



**KIRMIZIYA KAYMASI BİLİNEN GAMA-IŞIN  
PATLAMALARININ TAYFSAL  
GECİKME VE KARAKTERİSTİK  
ZAMAN ÖLÇEKLERİ**

**Dilem GÖKTAŞ**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU**  
**Yüksek Lisans Tezi**  
**Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı**  
**2020**  
(Her hakkı saklıdır.)

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ASTRONOMİ ve ASTROFİZİK ANA BİLİM DALI

**KIRMIZIYA KAYMASI BİLİLEN GAMA-IŞIN PATLAMALARININ TAYFSAL  
GECİKME VE KARAKTERİSTİK ZAMAN ÖLÇEKLERİ**  
(Spectral Lags and Characteristic Time Scale Of Gamma-Ray Burst with Known Redshift)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilem GÖKTAŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU  
İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eda SONBAŞ

Erzurum  
Temmuz, 2020

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Dilem GÖKTAŞ tarafından hazırlanan “Kırmızıya Kayması Bilinen Gama-Işın Patlamalarının Tayfsal Gecikme ve Karakteristik Zaman Ölçekleri” başlıklı çalışması 20/07/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı, Astronomi ve Astrofizik Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK  
*Atatürk Üniversitesi* .....

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU  
*Atatürk Üniversitesi* .....

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Eda SONBAŞ  
*Adıyaman Üniversitesi* .....

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Nazlı KARAMAN  
*Adıyaman Üniversitesi* .....

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Ganim GEÇİM  
*Atatürk Üniversitesi* .....

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

**Prof. Dr. Mehmet KARAKAN**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU danışmanlığında sunulan “Kırmızıya Kayması Bilinen Gama-Işın Patlamalarının Tayfsal Gecikme ve Karakteristik Zaman Ölçekleri” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	3	30
Materyal ve Yöntem	2	35
Bulgular	0	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	4	25

*Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.*

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Dilem GÖKTAŞ	Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU
20.7.2020	20.7.2020
İmza:	İmza:

\* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun ....../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun ....../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince her tűrlű yardım ve űnerilerini esirgemeyen, bilgi ve tecrűbelerinden yararlanma fırsatı saęlayan ve zorlandığım anda her konuda bana destek olan tez danıőmanım Dr. Őęr. Ŭyesi İlham NASIROęLU ve ikinci tez danıőmanım Prof. Dr. Eda SONBAŐ'a sonsuz teőekkűr ve saygılarımı sunarım. Tezin yazımı sırasında űnerileri ve yardımları için ayrıca Dr. Őęr. Ŭyesi Aykut ŐZDŐNMEZ'e çok teőekkűr ederim.

Őęrencilik sűreci boyunca sabrı ve gayreti için sevgili anneme, çabası ve desteği için canım babama ve her ihtiyaç duyduğum anda, uzakta olsalar da yanımda hissettiğim kardeőlerim aęla ve Yakup'a manevi destekleri için çok teőekkűr ederim. Son olarak bu tez çalıőmam sırasında manevi desteklerini esirgemeyen adını yazamadığım dostlarım ve çalıőma arkadaőlarıma varlıklarından dolayı minnettarım.

**Dilem GÖKTAŞ**

**\*\*\* Sevgili Aileme \*\*\***



**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**KIRMIZIYA KAYMASI BİLİLEN GAMMA-IŞIN PATLAMALARININ TAYFSAL**  
**GECİKME VE KARAKTERİSTİK ZAMAN ÖLÇEKLERİ**

**Dilem GÖKTAŞ**

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU

**İkinci Tez Danışmanı:** Prof. Dr. Eda SONBAŞ

**Amaç:** Yüksek ve düşük enerjili fotonların varış zamanları arasındaki fark olarak tanımlanan tayfsal gecikme ve anlık yayınının önemli parametrelerden biri olan karakteristik zaman ölçeği GIP'ların doğasını anlayabilmek için uzun zamandır kullanılan iki parametredir. Bu tez çalışmasında, kırmızıya kayması bilinen çok sayıda GIP için bu parametrelerin değerlerinin hesaplanması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılarak aralarındaki olası ilişkinliğin araştırılması amaçlanmıştır.

**Yöntem:** Swift/BAT tarafından 2011-2019 yılları arasında gözlenen ve kırmızıya kayma değerleri bilinen 170 GIP'ın zamansal özelliklerini incelemek için minimum değişkenlik zaman ölçeği (MTS; Minimum Variability Time Scale) wavelet (dalgacık) tekniği kullanılarak ve tayfsal gecikme değerleri ise çapraz ilişkinlik fonksiyonu (CCF; Cross Correlation Function) kullanılarak elde edilmiştir. Işık eğrilerinin indirgenmesi ve analizi için HEASOFT (High Energy Astrophysics Software) ile birlikte Swift-BAT için hazırlanan yazılımlar kullanılmıştır.

**Bulgular:** İncelenen kısa ve uzun süreli patlamaların MTS değerleri karşılaştırıldığında belirgin bir ayırım görülmüştür. Patlamaların tayfsal gecikme değerleri literatürle uyumlu olarak kısa süreli patlamalar için sıfır ile uyumlu elde edilmiştir. Patlamaların MTS değerleri ile tayfsal gecikme değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında aralarında bir ilişkinlik olduğu görülmüştür.

**Sonuç:** İncelenen kaynakların MTS değerleri patlama süreleri (T90) ile karşılaştırılmış ve elde edilen zamansal gecikmenin T90'dan küçük olduğu bulunmuştur. Ayrıca MTS değerlerinin de daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olarak belirgin bir ayırım gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte uzun süreli patlamaların kısa süreli patlamalara göre daha yüksek bir tayfsal gecikme gösterdiği bulunmuştur. Son olarak elde edilen MTS değerleri ile tayfsal gecikme değerleri arasında pozitif bir ilişkinlik olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Gamma-ışın patlamaları, Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği, Tayfsal Gecikme, Wavelet, CCF.

**Temmuz 2020, 72 Sayfa**

## ABSTRACT

## MS THESIS

# SPECTRAL LAGS AND CHARACTERISTIC TIME SCALES OF GAMMA-RAY BURSTS WITH KNOWN REDSHIFT

Dilem GÖKTAŞ

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlham NASIROĞLU**

**Co-supervisor: Prof. Dr. Eda SONBAŞ**

**Purpose:** Two important parameters of the prompt emission in GRBs, which can be used to understand their nature, are spectral lags and a characteristic time scale. In this thesis, we extracted these parameters for a sample of GRBs with known redshift and investigated a possible correlation between them.

**Method:** We extracted the Minimum Variability Time Scale (MTS) using a technique based on wavelets, and spectral lags via the cross-correlation function (CCF), to probe the temporal properties of 170 GRBs with known redshift observed by the Swift/BAT satellite between 2011-2019. The mask-weighted and background subtracted light curves were generated using HEASOFT and the software tools available for Swift/BAT.

**Findings:** The short-duration bursts have a variability time scale that is significantly shorter than long-duration bursts. Spectral lag values for short duration GRBs have been found to be consistent with zero within errors. The spectral lags for the prompt emission in long-duration GRBs show a strong positive correlation with MTS.

**Results:** The majority of long and short GRBs exhibit an MTS value longer than T90 although a few short and long GRBs appear to approach the limit of equality. In addition, the two groups are fairly well clustered in the MTS-T90 plane. Long-duration GRBs show a higher spectral lag than short-duration GRBs. Finally, the spectral lag for the prompt emission in the long-duration GRBs shows a strong positive correlation with MTS.

**Keywords:** Gamma-Ray Burst, Minimum Variability Time Scale, Spectral Lag, Wavelet, CCF.

**July 2020, 72 Pages**

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ .....	viii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
1.1. Tarihsel Süreçler .....	3
1.2. Ateş Topu Şok Modeli.....	10
1.3. Anlık Yayınım .....	11
1.4. Ardıl Işınım.....	13
X-ışın Ardıl Işınım .....	14
Optik Ardıl ışınım .....	15
Radyo Ardıl ışınım.....	16
1.5. Merkezi Motor .....	16
1.6. GIP'ların Ataları .....	17
MATERYAL ve YÖNTEM .....	21
2.1. Neil Gehrels Swift Gözlemevi.....	21
BAT: The Burst Alert Telescope .....	22
XRT ve UVOT.....	23
2.2. Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği .....	24
Dalgacık (wavelet) Dönüşümü.....	25
Ardalan Gürültüsünün Çıkarılması .....	27
Verilerin İndirgenmesi ve MTS Değerlerinin Hesaplanması .....	28
2.3. Tayfsal Gecikme (LAG) .....	32
Zaman Bin (Çözümlemesi) Seçimi .....	32
Verilerin İndirgenmesi ve Tayfsal Gecikme Değerlerinin Hesaplanması .....	34
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMALAR .....	36
SONUÇ.....	44
KAYNAKLAR.....	45
EKLER .....	50
Ek-1. Kısa süreli GIP'ların MTS değerleri ve $T_{90}$ süreleri .....	50
Ek-2. Uzun süreli GIP'ların MTS değerleri ve $T_{90}$ süreleri.....	51
Ek-3. Uzun ve Kısa süreli GIP'lar için kaynak çerçeve enerji bantları.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	60

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> BAT Parametreleri.....	23
<b>Tablo 2.</b> Swift-BAT GIP'ların 1. ve 2. enerji kanallarına göre tayfsal gecikme değerleri. ....	40
<b>Tablo 3.</b> Tayfsal gecikme değeri sıfır ile uyumlu olan kaynaklar. ....	41
<b>Tablo 4.</b> Tablo 2’de verilen tayfsal gecikme değerleri hesaplanan kaynakların literatürde bulunan ve Şekil 26’da gösterilen $Lag/(1+z)$ ye karşı çizilen Liso değerleri. ....	42



