\Delta t = NT_{bin}$ değerine ulaşana kadar devam eder.

Bu tez kapsamında yapılan analizler için elde edilen sonuçların anlaşılır bir şekilde yorumlanabilmesini sağlayan Allen değişkenini kullanan Haar wavelet [89] fonksiyonu kullanılmıştır. FWT'nin katsayıları (3.5) denkleminde gösterildiği şekilde yazılır;

$$d_{j,k} = \langle X, \psi_{j,k} \rangle \quad (3.5)$$

burada j ve k , sırasıyla ana dalgacıkta bulunan a ve b ile aynı anlama gelmektedir. Ayrıca j ve k değerleri ikili bölümlleme şemasına uyar [86,87,89]. $N = 2^m$ tane elemana sahip bir zaman serisi için $0 \leq j \leq m - 1$ ve $0 \leq k \leq 2^j - 1$ değerlerini almaktadır. İlginç bir şekilde $N = 2$ değeri için Haar dalgacık dönüşümü ve Fourier dönüşümü aynı sonuçları vermektedir.

GIP'lar için MTS hesabı yapılırken öncelikli olarak düz gürültü bölgesi ve ölçeklenmiş eğimli bölgeyi tanımlamak ve değişkenlik zaman ölçeğini belirlemek için öncelikle logaritmik ölçek (Log-scale) diyagramı oluşturulmalıdır denklemin (3.6). Üzerine çalışılan her kaynağın ışık eğrileri için elde edilen Log-scale diyagramları katsayı değişimlerinden elde edilmektedir [85].

$$\beta_j = var(d_{j,k}) = \frac{1}{n_j} \sum_{k=0}^{n_j-1} |d_{j,k}|^2 \quad (3.6)$$

burada n_j belirli bir ölçekte ayrıntı katsayılarının sayısıdır, j (oktav). Log_a varyanslarının ölçeğe karşı grafiği (3.7) denklemdeki gösterilen formu alır ve Log-scale diyagramı olarak bilinir.

$$\log_2 \beta_j = \alpha_j + \text{sabit} \quad (3.7)$$

Beyaz gürültü (ardalan) süreci Log-scale diyagramında düz olarak görünürken durağan olmayan süreçler (sinyal veya kırmızı gürültü) ölçeklenmiş eğimli bölge olarak görülmektedir. MTS, Log-scale diyagramında düz gürültü bölgesi ve ölçeklenmiş eğimli bölgenin kesişim noktasıdır ve oktav cinsinden elde edilmektedir [81]. Oktav olarak elde edilen bu değer MTS (s) = 2^j x zaman çözünürlüğü eşitliği kullanılarak gerçek zaman birimine dönüştürülmektedir.

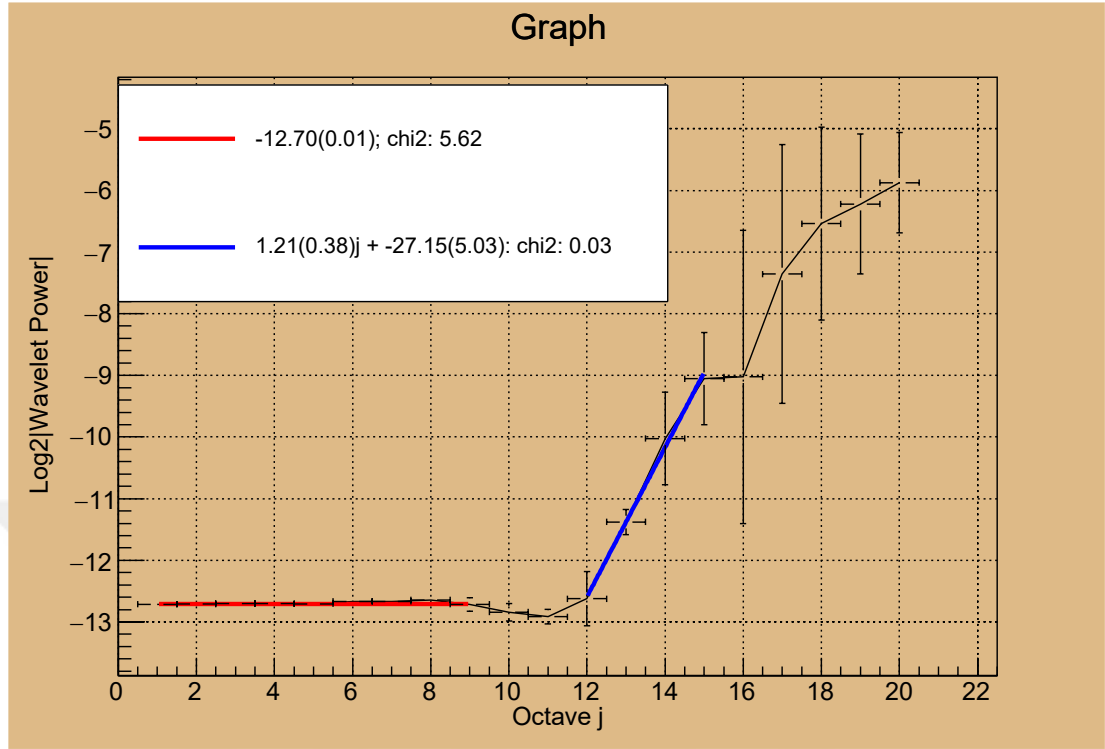
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez kapsamında Fermi/LAT tarafından 30 MeV–300 GeV enerji aralığında 2008–2017 yılları arasında gözlemlenen toplam 29 tane kısa ve uzun süreli GIP’ların, minimum değişkenlik zaman ölçeğini, MTS Çizelge 4.1’de belirlemek için ilk kez MacLachlan ve ark. [81] tarafından Fermi/GBM tarafından tespit edilen GIP’lar için kullanılan dalgacık tekniği kullanılmıştır. Elde edilen bu zaman ölçeği, spektrumun ölçeklendirme bölgesinin (kırmızı-gürültü) rasgele gürültü (beyaz-gürültü) bileşenini temsil eden düz bölümün kesişimidir (Şekil 4.1) ve GIP’lara özgü fiziksel süreçler için en kısa çözülebilir değişkenlik süresidir. Uzun ve kısa süreli GIP’lar için LAT enerjilerinde elde edilen MTS değerlerinin dağılımları MacLachlan ve ark. [81] tarafından 8 keV–1 MeV enerji aralığında elde edilen GBM tarafından gözlemlenen patlamalarla birlikte Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Elde edilen dağılıma göre: i) LAT tarafından yüksek enerjilerde gözlemlenen kısa ve uzun süreli patlamaların zaman ölçeğinde GBM tarafından düşük enerjilerde gözlemlenen patlamalara göre bir artış görülmektedir, ii) LAT enerjilerinde GBM de olduğu gibi kısa ve uzun süreli patlamaların ortalama MTS değerlerinde belirgin bir ofset görülmektedir, iii) GBM ve LAT tarafından gözlemlenen GIP’lar bir bütün halinde değerlendirildiğinde LAT tarafından gözlemlenen GIP’lardan elde edilen MTS değerlerinin GBM tarafından gözlemlenen MTS değerlerinin uzantısı olduğu görülmektedir.