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Tespit edilen ilk GIP'in ışık eğrisi.....	4
Şekil 2. GIP'ların gökyüzündeki eş-dağılım haritası .....	5
Şekil 3. BATSE gama ışınlarının süre dağılımı.....	6
Şekil 4. GRB 970228 patlamasının X-ışın ve optik ardıl ışınımını göstermektedir.....	7
Şekil 5. Ateştopu şok modelinin uzun ve kısa süreli GIP'lar için şematik gösterimi .....	11
Şekil 6. Swift/BAT ile elde edilmiş bazı GIP'ların anlık yayılım ışık eğrileri.....	12
Şekil 7. BATSE tarafından tespit edilen GRB 990123'ün tayf örneği.....	14
Şekil 8. Standart GIP X-ışın ışık eğrisi .....	14
Şekil 9. GIP'lar için karadelik merkezi motor modelinde bir karadelik yığılma diski sisteminin oluşunun şematik gösterimi .....	17
Şekil 10. Uzun süreli ve kısa süreli GIP'lar için önerilen ata modellerin şematik gösterimi ..	18
Şekil 11. İki nötron yıldızı birleşme simülasyonunun anlık görüntüleri .....	20
Şekil 12. Swift uydusunun şematik gösterimi .....	22
Şekil 13. Swift'in Patlama Uyarı Teleskobu .....	23
Şekil 14. Swift/BAT teleskobu ile tespit edilen kaynakların seçim kriterleri. ....	29
Şekil 15. 2018 yılı için Swift veri tabanına örnek bir çıktı. ....	29
Şekil 16. GRB 181020A uzun süreli patlama için 200 $\mu$ s'de patlama ve gürültü bölgelerinin örnek gösterimi .....	30
Şekil 17. GRB 181110A uzun süreli patlama için 64 ms'de patlama ve gürültü bölgelerinin örnek gösterimi .....	31
Şekil 18. Logaritmik-ölçek diyagramı üzerinde uzun süreli bir GIP (GRB 181020A) için ardaalan (mor), kırmızı gürültü (yeşil) ve temizlenmiş GIP sinyalinin gösterimi. ....	31
Şekil 19. Gürültünün CCF üzerindeki etkisi .....	33
Şekil 20. Farklı enerji kanalları için GRB 110503A'nın Swift-BAT ile alınan anlık gamma ışını ışık eğrileri. ....	34
Şekil 21. Zaman gecikmesinin bir fonksiyonu olarak CCF'in gösterimi.....	35
Şekil 22. Swift/BAT tarafından tespit edilen uzun süreli ve kısa süreli GIP'ların MTS değerlerinin gözlemci çerçevesinde dağılımları. ....	37
Şekil 23. Swift/BAT tarafından tespit edilen uzun ve kısa süreli GIP'ların kaynak çerçevesinde dağılımları gösterilmektedir .....	37
Şekil 24. Gözlemci çerçevesindeki T90'a karşı MTS değerlerinin gösterimi .....	38
Şekil 25. Kaynak çerçevesindeki T90'a karşı MTS değerlerinin gösterimi .....	39
Şekil 26. Kaynak çerçeve enerji aralığı bantları 100-150 keV ve 200-250 keV arasındaki tayfsal gecikmeler ve izotropik tepe parlaklığı bir log-log grafiği.....	42
Şekil 27. GIP anlık yayılımı için elde edilen tayfsal gecikme ve MTS arasındaki ilişki gösterilmektedir. ....	43

## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

GIP	: Gama Işın Patlaması
GRB	: Gamma Ray Burst
IMP-6	: Interplanetary Monitoring Platform
IPN	: Interplanetary Network
CGRO	: Compton Gamma-Ray Observatory (Compton Gama Işın Gözlemevi)
BATSE	: Burst And Transient Source Experiment
HETE-2	: High-Energy Transient Explorer
INTEGRAL	: The INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysics Laboratory
BAT	: Patlama Uyarı Teleskopu; Burst Alert Telescope
XRT	: X-Ray Teleskopu
UVOT	: UV Optik Teleskopu
GBM	: Gama-ışını Patlama Monitörü
LAT	: Large Area Telescope
GCN	: GRB Coordinate Network
LIGO	: Lazer İnterferometre Kütle Çekim Dalga Gözlemevi
FOV	: Field-Of-View
DPH	: Pulse Height Amplitude
HEASOFT	: High Energy Astrophysics Software
MTS	: Minimum Variability Timee Scale
CCF	: Cross Crelation Function
FRED	: Fast Rise Exponential Decay
SN	: Süpernova
SGR	: Soft Gamma repeater
$T_{90}$	: Patlama süresi
keV	: Kilo elektron volt
MeV	: Mega elektron volt
Mpc	: Mega parsec
GeV	: Giga elektron volt
$F_{\nu}$	: Akı yoğunluğu
$z$	: Kırmızıya kayma
$J$	: Joule
$erg$	: Enerji birimi
$\Gamma$	: Lorentz faktörü
$\gamma$	: Gamma ışını

## GİRİŞ

Evren'deki en parlak olaylar olan GIP'lardan gama ışınlarında, birkaç saniye içinde  $10^{49-54}$  erg'lik bir enerji açığa çıkmaktadır. Başka bir deyişle GIP'lar, gama ışın dalga boyunda Samanyolu gökadasının tamamının birkaç yıl içerisinde yayacağı elektromanyetik enerjiyi onlarca saniye içerisinde yaymaktadır. İlk olarak 50 yıl önce gözlemlenen ve modern astrofiziğin en gizemli olaylarından biri olarak kabul edilen GIP'ların optik (görünür bant) karşılıklarının bulunması ile onları oluşturan fiziksel mekanizmaların detaylı bir şekilde çalışılması yaklaşık olarak kırk yılı aşkın bir süredir devam etmektedir. GIP'ların temelinde yatan fiziksel süreçleri açıklayan birçok model önerilmiş olsa da bu süreçlerin daha iyi anlaşılması üzerine yapılan çalışmalar günümüzde halen devam etmektedir.

Birkaç milisaniyeden binlerce saniyeye kadar süren öngörülemeyen bu patlamalar, merkezi motor tarafından yıldızlararası ortama rölativistik hızlarla fırlatılan kabuklar (outflow) ile karakterize edilirler. Bu kabuklar fırlatıldıktan çok kısa bir süre sonra çarpışarak iç şokları oluşturur. İlk olarak gama ışınlarında görülen ve anlık yayılım olarak tanımlanan büyük miktarda bir yayılım meydana gelir. Rölativistik hızlar ile ilerlemeye devam eden kabuklar daha sonra yıldızlararası ortam ile etkileşerek ters şokları ve dış şokları oluşturur. Dış şoklardan yayılan ışınım daha uzun dalga boylarında (X, optik/UV, kırmızı öte, radyo) yer/uzay tabanlı teleskoplar ile gözlenebilen ardıl ışınımları oluşturur. Patlamalar esnasında açığa çıkan anlık yayılım oldukça kısa sürerken (mili saniye-dakika) ardıl ışınımlar anlık yayımdan dakikalar sonra başlayıp günler mertebesinde gözlenebilirler. Bazı durumlarda ardıl ışınım X-ışınlarında aylar veya radyo dalga boyunda yıllarca devam edebilmektedir.

GIP'ların anlık yayılım ışık eğrileri periyodik olmayan oldukça düzensiz pikler göstermektedir. GIP'ların anlık yayınımlarında görülen bu düzensizliğin nedeni tam olarak anlaşılmamış olsa da bunun merkezi motor aktivitelerinden kaynaklanan iç şoklar ile oluştuğu düşünülmektedir. Bununla birlikte bazı patlamaların ışık eğrilerinde birden fazla parlama aktivitesi gözlenirken bazılarında ise sadece bir tane gözlenir. Ayrıca bazı patlamalar görelili olarak daha sönük fakat daha uzun süreli olabilmektedir. Bu nedenle patlamaların zamansal profilleri onların doğasını ve fiziksel süreçlerini tanımlamak için önemlidir.

GIP ışık eğrilerinin süresini belirlemek için yaygın olarak kullanılan parametre patlamanın toplam akısının %90'ının tespit edildiği süre olarak tanımlanan T90 süresidir. GIP'lar T90 süreleri temel alınarak uzun süreli patlamalar ( $T90 > 2$  saniye) ve kısa süreli patlamalar ( $T90 < 2$  saniye) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Uzun süreli GIP'ların büyük

kütleli yıldız çekirdeklerinin kendi üzerine çökmesi sonucu oluştuğu kısa süreli GIP'ların ise iki yoğun nesnenin ("NS-NS"; nötron yıldızı ve nötron yıldızı birleşmesi veya "NS-BH"; nötron yıldızı ve kara delik birleşmesi) birleşmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

T90 süresine ek olarak GIP'ların doğasını anlayabilmek için yapılan çalışmaların başında yüksek ve düşük enerjili fotonların varış zamanları arasındaki fark olarak tanımlanan tayfsal gecikme gelmektedir. Kısa ve uzun süreli GIP'ların anlık yayınım ışık eğrilerinden elde edilen tayfsal gecikmelerine bakıldığında kısa süreli GIP'ların uzun süreli olanlara göre ihmal edilebilir bir tayfsal gecikmeye sahip oldukları bilinmektedir. Her iki grup da patlama sırasında oldukça yüksek miktarda enerji yaysa da zamansal ve tayfsal özelliklerinin farklı olması onları oluşturan mekanizmalar arasında da farklıklar olabileceği konusunda şüphe bırakmamaktadır. Tayfsal gecikmeye ek olarak anlık yayınımın önemli parametrelerden biri olan minimum değişkenlik zaman ölçeği de GIP'ların doğasının ve ışık eğrilerindeki değişkenliğin araştırılmasında uzun zamandır kullanılan bir diğer parametredir.