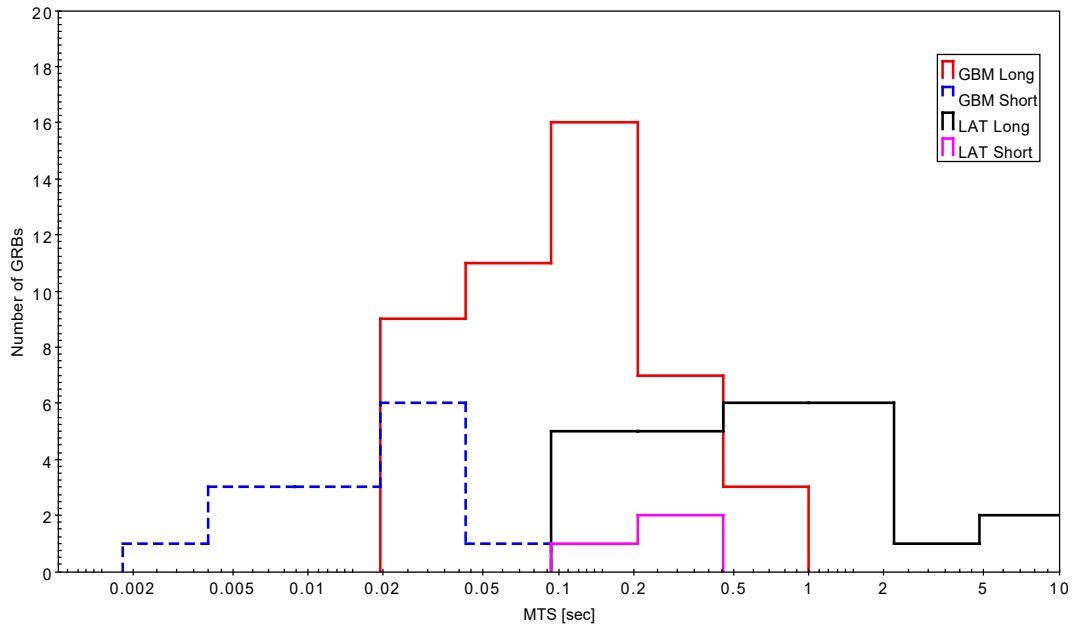
Şekil 4.3’te, T_{90} ’a (patlamaların süresi) karşı MTS ‘in log-log grafiği yine düşük enerjilerde GBM tarafından tespit edilen GIP’larla karşılaştırmalı olarak gözlemci çerçevesinde gösterilmektedir. LAT tarafından gözlemlenen uzun süreli GIP’lar siyah içi boş karelerle, kısa olanlar pembe renkli karelerle gösterilmektedir ve her iki zaman ölçeği de gözlemci çerçevesindedir. Yukarıda gösterilen histogramda olduğu gibi, LAT tarafından tespit edilen kısa süreli GIP’lar genel olarak uzun süreli GIP’lara kıyasla daha küçük MTS değerlerine sahip olma eğilimindedir. Ayrıca yine bir önceki şekilde görüldüğü gibi LAT tarafından gözlemlenen kısa ve uzun süreli GIP’ların MTS değerleri GBM tarafından gözlemlenenlere göre daha yüksek değerlerdedir.

Çizelge 4.1 Bu tez kapsamında analizleri yapılan patlamaların özellikleri

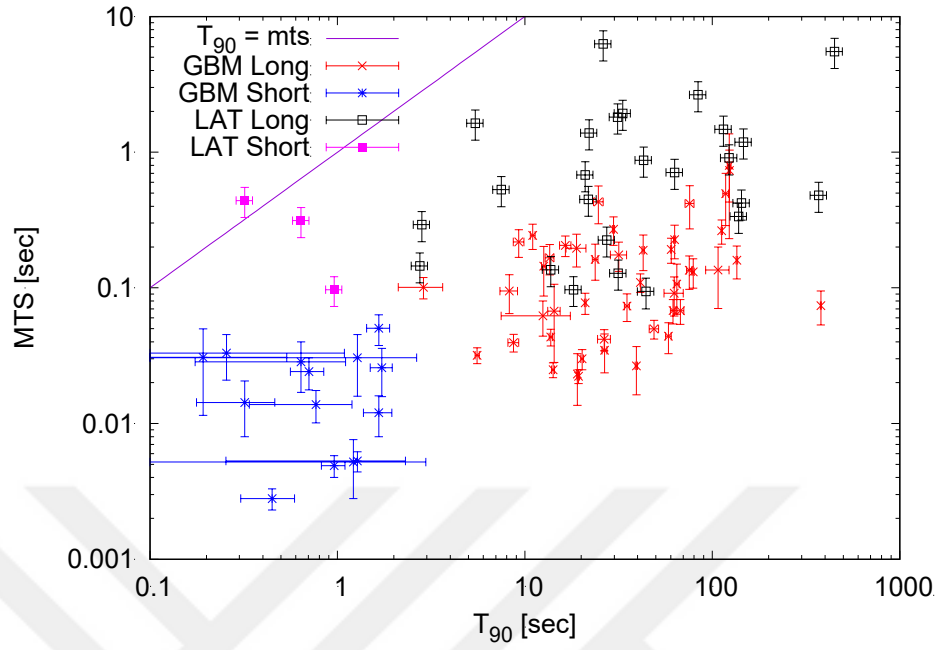
GIP	MTS (sec)	MTS err (sec)	T _{GBM,90} (sec)	T _{LAT,100} (sec)	T _{LAT,100} err (sec)	z
GRB080825C	0.680	0.170	20.99	170.4	0.7	-
GRB080916C	0.709	0.177	62.98	1500	200	4.35
GRB081024B	0.313	0.078	0.64	2.2	0.04	-
GRB090217A	1.932	0.483	33.28	68	10	-
GRB090510A	0.097	0.024	0.96	170	2	0.9
GRB080825C	0.136	0.034	13.76	4420	50	2.11
GRB090926A	1.475	0.369	114.69	45	6	-
GRB100724B	5.516	1.379	449.42	1930	50	-
GRB101014A	2.648	0.662	83.97	630	60	-
GRB110328B	0.449	0.112	21.82	121	3	-
GRB110721A	0.529	0.132	7.49	430	10	2.83
GRB110731A	0.225	0.056	27.33	700	10	-
GRB120709A	0.336	0.084	138.24	34400	300	0.34
GRB130427A	0.097	0.024	18.18	680	40	2.4
GRB131108A	1.185	0.296	146.69	8584.43	0.01	-
GRB140206B	0.440	0.110	0.32	72	5	-
GRB140402A	0.292	0.073	2.82	5	1	-
GRB140619B	0.128	0.032	31.49	490	80	2.33
GRB141028A	0.145	0.036	2.75	410	10	-
GRB141222A	1.815	0.454	31.29	170	20	-
GRB150210A	1.386	0.346	22.1	-	-	-
GRB160101B	0.480	0.120	369.67	6000	1000	1.17
GRB160509A	1.635	0.409	5.44	25	2	-
GRB160709A	0.872	0.218	43.01	1370	40	-
GRB160821A	0.094	0.024	44.29	1027	10	-
GRB170115B	0.907	0.227	122.88	713	8	2.53
GRB170214A	6.276	1.569	26.18	318	7	-
GRB171124A	0.421	0.105	143.11	1510	70	-
GRB171210A	0.680	0.170	20.99	170.4	7	-



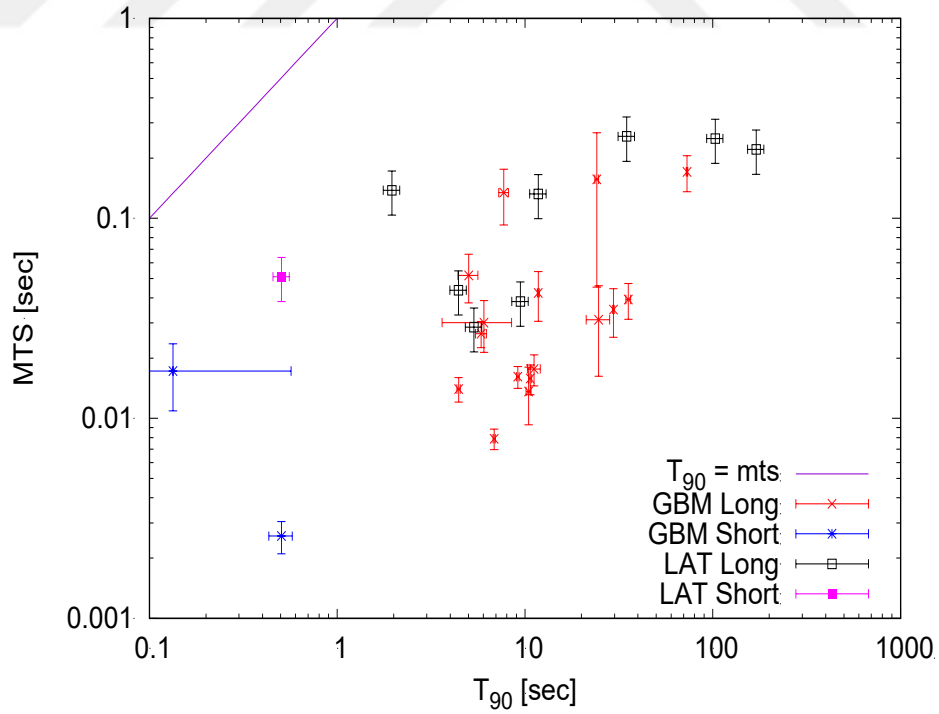
Şekil 4.1 GRB 080916C için frekansın fonksiyonu olarak sinyalin logaritmik değişkeninin diyagramı. Düz bölge beyaz gürültü eğimli bölge kırmızı gürültü. Bu iki gürültünün kesişim noktası patlama için MTS değerini vermektedir.



Şekil 4.2 LAT ve GBM tarafından tespit edilen uzun ve kısa süreli GIP'ların dağılımları karşılıklı olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Gözlemci çerçevesinde MTS'e karşılık T_{90} değerleri GBM tarafından gözlemlenen GIP'lar ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