Bu çalışmada, kaynak çerçevesinde oluşturulan tayfsal gecikme ve karakteristik zaman ölçeği değerleri, kırmızıya kayması bilinen 170 tane GIP için hesaplanacak ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak aralarındaki olası ilişki araştırılacaktır.

## KURAMSAL TEMELLER

Gama ışın patlamaları, evrende gözlenebilen en şiddetli ve en yüksek enerjili patlamalardır ( $10-10^4$  keV). Birkaç milisaniyeden yüzlerce saniyeye kadar sürebilen bu patlamalar günde ortalama bir kez, rastgele yönlerde ve kozmolojik mesafelerde meydana gelirler. Uzun süreli patlamaların ( $\geq 2$  saniye) büyük kütleli yıldız çekirdeklerinin kendi üzerine çökmesi sonucu ve küçük süreli patlamaların ( $\leq 2$  saniye) ise en az birinin nötron yıldızı olduğu iki yoğun nesnenin birleşmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Patlama anında merkezi motor tarafından ultra-rölativistik hızlarda fırlatılan kabuklar çok kısa bir süre sonra çarpışarak anlık yayılımı meydana getirirler. Anlık yayılım sürecinde termal olmayan tayflar ile karakterize edilen GIP'lar yüksek enerjili X-ışınlarında ve düşük enerjili gama ışınlarında düzensiz pikler gösterirler. Anlık yayılımı takiben rölativistik hızlar ile ilerlemeye devam eden kabuklar, yıldızlararası ortam ile etkileşerek farklı dalga boylarında (X-ışınlarından radyo dalgalarına kadar) gözlenebilen ve haftalar (ve hatta bazen aylar) sürebilen ardıl ışınımları oluştururlar (Costa *et al.* 1997; Frail *et al.* 1997; Piran 2004)

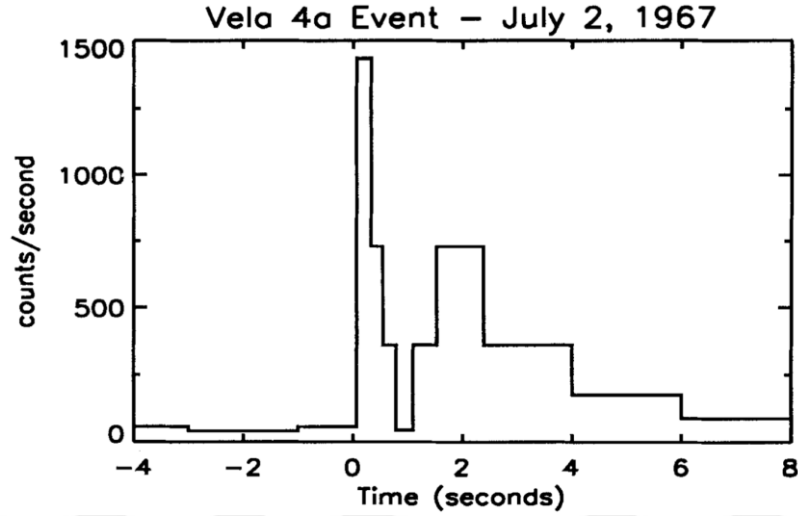
Son derece parlak nesnelere olan GIP'lar  $z \approx 10$ 'dan daha büyük kırmızıya kayma değerlerinde (hatta  $z \approx 15-20$ ) oluşmaları beklenir. Bu nedenle çok uzak (veya çok genç) evreni veya evrenin erken zamanını araştırmak için eşsiz bir araçlardır. GIP'lar özellikle, evrenin evrim sürecini (farklı kırmızıya kayma değerlerindeki metal bolluğunu, evrenin büyük yapısını, yıldız oluşum süreci ve oldukça yaşlı yıldızların özelliklerini) incelemek için iyi birer astrofizik laboratuvarı gibidirler (Reichart *et al.* 2001, Bouvier 2010; Levan 2018).

Gizemli doğaları nedeniyle günümüzde hala modern astrofiziğin en ilgi çekici ve en aktif çalışma alanlarından biri olan GIP'ların keşfedildikleri tarihten bu yana uzay tabanlı birçok teleskop projesiyle (BATSE, BeppoSAX, HETE-2, Swift ve Fermi gibi) takipleri yapılmış ve oluşum/yayılım mekanizmalarının (GIP atalarının doğası, merkezi motorları, enerji dağıtım ve yayılım mekanizmaları gibi) daha iyi anlaşılması için birçok çalışmaya konu olmuştur (Bouvier 2010; Levan 2018).

### 1.1. Tarihsel Süreçler

GIP'lar ilk kez 2 Temmuz 1967 tarihinde VELA uydusu tarafından tesadüfen keşfedilmiştir. Soğuk savaş döneminde (1963) Sovyetler Birliği, ABD (Amerika Birleşik Devletleri) ve Büyük Britanya arasında imzalanan Sınırlı Nükleer Test Yasağı Antlaşması (Nuclear Test Ban Treaty)'na göre suyun altında, atmosferde veya uzayda herhangi bir nükleer

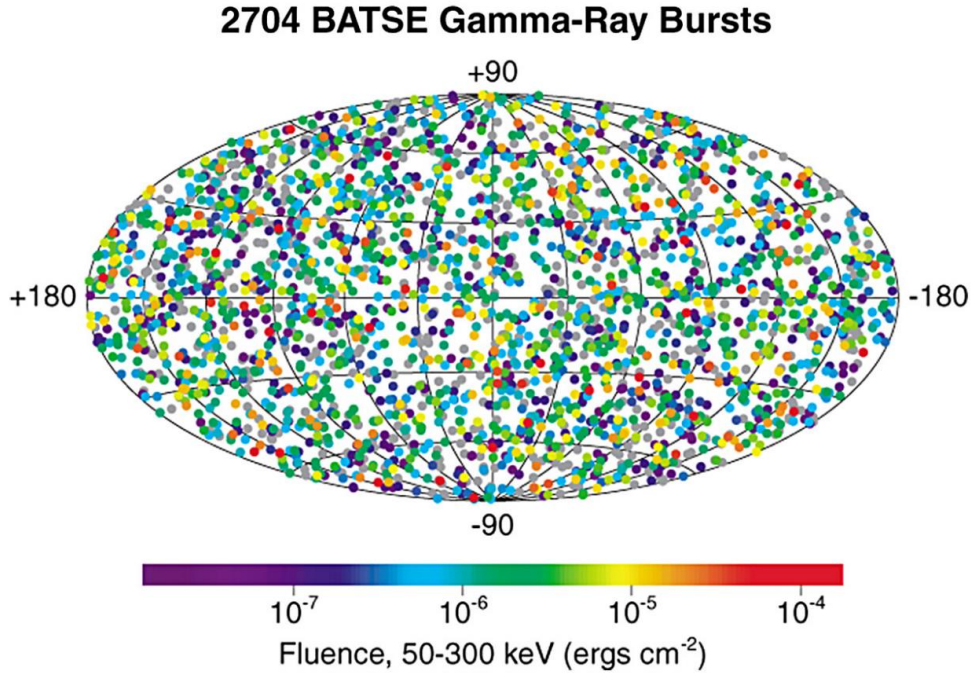
test yapılmayacaktı. ABD, Sovyetler Birliği'nin anlaşmaya uyup uymadığını denetlemek amacıyla Dünya yörüngesine VELA adlı gama ışın uydusu sistemlerini yerleştirdi. X-ışın, gama-ışın ve nötron detektörleri ile donatılan VELA uyduları tarafından atmosferi izlerken 2 Temmuz 1967 tarihinde tesadüfen herhangi bir nükleer silah izi taşımayan bir gama ışın yayılımı kaydedildi. Şimdilerde galaksi ötesi bir patlamadan kaynaklandığı bilinen ve GIP olarak adlandırılan bu gama ışın parlamasının (Şekil 1) yapılan analizler sonucunda dünya dışından kaynaklandığı Klebesadel *et al.* (1973) tarafından bir makalede bildirildi (Bonnell *et al.* 1996).



Şekil 1. Tespit edilen ilk GIP'in ışık eğrisi (Klebesadel *et al.* 1973)

Vela uydularından sonra GIP'ları tespit etmek ve incelemek için birkaç uydu daha yapılsa da bu uyduların açısal çözünürlüklerinin çok zayıf olması ve tespit edilen patlama sayısının az olması nedeniyle kökenlerinin ne olduğuna dair fikirlerin çıkmasını zorlaştırmıştır. Mart 1971'de NASA tarafından Güneş'te meydana gelen parlamaları takip etmek amacıyla fırlatılan IPM-6 (Interplanetary Monitoring Platform) uydusunda bulunan gama ışın detektörü ile beklenmedik bir şekilde birkaç GIP gözlenmiş ve bu patlamaların tayfsal verileri incelenerek GIP'ların sert X-ışın veya gama ışın yayınladıkları doğrulanmıştır (Anonim 2020a). 1991 yılına kadar GIP araştırmalarının ana aracı olan ve 1976'da kurulan Uydular Arası Ağ (IPN, Interplanetary Network) projesi ile GIP'ların konumları birkaç yay dakikasına hassasiyet ile tespit edilebilmiştir. Bu tespitler, GIP'ların karşılığının o zamanlar bilinen gök cisimlerin (X-ışın çiftleri gibi) olmadığını kanıtlamak için yeterliydi. Fakat IPN ile uzaklıkları tespit edilemediği için GIP'ların kökenine (galaktik mi galaksi ötesi objeler mi) dair belirsizlikler sonraki 15 yıl boyunca, BATSE detektörüyle donatılmış Compton Gama Işını Gözlemevi (CGRO; Compton Gamma Ray Observatory) projesinin başladığı 1991 yılına kadar devam etti (Ruderman 1975; Mészáros and Rees 2014, Anonim 2020b).

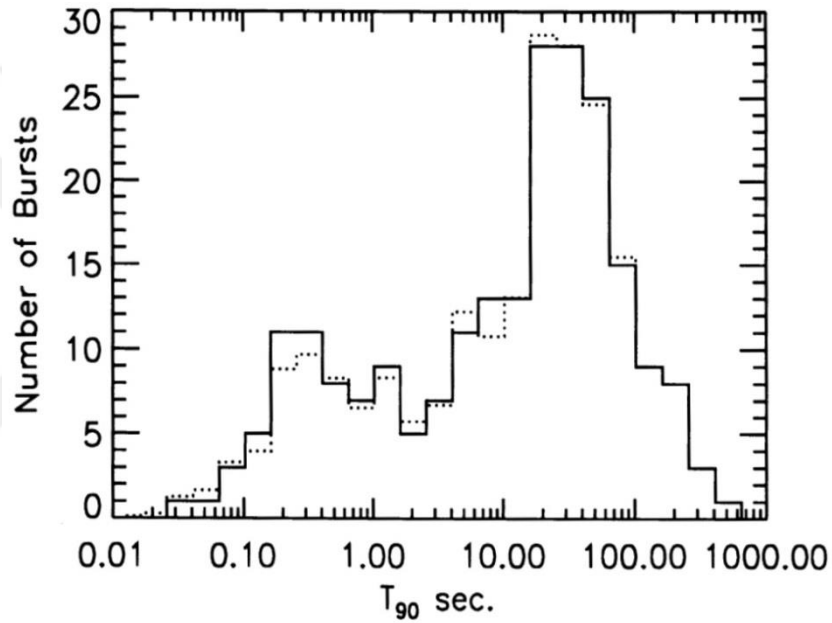
Önceki detektörlere göre daha hassas bir açısal çözünürlüğe (4 yay dakikası) sahip olan BATSE (1991-2000) ile 9 yıllık ömrü boyunca toplamda 2704 GIP tespit edilmiştir. Bu detektör ile ayrıca atarcalar, düşük enerjili gama ışın tekrarlayıcıları (SGR; Soft Gamma repeater), kara delikler ve diğer egzotik astrofiziksel nesnelere de algılanmıştır. BATSE'nin en çarpıcı sonuçlarından biri ~300 GIP'in konum tespitini yaparak kökenlerinin galaksi ötesi kaynaklı olduğuna dair kanıtların bulunmasıdır. Elde edilen bir diğer önemli sonuç ise BATSE'nin geliştirilmiş uzaysal hassasiyeti sayesinde GIP'lerin gökyüzünde eş (izotropik) bir dağılıma (Şekil 2) sahip olduğunun ortaya çıkmasıdır (Meegan *et al.* 1992; Paciesas *et al.* 1999; Bouvier 2010; Piotrowski 2011).



**Şekil 2.** GIP'lerin gökyüzündeki eş-dağılım haritası (Briggs *et al.* 1996)

GIP'lerin sınıflandırılmasında kullanılan ve anlık yayınının bir özelliği olan patlama sürelerinin belirlenmesi yine BATSE'den elde edilen sonuçlar sayesinde olmuştur (Şekil 3). Genel olarak patlamanın toplam akısının %90'lık kısmının yayınlandığı bu süre  $T_{90}$  parametresi ile tanımlanmıştır. Bu parametre, GIP'lerin tayfsal ve zamansal olarak oldukça farklı iki kategoride sınıflandırılmasını sağlamıştır.  $T_{90} \lesssim 2$  saniye olanlar “kısa patlamalar (yüksek enerjili)” ve  $T_{90} \gtrsim 2$  saniye olanlar ise “uzun patlamalar (düşük enerjili)” olarak gruplandırılmıştır (Kouveliotou *et al.* 1993). Ayrıca patlama sürenin tayfsal sertlik ile ilişkisi yine bu dönemde tanımlanmıştır. Kısa süreli patlamaların uzun olanlarına göre daha sert tayflara sahip olduğu dolayısı ile kısa süreli olanların daha fazla oranda yüksek enerjili gama ışın fotonları içerdiği tespit edilmiştir. BATSE döneminde iki sınıfa ayrılan patlamaların süreleri

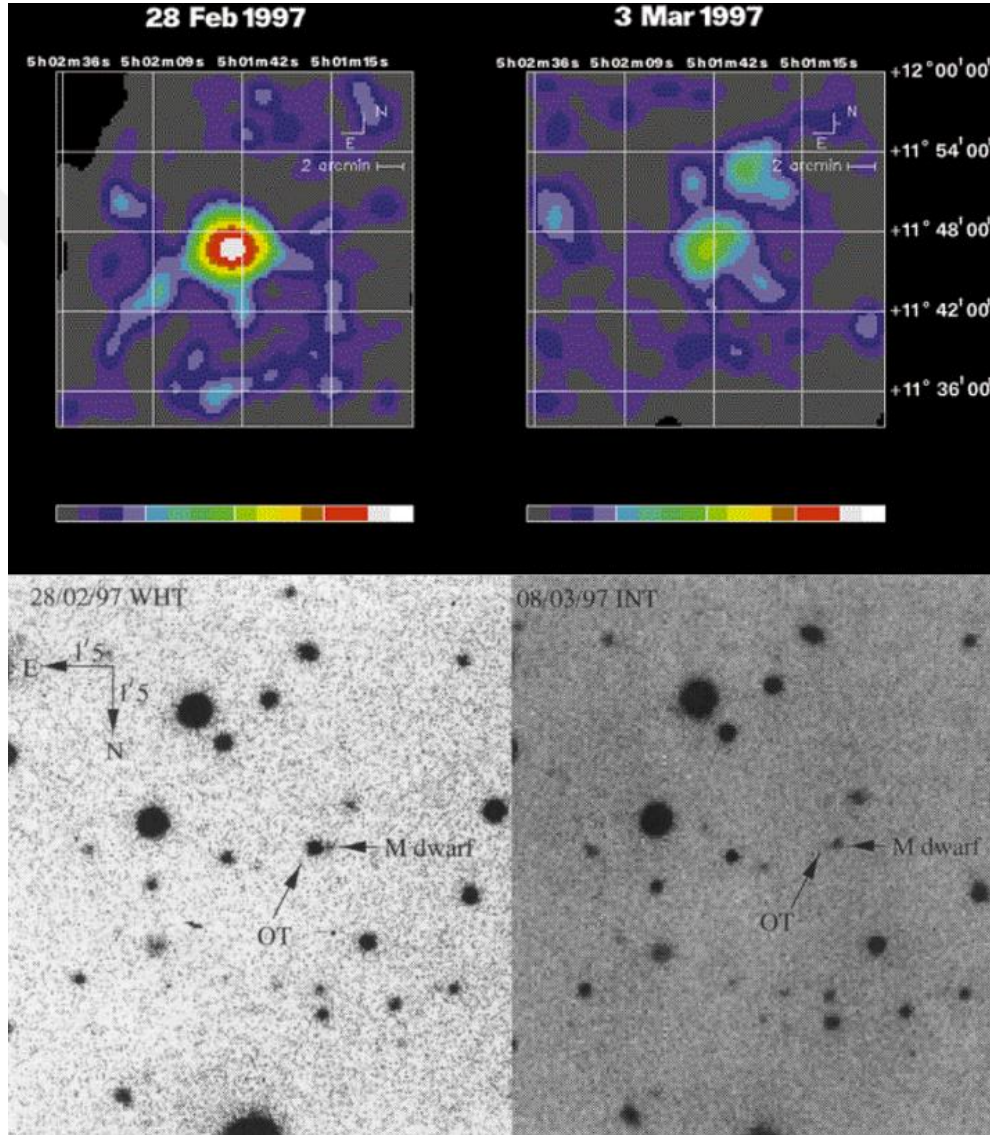
ve tayfları arasındaki bu belirgin farklılıklar GIP'ların oluşum mekanizmaları (ataları ve merkezi motorları) arasında da farklar olabileceğini düşündürmüştür (Fishman and Meegan 1985; Paczynski 1991; Woosley 1993, Band *et al.* 1993). Bununla birlikte yine bu dönemde BATSE ve benzer uydu teleskopların açısal çözünürlükleri yeterli olmadığından X-ışın ve optik teleskopları için gerekli olan konum tespiti yeterli hassasiyetle yapılamamıştır. Bu nedenle GIP'ların diğer dalga boylarında karşılıkları takip edilememiş ve gözlemler sadece gama ışınları ile sınırlı kalmıştır. Benzer şekilde görünür bantta tayfsal gözlemlerin yapılamamasından dolayı GIP'ların ne kadar uzakta oldukları da belirlenememiştir (Rees and Mészáros 1992; Mészáros and Rees 1993).



**Şekil 3.** BATSE gama ışınlarının süre dağılımı (Kouveliotou *et al.* 1993)

1996'da fırlatılan, İtalya-Hollanda ortaklığındaki BeppoSAX GIP'ları tespit etme ve daha hızlı bir şekilde konumlarını belirme imkânı sunmuştur (Boella 1997). BeppoSAX, sahip olduğu detektörler sayesinde birkaç yay dakikası hassasiyetle GIP'ların konumunu tespit edebilme ve birkaç saat içinde ise X-ışın takiplerini yapabilme özelliğine sahipti (Nicuesa 2017). Böylece BeppoSAX ile ilk defa bir GIP'm (GRB 970228) X-ışın ardıl ışınımının takibi yapılmış (Costa *et al.* 1997) ve yine bu patlamanın konumunun BeppoSAX ile yeteri kadar hassas bir şekilde belirlenebilmesi sonucunda ilk defa optikte GIP'ların ardıl ışınım (van Paradijs *et al.* 1997) takiplerine başlanmıştır (Şekil 4). Yine aynı yıl içinde başka bir kaynağın (GRB 970508) BeppoSAX ile belirlenen hassas konumu sayesinde ardıl ışınım takipleri ilk defa radyo dalga boyunda da yapılmıştır (Frail *et al.* 1997). Bu kaynağın optikte yapılan tayfsal ölçümlerinden yola çıkarak kırmızıya kayma ( $z=0.835$ ) değeri hesaplanmış (Metzger *et al.* 1997) ve böylece GIP'ların kozmolojik uzaklıklarda ( $7 \times 10^9$  ışık yılı) oldukları doğrulanmıştır.