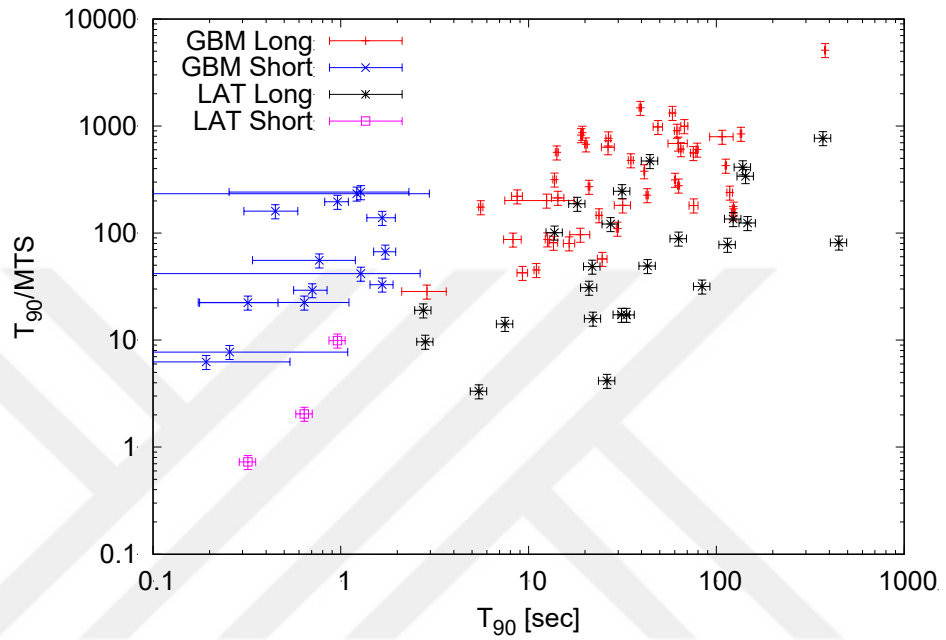
Şekil 4.4 Kaynak çerçevesinde MTS'e karşılık T_{90} değerleri GBM tarafından gözlemlenen GIP'lar ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Şekilde aynı zamanda daha önce düşük enerjilerde görülen kısa ve uzun süreli patlamaların arasında görülen pozitif ilişki yüksek enerjilerde hesaplanan MTS değerleri için de görülmektedir. Benzer şekilde kırmızıya kayma değerleri olan patlamalar için $(1 + z)$ faktörü uygulanarak MTS ve T_{90} zaman ölçekleri kaynak çerçevesinde incelenmiştir (Şekil 4.4). Gözlemci çerçevesinde elde edilen sonuçlar kaynak çerçevesinde de görülmektedir.

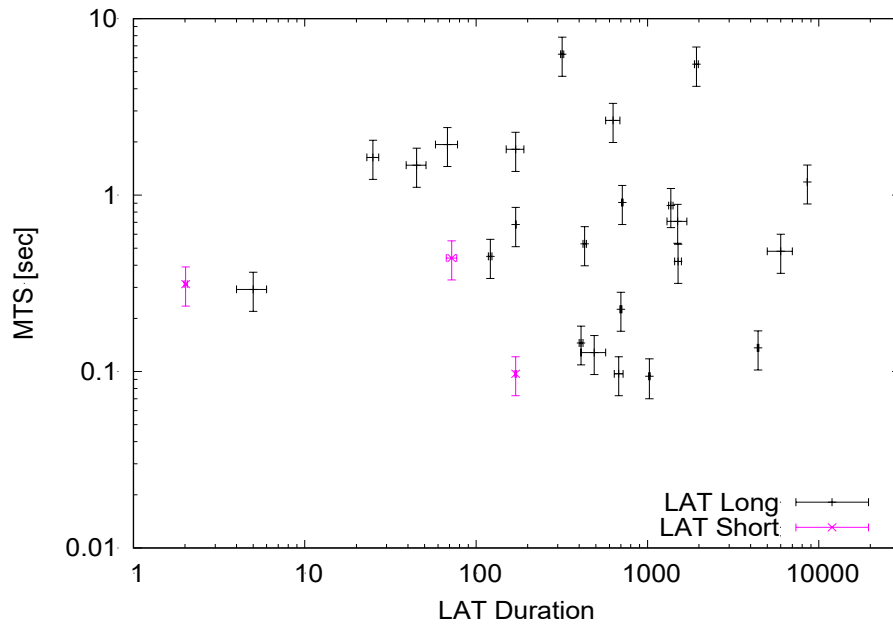
GIP'ların anlık yayılım ışık eğrileri için puls sayısı ve patlama süresinin orantılı olduğu ile ilgili literatürde çok fazla çalışma bulunmaktadır [82,90,91,92,93]. MTS'in de GIP ışık eğrisindeki en küçük ölçü olduğu varsayıldığında ölçekleme eğiliminin, merkezi motor tarafından yayılan relativistik kabukların çarpışması yoluyla üretilen atımlar olduğu varsayıldığı iç şok modeli açısından yorumlamak mümkündür [81]. Eğer en küçük zaman ölçeği en küçük yapıdan gelen puls yayınımlarından oluşmuşsa patlamanın puls sayısı T_{90}/MTS ile bulunabilir. Patlamadaki pulsaların her seferinde iki kabuğun çarpışması ile oluştuğu varsayıldığında T_{90} / MTS 'in patlamanın süresi ile ilişkili olması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 4.5'de T_{90} / MTS 'e karşı T_{90} değeri LAT tarafından gözlemlenen uzun ve kısa süreli patlamalar için GBM ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yüksek enerjilerde patlamalar daha az sayıda atım göstermektedir. Kısa ve uzun süreli patlamaların LAT enerjilerinde benzer özellikler gösterdiği şimdiye kadar yapılan özellikle tayfsal çalışmalarda görülmektedir. Bu nedenle Şekil 4.6'da her bir patlamanın Ajello ve ark. [94] tarafından hesaplanan LAT gözlem süresine karşı bu çalışma kapsamında LAT ışık eğrilerinden elde edilen MTS değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.6' da görüldüğü gibi LAT enerjilerinde kısa ve uzun süreli patlamalar arasında T_{90} süreside görülene benzer bir farklılık/kümelenme göstermemektedir.

Şekil 4.7'de Fotosferik yayılımın band tayfını ürettiği, iç şokun değişken güç yasası spektrumuna katkıda bulunduğu ve dış şok uzun ömürlü güç yasası spektrumunu oluşturan fotosfer-iç -dış şok modeli verilmektedir [95,96]. Bu çalışma kapsamında LAT tarafından gözlemlenen GIP'ların değişkenlik zaman ölçeklerini bilerek, varsayılan bir yayılım bölgesinin büyüklüğünü tahmin edebiliriz. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi LAT tarafından tespit edilen patlamalar için en küçük zaman ölçeği 0.094 s ve en büyük zaman ölçeği için yaklaşık 6.30 s'dir. Bu zamanlar, sırasıyla yaklaşık

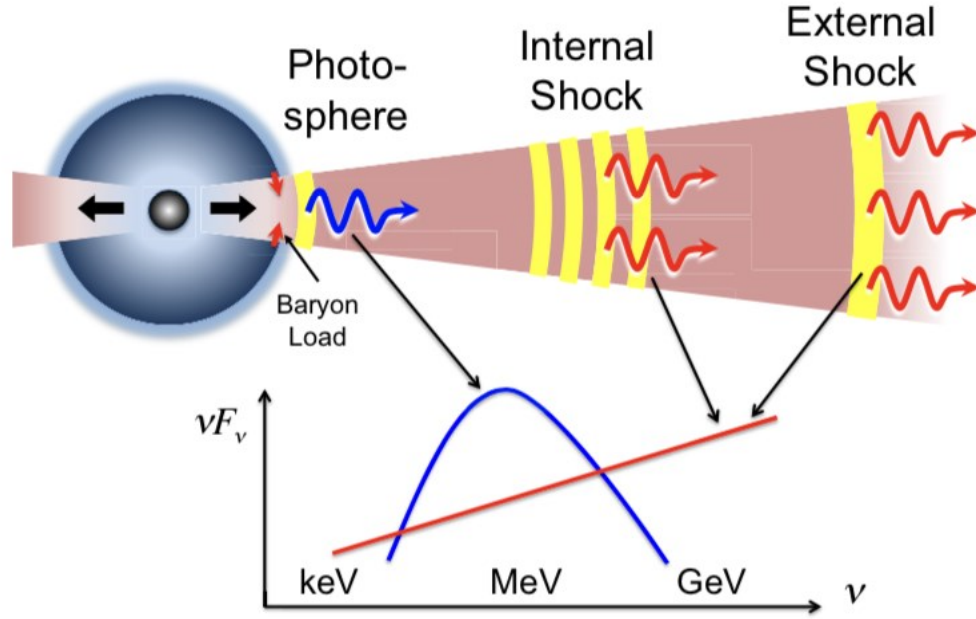
10^9 ve 10^{11} cm'lik yayınım ölçeklerine karşılık gelmektedir. Bu da 30 MeV–300 GeV aralığında ele alınan LAT ışık eğrilerinin karakteristik zaman ölçeği için hesaplanan yayınımının iç-şoklarla üretildiğini göstermektedir.



Şekil 4.5 Patlaman süresinin minimum değişkenlik zaman ölçeğine oranına karşı T_{90} süresi.



Şekil 4.6 MTS'e karşılık patlamaların LAT yayınımlarının süresi verilmektedir.



Şekil 4.7 Fotosferik yayınının band tayfını ürettiği, iç şokun değişken güç yasası spektrumuna katkıda bulunduğu ve dış şok uzun ömürlü güç yasası spektrumunu oluşturan fotosfer-iç-dış şok modeli verilmektedir [95,96].

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Haziran 2008’de yörüngeye taşınmasından bu yana Fermi Gama-Işını Uzay Teleskobu, GIP’ların düşük enerjilerdeki davranışlarına ek olarak özellikle yüksek enerjilerdeki davranışlarının anlaşılmasında önemli atılımlar yapmıştır. Fermi GBM ve LAT detektörleri çok sayıda GIP örneği için 2008 yılından itibaren oldukça yüksek kaliteli veriler sağlamış ve yüksek enerjilerde GIP popülasyon çalışmalarına olanak sağlamıştır. Fermi/LAT detektöründen yüksek enerjilerde alınan veriler sayesinde hem kısa hem de uzun GIP’ların rölativistik madde akışına sahip olduğunu ve her iki türün 100 MeV üzerindeki yayınımlarında keV–MeV enerjilerinde tespit edilen yayınıma göre gecikme görüldüğü ve zamansal olarak genişlemeye sahip olduğu gibi benzer özellikler paylaştığını ortaya koymuştur. Bu gecikmenin kaynağı henüz bilinmemekle birlikte patlamaların yüksek enerjilerde zamansal ve tayfsal özelliklerinin çalışılmasının ve yeni teorik öngörülerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Fermi/LAT tarafından 2008–2017 yılları arasında 30 MeV–300 GeV enerji aralığında gözlemlenen kısa ve uzun süreli GIP’ların ışığı eğrilerinden elde edilen zamansal özellikleri dalgacık tekniği temel alınarak [81] ilk kez bu tez kapsamında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Düşük enerjilerde alınan verilere göre LAT detektörünün enerji aralığında elde edilen MTS değerleri daha yüksek değerlere sahiptir.
- Kısa süreli ve uzun süreli patlamalar için GBM verilerinde görülen farklılık LAT verilerinde de görülmektedir.
- T_{90} / MTS oranı GBM ile gözlemlenen patlamalarda görüldüğü gibi anlık yayınımda görülen puls yapılarının kabuk çarpışmalarının sonucu oluştuğu görüşünü desteklemektedir. Bu bağlamda, minimum değişkenlik zaman ölçeği pulsların artış süreleri ve / veya genişliği gibi temel atım parametreleriyle ilişkilidir.
- Bu çalışma kapsamında elde edilen MTS değerlerinin LAT gözlem süresine karşı davranışı kısa ve uzun süreli patlamalar arasında T_{90} süresinde görülene benzer bir farklılık / kümelenme göstermemektedir.

- LAT tarafından tespit edilen patlamalar için en küçük zaman ölçeği ve en büyük zaman ölçeğine karşılık gelen yayınım bölgesinin boyutu sırasıyla yaklaşık 10^9 ve 10^{11} cm'dir. Bu değer GBM verilerinden elde edilene göre yaklaşık birkaç merteye daha fazladır.