Ardıl ışınımların elektromanyetik tayfin (X-ışınlarından radyoya kadar) her bölgesinde yapılan keşifleri GIP araştırmalarında yeni bir dönem başlatmıştır. Patlamaların hızlı ve hassas konum ölçümleri sayesinde kırmızıya kayma ölçümleri yapılarak GIP'ların büyük bir çoğunluğunun kozmolojik kökenli oldukları ve Büyük-Patlamadan sonraki en büyük elektromanyetik patlamalar oldukları kanıtlanmıştır. Bununla birlikte ardıl ışınım gözlemleri, GIP'ların bulunduğu ev sahibi galaksilerin tanımlanmasına da olarak sağlamıştır (Ukwatta 2010; Bouvier 2011).



**şekil 4.** GRB 970228 patlamasının X-ışın (üst sol panel) ve optik (alt sol panel) görüntüleri. Sağ üst ve alt paneller ise sırasıyla patlamadan bir kağ gün sonraki X-ışın (Costa *et al.* 1997) ve optik (van Paradijs *et al.* 1997) ardıl ışınımmını göstermektedir

GIP'ların atalarına dair yeni bir yaklaşım getiren bir diğer önemli keşif ise BeppoSAX tarafından tespit edilen uzun süreli bir GIP olan GRB 980425'in aynı bölgede tespit edilen bir Tip-Ic süpernova (SN1998bw) ile ilişkilendirilmesi idi (Galama *et al.* 1999). Süpernova ile GIP

arasındaki ilişkinin ilk gözlemsel kanıtı olan bu olay GIP'ların büyük kütleli yıldızların çekirdeklerinin çökmesi sonucu oluştuğu fikrini yeniden gündeme getirmiştir (Hjorth and Bloom 2012). Çünkü GIP'ların kökenini açıklamak için önerilen ilk modeller arasında süpernova (SN) patlamaları da vardı (Colgate 1974). Aslında bir GIP'tan yayılan toplam enerji ile bir SN'den patlama süresince açığa çıkan toplam enerji yaklaşık olarak aynıdır. Fakat ikisi arasında önemli bir fark vardır: SN'ler bu toplam enerjiyi birkaç aylık bir sürede optik dalga boyunda salarken bir GIP ise bu enerjiyi patlama anında birkaç saniye gibi bir sürede gama ışınlarında salmaktadır. Diğer bir fark ise, patlama sırasında GIP'lardan fırlatılan madde SN'lerin aksine rölativistik bir hıza sahiptir. Son olarak yayınım GIP'ların aksine SN'lerde termal bir yapıya sahiptir (Mészáros 2006). GRB 980425 patlamasından birkaç yıl sonra benzer bir ilişki GRB 030329 ile SN 2003dh için gözlemlendi (Hjorth *et al.* 2003). Bugünlerde artık uzun süreli GIP'ların en azından bir kısmının çekirdek çökmesi sonucu oluşan SN'ler ile ilişkili oldukları kabul edilmektedir.

GIP'ların ardıl ışınım keşiflerine başlanmasıyla birlikte, yeni tespit edilen bir GIP'ın koordinatlarını hızlı bir şekilde yer tabanlı gözlemlerine ulaştırılabilmesi ihtiyacı doğmuş ve bu nedenle 1997'de GIP koordinat Ağı (GCN: GRB Coordinate Network) kurulmuştur (Barthelmy *et al.* 1995). Böylece gökbilimciler GCN aracılığıyla uydulardan GIP uyarılarını alarak yer tabanlı teleskoplarını takip gözlemleri için yönlendirebilmekte ve takip gözlemleri hakkında bilgi alışverişinde bulunabilmektedirler.

BeppoSAX'tan hemen sonra, 2000 yılında uzaya fırlatılan NASA'nın bir diğer misyonu olan HETE-2 (High-Energy Transient Explorer, Ricker 1997) tümüyle GIP çalışmalarına adanmış çoklu dalga boylu gözlemler yapabilen bir uydudur. Bu uydu patlamaların anlık yayınım sürecini daha ayrıntılı çalışabilmek (Vanderspek *et al.* 1999) için GIP'ların konumlarını önceki uydulara göre daha hızlı (saniyeler mertebesinde) ve daha hassas bir şekilde tespit edilebilmesini ve BeppoSAX ile daha önceden tanımlanan düşük enerjili GIP'lara benzer olan 'X-ışın parlamaları' denilen yeni bir tür kaynağın tanımlanmasını sağlamıştır (Sakamoto *et al.* 2005). Ayrıca HETE-2 sayesinde ilk defa kısa süreli bir GIP (GRB 050709) için optik bantta ardıl ışınım gözlemleri yapılmıştır (Butler *et al.* 2005; Hjorth *et al.* 2005).

Kasım 2004'de görevine başlayan Swift teleskobu (Gehrels *et al.* 2004) GIP'ların anlık yayınımı ile ardıl ışınimleri arasındaki gözlemsel boşluğu tamamlamak için özel olarak tasarlanmıştır (O'Brien *et al.* 2006). BAT (Burst Alert Telescope), XRT (X-Ray Telescope) ve UVOT (Ultra-Violet/Optical Telescope), patlamaları tespit etmek ve patlamadan sonraki ardıl ışınım gözlemlerini yapmak için birlikte çalışırlar. BAT, patlamaları tespit ettikten sonra

konumlarını  $\sim 2$  yay dakikası hassasiyetle belirler. BAT'ın belirlediği bu koordinatlar doğrultusunda Swift, kendini oldukça hızlı bir şekilde kaynağa doğru yönlendirerek patlamanın XRT ve UVOT'un görüş alanına girmesini sağlar. Konum bilgisi ayrıca BAT tarafından hızlı bir şekilde GCN aracılığıyla yer tabanlı gözlemlerine bildirilir. Böylece yer tabanlı teleskoplar ile ardıl ışınım takip gözlemleri başlatılarak GIP'ların kırmızıya kayma ölçümleri yapılır ve ev sahibi galaksilerin özellikleri araştırılır (Gehrels *et al.* 2009).

GIP astronomisinin en büyük gizemi kısa süreli patlamaların doğasıydı. HETE-2 ve Swift'ten önce 50'den fazla uzun süreli patlamanın ardıl ışınım tespitleri yapılmış olmasına rağmen, kısa süreli patlamalar için herhangi bir ardıl ışınım gözlemi yapılamamıştı. Swift, 9 Mayıs 2005'de GRB 050509B'yi tespit etti. Saniyenin yirmide biri kadar kısa süren bu patlama ile ilk kez kısa süreli GIP'ların X-ışınlarında ardıl ışınım gözlemi yapılarak ev sahibi galaksiler hakkında bilgi edinildi. Uzun patlamaların meydana geldiği ev sahibi galaksilerin özelliklerinin (Leibler *et al.* 2010; Fong *et al.* 2010) kısa süreli patlamalara göre farklı olduğunu ve kısa süreli olanların tipik olarak düşük yıldız oluşum oranına sahip ev sahibi galaksilerde meydana geldiğini gösterdi. Ayrıca uzun süreli patlamalardan farklı olarak, kısa süreli patlamaları süpernovalar ile ilişkilendirecek herhangi eş zamanlı gözlemsel bir bilgi elde edilememiştir (Nakar 2007). Bu sonuçlar birlikte ele alındığında, kısa süreli patlamaların yaşlı bir yıldız popülasyonundan, büyük ihtimalle de yoğun çift yıldız sistemlerinin birleşmesinden (nötron yıldızı çifti veya nötron yıldızı-kara delik çifti) kaynaklandığı yorumunu desteklemiştir (Paczynski 1991; Nakar 2007). Swift tarafından gözlemlenen uzun süreli GIP'ların kırmızıya kayma ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ise bu patlamaların büyük kütleli bir yıldızın merkezi çekirdeğinin kara delik (MacFadyen 1999) veya muhtemelen bir magnetar (Usov 1992; Soderberg 2006) gibi yoğun bir nesneye çökmesi sonucu (*collapsars; çökertici model*) oluştuklarına dair anlayışı desteklemiştir. Uzun süreli GIP'lar  $z=0.0085$  (GRB 980425) ile  $z>8$  (GRB 090429B ve GRB 090423) arasındaki büyük bir kırmızıya kayma aralığında meydana gelmektedirler (Gehrels and Razzaque 2013).

Swift'ten hemen sonra Haziran 2008'de GIP'ları takip etmek için Yer yörüngesinde yerini alan diğer bir uydu projesi olan Fermi, Gama-ışını Patlama Monitörü (GBM: Gamma Ray Burst Monitor, Meegan *et al.* 2009) ve Geniş Alan Teleskobu (LAT: Large Area Telescope, Atwood *et al.* 2009) denilen iki detektörden oluşmaktadır. GIP'ların gözlemlerini  $\sim 5^\circ$  hassasiyetle belirleyebilen GBM detektörü, Swift BAT'e göre oldukça geniş bir enerji aralığına (8 keV-40 MeV) ve mükemmel bir hassasiyete sahip son derece güçlü bir gama ışın detektörüdür. LAT ise 20 MeV ile 300 GeV aralığında enerjiye sahip fotonları gözleyerek

kaynakların pozisyonlarını  $\sim 0.5$  yay dakikası hassasiyette hesaplar. Açısal çözünürlüğü 10 GeV'den daha küçük fotonlar için  $0^\circ.15$  ve 100 MeV'den daha büyük fotonlar için  $3^\circ.5$  derecedir. LAT'in görüş alanı gökyüzünün yaklaşık %20'sini kapsamakta ve her üç saatte bir gökyüzü bir kere taranabilmektedir.