GIP'lara özgü zamansal özelliklerin farklı enerji aralıklarında davranışlarının incelenmesi ve zamansal ve tayfsal özelliklerin karşılaştırılması patlamaları oluşturan fiziksel mekanizmanın anlaşılması için önemlidir. Bu nedenle daha geniş bir veri seti için GBM (8 keV–250 keV), BGO (250 keV–10 MeV), LLE (30 MeV–100 MeV), LAT (> 100 MeV) ile farklı enerji aralıklarında MTS değerlerinin hesaplanarak enerjiye bağımlılığının incelenmesi ileriki dönemde planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] R.W. Klebesadel, I.B. Strong ve R.A. Olson, “Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin”, The Astrophysical Journal, 182, p. L85, 1973.
- [2] E.P. Mazets, S.V. Golenetskij ve V.N. Ilinskii, “Burst of cosmic gamma- emission from observations on Cosmos 461”, Pis'ma v ZhurnEhTF, Tom 19, p. 126, 1974.
- [3] C. A. Meegan, ve ark., Nature, 355,143, 1992.
- [4] S. D. Barthelmy, P. Butterworth, T.L. Cline ve ark., “The Real-Time BATSE Gamma-Ray Burst Coordinates Distribution Network”, Astrophysics and Space Science, 231, p. 235, 1995.
- [5] A. S. Fruchter, A. J. Levan, L. Strolger ve ark., “Long Gamma-ray bursts and core-collapse supernovae have different environments”, Nature, 441, pp. 463–468, 2006.
- [6] G. A. Maclachlan ve ark., “The minimum variability time-scale and its relation to pulse profiles of Fermi GRBs”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 425(1):32-35, 2012.
- [7] “Laboratory for High Energy Astrophysics” , Goddard Space Flight Center(<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/epo/vu/overview/bursts/firstbst/firstbst.html>) [Eriřim tarihi: 02-Mart-2020].
- [8] C. Kouveliotou, C. A. Meegan, G. J. Fishman ve ark., “Identification of two classes of gamma-ray bursts”, The Astrophysical Journal, vol. 413, no. 2, pp. 101–104, 1993.
- [9] G. Fishman, ve ark., BATSE, CGRO, NASA; <https://apod.nasa.gov/apod/ap000628.html/>. [Eriřim tarihi: 01- MART- 2020].
- [10] E. Costa, F. Frontera, J. Heise ve ark., “Discovery of an X-ray afterglow associated with the Gamma-ray burst of 28 February 1997”, Nature, 387, pp. 783–785, 1997.
- [11] J. Van paradijs, P. J. Groot ve T. Galama, “Transient optical emission from the error box of the Gamma-ray burst of 28 February 1997”, Nature, 386, pp. 686–689, 1997.

- [12] D. A. Frail, S. R. Kulkarni, L. Nicastro, M. Feroci ve G. B. Taylor, “The radio afterglow from the Gamma-ray burst of 8 May 1997”, *Nature*, 389, pp. 261–263, 1997.
- [13] “GRB970228”, [mpe.mpg.de, https://www.mpe.mpg.de/~jcg/grb970228/sax_nfi.gif](https://www.mpe.mpg.de/~jcg/grb970228/sax_nfi.gif), [Eriřim tarihi: 02-şubat-2020].
- [14] M. J. Rees ve P. Meszaros, “Relativistic fireballs energy conversion and time-scales”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 258, pp. 41–43, 1992.
- [15] P. Mészáros, P. Laguna, and M. J. Rees, “Gasdynamics of relativistically expanding gamma-ray burst sources: kinematics, energetics, magnetic fields, and efficiency”, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 415, no. 1, pp. 181–190, 1993.
- [16] İ. Nasirođlu, “Fast Timing Photo-Polarimetry With Optima”, Doktora Tezi, řukurova Őniversitesi, 2012.
- [17] V. Z. Golkhou ve N. R. Butler, “Uncovering the Intrinsic Variability of Gamma-Ray Bursts”, *The Astrophysical Journal*, 787(1) :9, 2014.
- [18] V. Z. Golkhou, N. R. Butler ve O. M. Littlejohns, *The Astrophysical Journal*, 811, 93, 2015.
- [19] E. Sonbas, G. A. MacLachlan, K. S. Dhuga, P. Veres, ve ark., *The Astrophysical Journal*, Volume 805, Issue 2, article id. 86, 6 pp., 2015.
- [20] XF. Wu, ve ark., *The Astrophysical Journal*, subm (astro-ph/0512555), 2016.
- [21] J. P. Norris ve ark., *The Astrophysical Journal*, 459, 393, 1996.
- [22] F. Frascchetti, “The Satellite Beppo-Sax: Cosmological Distance On The ‘’, Afterglow of Gamma-Ray Bursts Within The EMBH Model, 7-9, 2004.
- [23] D. Band, J. Matteson, L. Ford ve ark., “BATSE observations of gamma-ray burst spectra. I. Spectral diversity”, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 413, no. 1, pp. 281–292, 1993.
- [24] D. Tierney ve ark., “Fluence distribution of terrestrial gamma ray flashes observed by the Fermi Gamma-ray Burst Monitor”, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, 6644–650, doi:10.1002/jgra.50580, 2013.