Fermi ile yapılan gözlemler GIP'ların anlık yayınının doğasını araştırılmasında etkili rol almıştır. Özellikle daha önceden BATSE tarafından tespit edilen çoğu GIP'in benzer bir güç yasası tayfına (broken power-law spectra) sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Fermi, GIP'ların çoğunda yüksek enerjili fotonların, düşük enerjili fotonlara kıyasla birkaç saniyelik bir gecikme ile geldiğini ve düşük enerjili fotonlardan daha uzun süre gözlemlendiğini göstermiştir. Ayrıca Fermi, gama ışınlarındaki anlık yayınının geniş bant özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır (Abdo *et al.* 2009a, 2009b).

GIP'ların kökenine ilişkin teoriler Swift ve Fermi'den önce araştırılıp tartışılrsa da bu iki uydu elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde GIP'ların ardıl ışınımalarının belirlenmesi, patlamaların oluşum mekanizmaları ve yerleri hakkında önemli bilgiler elde edilmesini sağlamıştır. Dahası Swift ile birçok kısa süreli GIP patlaması ve bunların ardıl ışınımaları gözlenerek GIP'ların farklı ataları üzerinden iki farklı türden (kısa süreli ve uzun süreli GIP) sınıflandırılma konusundaki anlayış daha da ilerletildi. Hem Swift hem de Fermi ile toplanan gözlem verileri herkes tarafından ulaşılabilecek şekilde ilgili veri arşivlerine aktarılarak GIP'ların farklı dalga boylarında incelenmesi için gökbilimcilere çok önemli fırsatlar sağlanmaktadır.

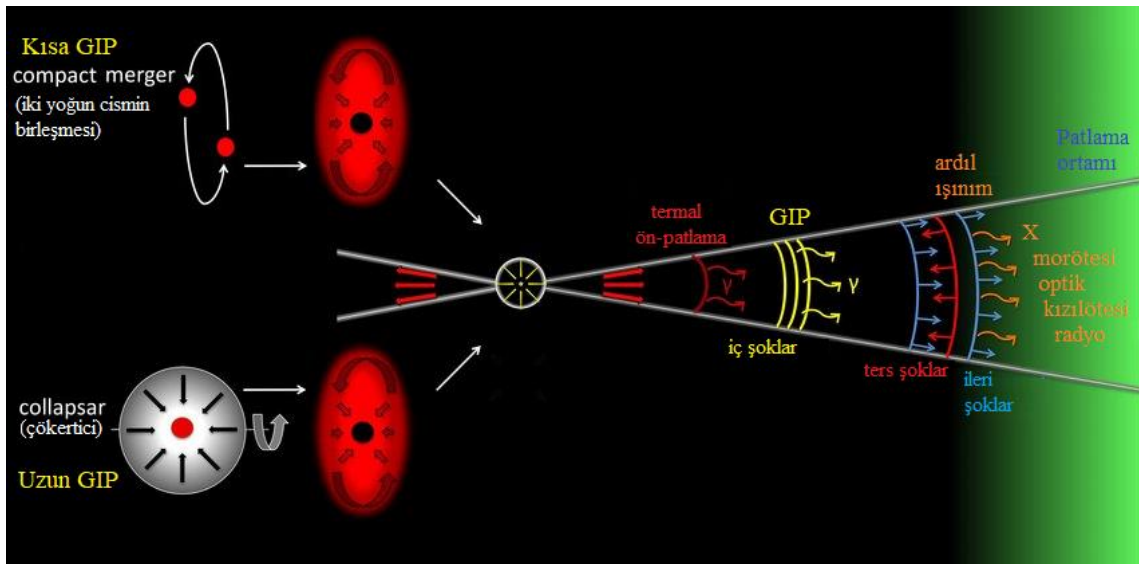
## 1.2. Ateş Topu Şok Modeli

Gama ışın patlamalarının yaklaşık 50 yıllık gözlemlerine rağmen, anlık yayının kökenine ilişkin temel sorular hala devam etmektedir. Gözlemler sonucunda görülen özelliklerin tümü anlaşılmasa da GIP'ların oluşum evresini ve devam eden süreçteki ardıl ışınımının evrimini tanımlayan en popüler model, 1990'lı yıllarda Martin Rees ve Peter Mészáros tarafından geliştirilen ateş topu (fireball) şok modeli olmuştur. Merkezi mekanizmadan bağımsız olan bu model, GIP'ların değişken zaman ölçeklerinde ve yüksek enerjilerde nasıl gerçekleştiğine dair bir açıklama getirebilmektedir. Ateş topu modeli başlangıçta enerjinin nasıl üretildiğini değil de ondan sonraki aşamada sürecin nasıl ilerlediğini açıklar (Mészáros and Rees 1993; Piran 2004; Levan 2018).

Ateş topu şok modeli termal olmayan yayınının üretiminde, anlık yayınım ve ardıl

ışınım aşamalarını rölativistik olarak hızlanan şoklar ile açıklamaktadır. Bu şoklar Senkrotron ve/veya ters-Compton süreçleri ile yayılmaktadır. Bu modele göre; merkezi motor (karadeliğe evrilen kütleli bir yıldızın veya kaynaşan iki yoğun yıldızın içi) tarafından ultra-rölativistik hızlara ulaştırılan ve  $e^{\pm}$ ,  $\gamma$  ve *baryon*'lardan oluşan madde kabukları (ateş topları) çok küçük bir hacimde hüzmelenerek yıldızın kutuplarına doğru akar. Farklı Lorentz faktörlerine sahip olan bu kabuklar kutuplardan dışarı doğru çıkarken sahip oldukları farklı hızlar nedeniyle birbirleriyle çarpışırlar. GIP'lar da bu çarpışmalar sonucunda oluşan *iç şoklar* neticesinde üretilirler. Bu iç şoklar sırasında oluşan *anlık yayınım* ise dışarıya fırlatılan maddenin kinetik enerjisinin ısısal enerjiye dönüşmesi sonucunda *gama ışınları* olarak gözlenir. İç şokları oluşturan rölativistik madde kabukları, yıldızın dış ortamına doğru ilerledikçe genişlemeye, birbirleriyle çarpışmaya ve milisaniye ile birkaç saniyelik zaman aralığındaki sürelerde gama ışını yaymaya devam eder (Mészáros 2002; Piran 1993, 2004).

Madde kabukları yıldızın dışına doğru ilerledikçe genişlemeye devam eder ve dış ortamda yıldızı çevreleyen maddesel ortamla çarpışarak etkileşmeye başlar. Bu çarpışmalar sonucunda madde kabukları yavaşlayarak dış şokların (ters ve ileri şoklar) oluşmasına ve dış şoklar ise daha düşük enerjilerde (X-ışınları, görünür, kırmızı-ötesi ve radyo dalgaları) patlamadan sonra saatler, günler hatta bazen haftalar boyunca süren *ardıl ışınımın* üretilmesine neden olur. Ateş topu şok modelinin şematik gösterimi Şekil 5'de verilmektedir (Piran 1993; Mészáros 2002; Piran 2004).

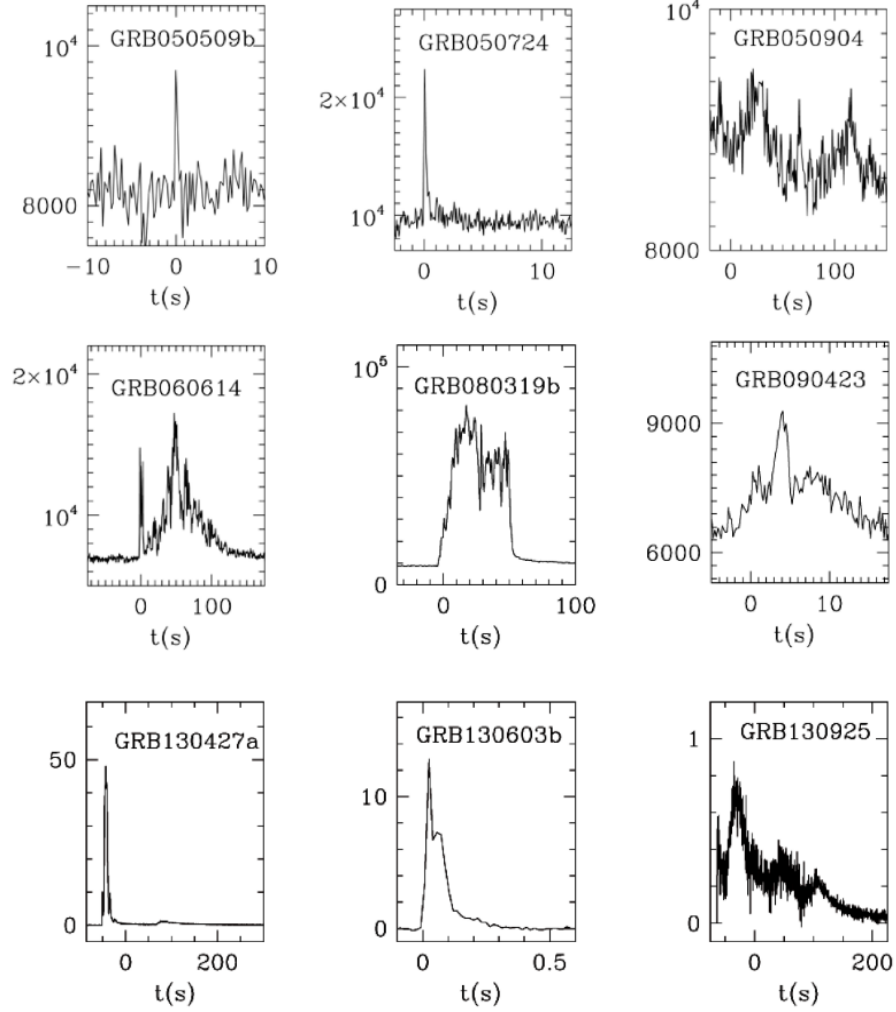


**Şekil 5.** Ateştopu şok modelinin uzun ve kısa süreli GIP'lar için şematik gösterimi (Gomboc 2012). Sağ taraf, iç ve dış şoklar ile oluşan anlık yayınım ve ardıl ışınım süreçlerini göstermektedir