- [25] F. Ryde, J. Poutanen ve R. Svensson “In Gamma Ray Bursts: The First Three minutest”, ASP Conf. Proc. 190, 103, 1999.
- [26] S. Guiriec, ve ark., The Astrophysical Journal, preprint (arXiv:1009.5045), 2010.
- [27] K. Hurley, W. Paciesas ve G. Fishman, “In Gamma-Ray Bursts”, AIP Conf. Proc. 265, pp. 3. New York: AIP, 1992.
- [28] E. P. Mazets ve S. V. Golenetskii, “Recent results from the gamma-ray burst studies in the KONUS experiment”, Astrophysics and Space Science, 75, pp. 47– 81, 1981.
- [29] W. S. Paciesas, M. S. Briggs, R. D. Preece ve R. S. Mallozzi, AIP Conf. Proc. 662, 2003.
- [30] G. Ghirlanda ve ark., Astronomy and Astrophysics, 496, 585, 2009.
- [31] G. Ghisellini, L. Nava, G. Ghirlanda ve A. Celotti, Astronomy and Astrophysics, 530, A21, 2011.
- [32] A. Goldstein, J. M. Burgess, R. D. Preece et al., “The fermi GBM gamma-ray burst spectral catalog: the first two years”, The Astrophysical Journal, vol. 199, no. 1, article 19, 2012.
- [33] J. P. Norris ve J. T. Bonnell., The Astrophysical Journal, 643, 266, 2006.
- [34] J. P. Norris, N. Gehrels, ve J. D. Scargle, “Heterogeneity in short gamma-ray bursts”, The Astrophysical Journal, vol. 735, no. 1, article 23, 2011.
- [35] T. N. Ukwatta, “Spectral Lags and Variability of Gamma-ray Bursts in the Swift Era”, Phd, 2010.
- [36] N. Gehrels, J. P. Norris, S. D. Barthelmy ve ark., “A new Gamma-ray burst classification scheme from GRB06061”, Nature, 444 , pp. 1044–1046, 2006.
- [37] L. Amati, F. Frontera, M. Tavani ve ark., “Intrinsic spectra and energetics of BeppoSAX gamma-ray bursts with known redshifts”, Astronomy and Astrophysics, vol. 390, no. 1, pp. 81–89, 2002.
- [38] Y. Qin, E.-W. Liang, Y.-F. Liang ve ark., “A comprehensive analysis of fermi gamma-ray burst data. III. energy-dependent T_{90} distributions of GBM GRBs and instrumental selection effect on duration classification”, The Astrophysical Journal, vol. 763, no. 1, article 15, 2013.

- [39] R. Tsutsui, D. Yonetoku ve T. Nakamura, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 431,1398, 2013.
- [40] E. Berger, “Short-duration Gamma-ray bursts”, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 52, no. 1, pp. 43–105, 2014.
- [41] A. Gomboc, “Unveiling the Secrets of Gamma Ray Bursts”, *Contemporary Physics*, 1–20, 2012.
- [42] T. J. Galama, P. M. Vreeswijk, J. van Paradijs et al., “An unusual supernova in the error box of the Gamma-ray burst of 25 April 1998”, *Nature*, vol. 395, no. 6703, pp. 670–672, 1998.
- [43] J. Hjorth, J. Sollerman, P. Møller ve ark., “A very energetic supernova associated with the Gamma-ray burst of 29 March 2003”, *Nature* 423 , p. 847, 2003.
- [44] K. Z. Stanek, T. Matheson, P. M. Garnavich ve ark., “Spectroscopic discovery of the supernova 2003dh associated with GRB 030329”, *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 591, no. 1, pp. L17–L20, 2003.
- [45] S. E. Woosley ve J. S. Bloom, “The supernova-gamma-ray burst connection”, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 44, pp. 507–556, 2006.
- [46] J. Hjorth ve J.S. Bloom, “The Gamma-Ray Burst - Supernova Connection, The GRB-Supernova Connection in Gamma-Ray Bursts”, *Cambridge University Press*, 2012.
- [47] A. I. MacFadyen ve S. E. Woosley, “Collapsars: gamma-ray bursts and explosions in ‘failed supernovae’”, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 524, no. 1, pp. 262–289, 1999.
- [48] A. Abramovichi, ve ark., *Astrophysics and Space Science*, 256–325, 1992.
- [49] T. Acadia ve ark., *Class.Quant.Grav.* 28, 025005, 2011.
- [50] M. R. Metzger, S. G. Djorgovski, S. R. Kulkarni, ve ark., “Spectral constraints on the redshift of the optical counterpart to the Gamma-ray burst of 8 May 1997”, *Nature*, 387, pp. 878–880, 1997.
- [51] S. R. Kulkarni, S. G. Djorgovski, S. C. Odewahn ve ark., “The afterglow, redshift and extreme energetics of the Gamma-ray burst”, *Nature* 398, 389-394, 1999.

- [52] A. Nousek, C. Kouveliotou, D. Grupe ve ark., “Evidence for a canonical gamma-ray burst afterglow light curve in the Swift XRT data”, *The Astrophysical Journal*, vol. 642, no. 1, pp. 389–400, 2006.
- [53] G. Tagliaferri, M. Goad, G. Chincarini ve ark., “An unexpectedly rapid decline in the X-ray afterglow emission of long -ray bursts”, *Nature* 436, 985-988, 2005.
- [54] P. Kumar ve A. Panaitescu, “Afterglow Emission from Naked Gamma-Ray Bursts”, *The Astrophysical Journal*, 541, L51-L54, 2000a.
- [55] E. Waxman, S. Kulkarni ve D. Frail, *The Astrophysical Journal*. 497:288, 1998.
- [56] G. B. Taylor, D. A Frail, E. Berger, S. Kulkarni, “RThe Angular Size and Proper Motion of the Afterglow of GRB 030329”, *The Astrophysical Journal* 609, L1-L4, 2004.
- [57] F.A. Harrison, J.S. Bloom, D.A. Frailve ark., “Optical and Radio Observations of the Afterglow from GRB990510: Evidence for a Jet”, *The Astrophysical Journal* ,523, p. L121, 1999.
- [58] K. Z. Stanek, P. M. Garnavich, J. Kaluzny, W. Pych, ve I. Thompson, *GCN Circ.* 318 (<http://gc.gsfc.nasa.gov/gcn/gcn3/318.gcn3>) First citation in article, 1999.
- [59] D. A. Frail, S. R. Kulkarnı, R. Sarı ve ark., “Beaming in Gamma-Ray Bursts: Evidence for a Standard Energy Reservoir”, *Astrophysical Journal Letters*, 562, pp. L55–L58, 2001.
- [60] J. S. Bloom, S. G. Djorgovski ve S. R. Kulkarnı, “The Redshift and the Ordinary Host Galaxy of GRB 970228”, *The Astrophysical Journal*, 554 , pp. 678– 683, 2001.
- [61] E. Berger ve ark., *Nature*, 426:154, 2003.
- [62] R. Chevalier, ve L-Zk. Li, , *The Astrophysical Journal*, 536:195, 2000.
- [63] A. Panaitescu ve P. Kumar, “Properties of relativistic jets in gamma-ray burst afterglows”, *The Astrophysical Journal*, vol. 571, no. 2, pp. 779-789, 2002.
- [64] S. A. Yost, F. A Harrison, R. Sari, D. A. Frail, “A Study of the Afterglows of Four Gamma-Ray Bursts: Constraining the Explosion and Fireball Model”, *The Astrophysical Journal* 597, 459-473, 2003.