### 1.3. Anlık Yayınım

Gama ışın patlamaları  $>100$  keV enerjilerde gama ışınları yayan kısa ve şiddetli patlamalardır.  $0.01$  sn'den daha az  $100$  sn'den daha fazla sürelerde devam edebilen patlamaların bazılarında yalnızca bir parlama aktivitesi görülürken bazılarında ise birden fazla parlama aktivitesi ile karmaşık bir yapı gösterirler. Ancak tipik olarak, hızla artan ve üstel olarak azalan (FRED, Fast Rise and Exponential Decay) birkaç pik ile karakterize edilirler. Şekil 6'da Swift/BAT tarafından tespit edilen patlamaların ışık eğrilerinde görüldüğü gibi her bir patlama birbiri ile benzer olmayan çeşitlilikte ışık eğrilerine sahiptir (Levan 2018).

Gama ışın patlamalarında anlık yayının süresi, toplam akının %5 ila %95'inin tespit edildiği  $T_{90}$  ile tanımlanır.  $T_{90}$  sürelerine göre sınıflandırılan gama ışın patlamaları;  $T_{90} \geq 2$  sn olan patlamalar uzun süreli,  $T_{90} \leq 2$  sn olan patlamalar ise kısa süreli patlamalar olarak iki sınıfta incelenmektedir (Kouveliotou *et al.* 1993).



**Şekil 6.** Swift/BAT ile elde edilmiş bazı GIP'ların anlık yayılım ışık eğrileri (Levan 2018)

Bu iki sınıfın tayfsal özellikleri incelendiğinde, kısa süreli patlamaların daha yüksek enerjili fotonlar yayınlarken uzun süreli patlamaların ise daha düşük enerjili fotonlar

yayınladıklarını gösteren tayfsal sertlik ile uyum içinde oldukları görülmektedir. GIP'lar ayrıca yüksek enerjili (kısa süreli), düşük enerjili (uzun süreli) patlamalar olarak da sınıflandırılmaktadır. Tüm bu sonuçlar GIP'ların farklı kökenlerden geldiklerini göstermektedir. Kısa süreli patlamaların, yoğun nesnelere (nötron yıldızı çifti veya nötron yıldızı-karadeliği çifti) birleşmesi sonucu oluştuğu ve uzun süreli patlamaların ise büyük kütleli yıldızların içine çökmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir (Levan 2018)

**Tayfsal Yapı:** GIP tayfı, genel olarak, ısısal olmayan bir yapıya sahiptir ve “Band fonksiyonu” olarak adlandırılan bir fonksiyon kullanılarak modellenir (Band *et al.* 1993). Band fonksiyonu, düşük enerjilerde üstel bir kesilime sahip bir güç yasası ile yüksek enerjilerde ise basit bir güç yasası ile tanımlanır. Bu fonksiyon, bu iki güç yasasının belirli bir kesilim enerjisinde ('Epik' parametresi) birleştirilmesinden oluşur. Foton akısı, N(E) (foton/cm<sup>2</sup>/s/keV) şu şekilde verilir (Levan 2018),

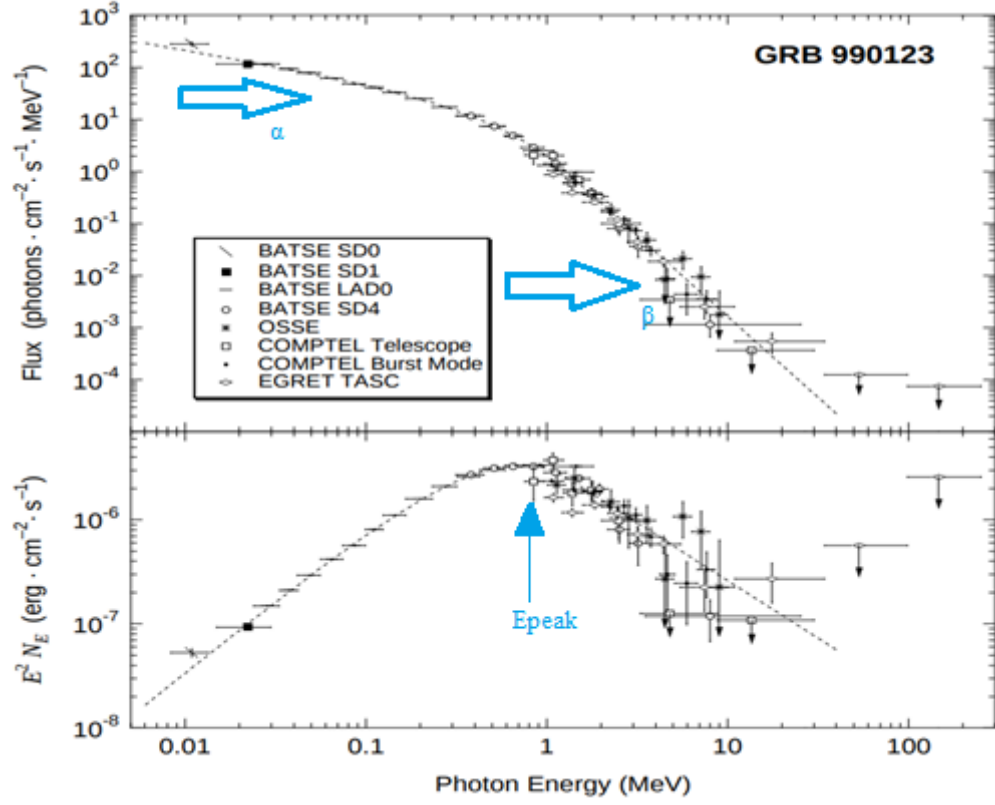
$$N(E) = A \left( \frac{E}{100} \right)^\alpha \exp \left[ \frac{-E}{E_0} \right] \quad \text{eğer} \quad E < E_0(\alpha - \beta) \quad (1)$$

$$A \left[ \frac{(\alpha - \beta)E_0}{100} \right]^{\alpha - \beta} \left( \frac{E}{100} \right)^\beta \exp[-(\alpha - \beta)] \quad \text{eğer} \quad E > E_0(\alpha - \beta) \quad (2)$$

$\alpha$  düşük enerjilerde güç yasası indeksi,  $\beta$  yüksek enerjilerde güç yasası indeksi, A normalizasyon,  $E_0$  ise tayfın düşük ve yüksek enerjili kısmı arasındaki geçiş olarak  $E_{\text{pik}}/(2+\alpha)=E_0$  tanımlanır. Şekil 7'de GRB 990123 patlamasının tayf örneği verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi bu tayf, enerji başına yayılan gücü verir ve genellikle birkaç MeV'de maksimuma ulaşır. Bu model Band modeli veya basitçe GIP modeli olarak bilinir.

#### 1.4. Ardıl Işınım

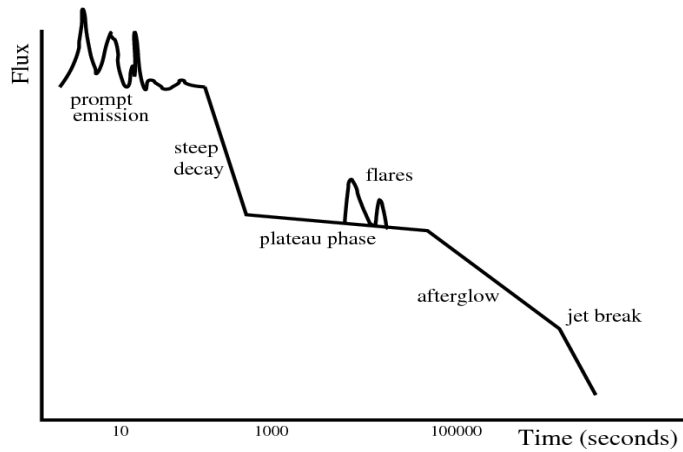
Ardıl ışınım, X-ışınları, optik ve radyo dalga boylarında patlamayı takip eden günler veya haftalar boyunca gözlemlenebilen ışımalarıdır. Merkezi motorun oluşturduğu şok dalgalarının yıldızlararası ortam ile etkileşimi nedeniyle meydana gelen dış şoklardan kaynaklanırlar. İlk ardıl ışınım tespiti GRB 970228 patlamasının BeppoSAX (Costa *et al.* 1997) gözlemleri ile olmuş ve ardıl ışınım çalışmaları Swift'in hızlı yönlenme ve anlık konum belirleme özelliği sayesinde ancak hız kazanmıştır. Gözlemlerin artması ile GIP'ların kırmızıya kayma ölçümleri ve ev sahibi galaksilerin tanımlanması GIP'ların gökyüzündeki konumlarının tam olarak belirlenmesine olanak sağlamıştır.