- [65] N. Gehrels, E. Ramirez-Ruiz, and D. B. Fox, “Gamma-ray bursts in the swift era,” *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 47, pp. 567–617, 2009.
- [66] “Anatomy of a gamma ray burst | Shock wave, Astrophysics, Science”, Pinterest, <https://i.pinimg.com/originals/88/4a/09/884a09ef250e82ec57c4e9902f8ac5a0.jpg>, [Eriřim tarihi: 03- Mart- 2020].
- [67] “GLASTInstruments”, <http://www.ba.infn.it/~glast/img/instrumentsGLAST.jpg>, [Eriřim tarihi: 01- Mart- 2020].
- [68] "High Energy Astrophysics with the Fermi Large Area Telescope Elizabeth Hays (NASA/GSFC) On behalf of the Fermi LAT Collaboration", slideplayer, https://images.slideplayer.com/36/10648319/slides/slide_3.jpg, [Eriřim tarihi: 03- şubat- 2020].
- [69] A. A. Abdo, M. Ackermann, M. Ajello ve ark., “A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects”, *Nature*, vol. 462, no. 7271, pp. 331–334, 2009.
- [70] F. Piron, “Gamma-Ray Bursts at high and very high energies”, *C. R. Physique* XX, 2015.
- [71] A. A. Abdo ve ark., *The Astrophysical Journal*, 716, 1178, 2010.
- [72] M. D. Pasquale ve ark., *Astrophysical Journal Letters*, 709, L146, 2010.
- [73] “LAT Photon, Event, and Spacecraft Data Query ”, Fermi Gamma-ray Space Telescope Data Access LAT Data Queries, <https://fermi.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/ssc/LAT/LATDataQuery.cgi>, [Eriřim tarihi: 03- Mart- 2020].
- [74] “LAT GRB Catalog” Fermi Gamma-ray Space Telescope Data Access, LAT Data, https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/observations/types/grbs/lat_grbs/table.php, [Eriřim tarihi: 03- Mart- 2020].
- [75] E. E. Fenimore, E. Ramirez-Ruiz, “ Redshifts For 220 BATSE Gamma-Ray Bursts Determined by Variability and the Cosmological Consequences”, *ArXiv Astrophysics e-prints*, 2000.

- [76] D. E. Reichart, D. Q. Lamb, E. E. Fenimore ve ark., “A Possible Cepheid-like Luminosity Estimator for the Long Gamma-Ray Bursts”, *The Astrophysical Journal*, 552, 57-71, 2001.
- [77] C. Guidorzi, F. Frontera, E. Montanari ve ark., “The gamma-ray burst variability- peak luminosity correlation: new results”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 363, 315-325, 2005.
- [78] C. Guidorzi, A. Monfardini, A. Gomboc ve ark., “The Automatic Real-Time Gamma-Ray Burst Pipeline of the 2 m Liverpool Telescope”, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118, p. 288, 2006.
- [79] L.-X. Li ve B. Paczyński, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 219, 2006.
- [80] A. M. Beloborodov, “On the efficiency of internal shocks in Gamma-ray bursts”, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 539, no. 1, pp. L25–L28, 2000.
- [81] G. A. Maclachlan ve ark., “Minimum variability time-scales of long and short GRBs”, *Volume 432, Issue 2*, p.857-865, 2013.
- [82] P. N. Bhat ve ark., “Temporal Deconvolution Study of Long and Short Gamma-Ray Burst Light Curves”, *The Astrophysical Journal*, 744, 141, 2012.
- [83] E. Sonbas, ve ark., “A New Correlation between GRB X-Ray Flares and the Prompt Emission”, *The Astrophysical Journal Letters*. 767:28, 2012.
- [84] P. Flandrin, “IEEE”, *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35,197, 1989.
- [85] P. Flandrin, “IEEE”, *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38,910, 1992.
- [86] S. G. Mallat, “IEEE”, *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11, 674, 1989.
- [87] D. Percival ve A. Walden. “Wavelet Methods for Time Series Analysis”, Cambridge University Press, Cambridge, England, 2000.
- [88] D. B. Percival ve A. T. Walden, “Wavelet Methods for Time Series Analysis”, Cambridge University Press, 2002.

- [89] P. S. Addison, E. Costa, F. Frontera, ve J. Hjorth , “The Illustrated Wavelet Transform Handbook, IOP Publishing Ltd. Afterglow Era: Proceedings of the International Workshop Held in Rome, Italy’’, 1ESO astrophysics symposia. ISBN 3- 540-42771-6. Edited by. Springer-Verlag, , p. 288, 2002.
- [90] F. Quilligan, B. McBreen, L. Hanlon, ve ark., Astronomy and Astrophysics, 385,377, 2002.
- [91] J. Hakkila ve Cumbee, “in AIP Conf. Proc. 1133’’, Gamma-Ray Burst, 379, 2009.
- [92] P. N. Bhat ve S. Guiriec, BASI, 39, 471, 2011.
- [93] J. Hakkila ve Preece, The Astrophysical Journal , 740,104, 2011.
- [94] M. Ajello, M. Arimoto, M. Axelsson ve ark., The Astrophysical Journal, 878, 52, 2019.
- [95] K. Ioka, Prog. Theor. Phys., 124,667, 2010.
- [96] K. Toma, X. F Wu ve P. Mészáros, arXiv:1002.2634, 2010.

Adı Soyadı : Ali MUTLU
Doğum Yeri : Adıyaman
Doğum Tarihi : 20/12/1989
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : Mutlu5632@hotmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Fizik	Adıyaman Üniversitesi	2020
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisi	Erciyes Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Adıyaman Lisesi	2007