**Şekil 7.** BATSE tarafından tespit edilen GRB 990123'ün tayf örneği. Patlama,  $\alpha=-0.6$  ve  $\beta=-3.1$  düşük enerji eğimi ile karakterize edilen ve  $E_{\text{peak}} = 720$  keV tepe enerjisine sahip Band tayfının bir örneğini göstermektedir (Briggs *et al.* 1999)

### X-ışın Ardıl Işınım

X-ışını ardıl ışınımı patlamadan sonra ilk tespit edilen, yüksek enerjili sinyaldir. Tipik bir X-ışın ardıl ışınım ışık eğrisi Şekil 8'de gösterildiği gibi birkaç farklı evreye ayrılabilir. Ancak her patlamanın bu özelliklerin hepsini sergilemediği de bilinmektedir (Nousek *et al.* 2006; Zhang *et al.* 2006).



**Şekil 8.** Standart GIP X-ışın ışık eğrisi (Rhaana 2008)

X-ışın ardıl ışınımında akı,  $f_v(t) \propto v^{-\beta} t^{-\alpha}$  şeklinde frekansa ve zaman bağlı olarak bir güç yasası ile verilmektedir. Burada t geçen zaman,  $\alpha$  zamansal index  $\beta$  ise tayfsal indeks olarak tanımlanır (Levan 2018).

Ana patlamadan sonra Gama ışın yayılımını giderek daha düşük enerjilerde ki ardıl ışınım takip eder. Bu nedenle X-ışın ışık eğrileri anlık yayılım evresi ile başlar. İlk X-ışın ardıl ışınımı zamansal indeksi  $\sim 3$  olan dik azalma evresi ile başlar. Bu evreyi birkaç saat içinde, daha sığ bir azalma evresi takip eder. Genellikle plato olarak adlandırılan evre XRT bandında  $\sim 10^4$  sn içinde  $\sim 3 \times 10^{-7}$  erg/sn akı yayınlar. Dik azalma ve plato evrelerinin her ikisi de hızlı yönlenme kabiliyeti nedeniyle Swift tarafından keşfedilmiş olup merkezi motorun yarattığı iç şokların bir sonucu olduğu kabul edilmektedir. Plato evresinden sonra GIP'ların çoğunda gözlenen ve zamansal indeksi  $1.1 \leq \alpha \leq 1.7$ , tayfsal indeksi  $0.7 \leq \beta \leq 1.2$  değerlerindeki ardıl ışınım fazı gelmektedir ve süresi  $\sim 10^5$  sn'dir. Bu evreden sonra, çok az sayıda GIP için gözlemlenebilen (GRB 060526, Dai *et al.* 2007; GRB 060614, Mangano *et al.* 2007) akromatik jet kırılması gerçekleşir. Bu kırılma görelî hızlarda ilerleyen kabukların genişlemesinden kaynaklanan doğal bir sonuç olarak yorumlanmaktadır. Son olarak, hızlı bir yükseliş ve düşüş yapısına sahip olan X-ışın parlamaları (Burrows *et al.* 2005; Falcone *et al.* 2006)  $3 \leq \alpha \leq 6$  zamansal indeks,  $\beta \leq 1.5$  tayfsal indeks değerleri gösterir ve merkezi motorun aktivitelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu parlama aktiviteleri X-ışın ışık eğrisinde herhangi bir evrede oluşabilmektedir. X-ışın ışık eğrilerinin gösterdiği tüm bu özellikler çoğunlukla uzun süreli patlamalar için çok iyi çalışılmış olsa da kısa süreli patlamaların da benzer özellikler gösterdiği bilinmektedir.

### Optik Ardıl ışınım

Konum tespiti tam olarak yapılan GIP'ların yaklaşık %50 sinin optik ardıl ışınımları gözlemlenmiş ve patlamadan  $\sim 1$  gün sonra  $\sim 19-20$  kadir civarında bir parlaklık gösterdikleri tespit edilmiştir. Zaman indeksi  $-0.5 < \alpha < -1.2$  aralığında bir değerde olup  $t^{-\alpha}$  güç yasası düşüşü ile karakterize edilmektedir. GIP'ların kırmızıya kayma ölçümlerinin ve mesafelerinin elde edilmesinin en etkili yolu optik ardıl ışınım gözlemleridir. Swift GIP örneklerinin %40'ında, erken gözlemlere ve Swift'in sağladığı kesin yer tanımlama bilgilerine rağmen Swift-UVOT veya yer tabanlı teleskoplar tarafından optik karşılığının tespit edilmediği bildirilmektedir (Roming *et al.* 2009). Bunlar Optik karanlık GIP'lar olarak tanımlanmaktadır. Optik olarak karanlık olmalarının nedeni, ardıl ışınım modellerine, GIP atalarının doğasına, patlama ortamlarına ve kozmolojik olarak oynadıkları rollere getirdiği kısıtlamalar nedeniyle ilginç ve önemlidir (Levan 2018; Ukwatta 2010).

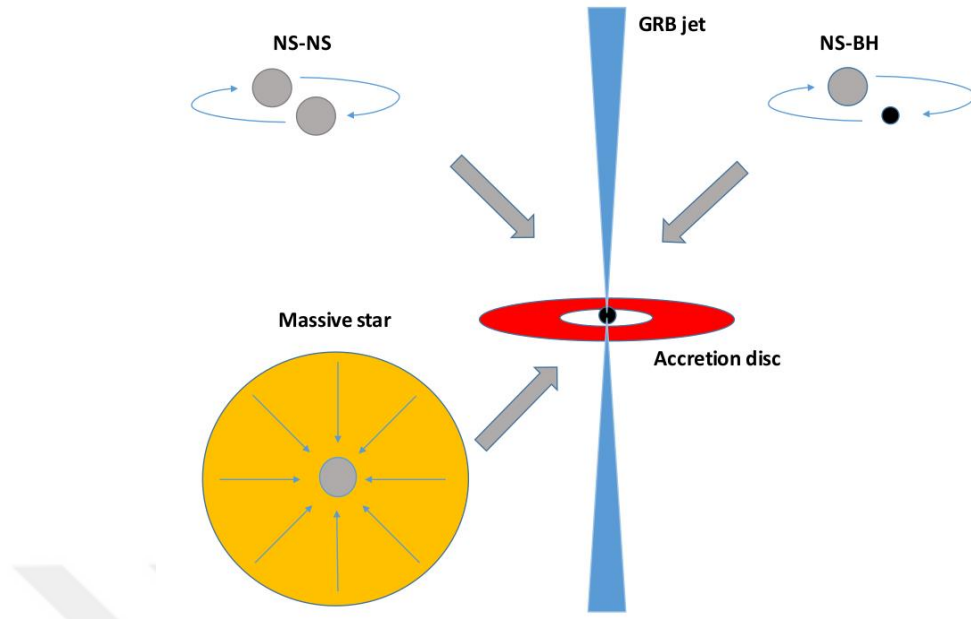
## Radyo Ardıl Işınım

X-ışını ve optik ardıl ışınım ile karşılaştırıldığında, radyo ardıl ışınım tespiti mevcut teleskoplardaki kısıtlamalar nedeniyle daha az sıklıkta elde edilmektedir. Bugüne kadar GIP'ların ~%30'unun radyo bölgede tespit edildiği ve bu oranın Swift göreve başlatıldıktan sonra da değişmediği görülmektedir. Radyo ardıl ışınım gözlemleri patlamanın kinetik enerjisinin doğru tahmin edilmesinde büyük öneme sahiptir (Oren *et al.* 2004, Granot *et al.* 2005a, Kaneko *et al.* 2007). Yüksek kırmızıya kayma değerine sahip GRB 050904 patlamasının radyo dalga boyunda ki tespitleri ile son derece büyük kinetik enerjilerin ( $E \sim 10^{52}$  erg) kanıtlanmasına olanak sağlamıştır (Frail *et al.* 2006, Gou *et al.* 2007) ve yakınlardaki GRB 060218/SN 2006aj (Soderberg *et al.* 2006b) ile ilgili görelî enerjiye bir kısıtlama getirmiştir.

### 1.5. Merkezi Motor

Hem uzun hem de kısa süreli GIP'ların merkezi motorlarının yeni oluşmuş, hızlı bir şekilde madde toplayan ( $\dot{M} \sim M_{\odot} \text{ s}^{-1}$ ) yığılma diskine sahip bir kara delik olduğu düşünülmüştür. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalar, GIP'ların merkezi motorlarının  $B=10^{15}\text{G}$  gibi yüksek manyetik alana sahip magnetarların da olabileceğini göstermiştir. Bu modellerin her ikisi de merkezi motorun GIP oluşumu için, küçük bir alan içine sıkışmış maddenin rölativistik hızlardaki jetlerle salınması gerektiği fikrine dayanmaktadır. Şekil 9'da gösterildiği gibi, yeni oluşmuş bir karadelik; büyük kütleli bir yıldızın çekirdeğinin içe doğru çökmesiyle veya iki nötron yıldızının birleşmesi sonucu ortaya çıkan kalıntı kütleli Nötron yıldızının maksimum kütleini aşması durumunda oluşabilmektedir (Fryer 1999; Levan 2018)

Nötron yıldızlarının bir alt kümesi olan magnetarlar yüksek bir manyetik alana ( $B > 10^{15}\text{G}$ ) sahiplerdir (Duncan and Thompson, 1992). ~1ms dönme hızıyla doğan bir magnetar  $I=80 \text{ km}^2 M_{\odot}$  eylemsizlik momenti için büyük miktarda enerji ( $\dot{E}=0.5I\Omega^2 \sim 3 \times 10^{52}$  erg) içermektedir (Lattimer and Prakash, 2007). Bu dönme ile sağlanan enerji bir GIP oluşması için yeterlidir (Usov 1992; Bernardi 2015). Karadelik aktarım modeline alternatif olarak, yeni oluşan milisaniye magnetarları, hem büyük kütleli yıldızların çekirdek çöküşü ile hem de nötron yıldızı gibi yoğun yıldız çiftlerinin birleşmesi ile oluşabileceği için uzun ve kısa süreli gama ışın patlamalarının ataları olabilirler.

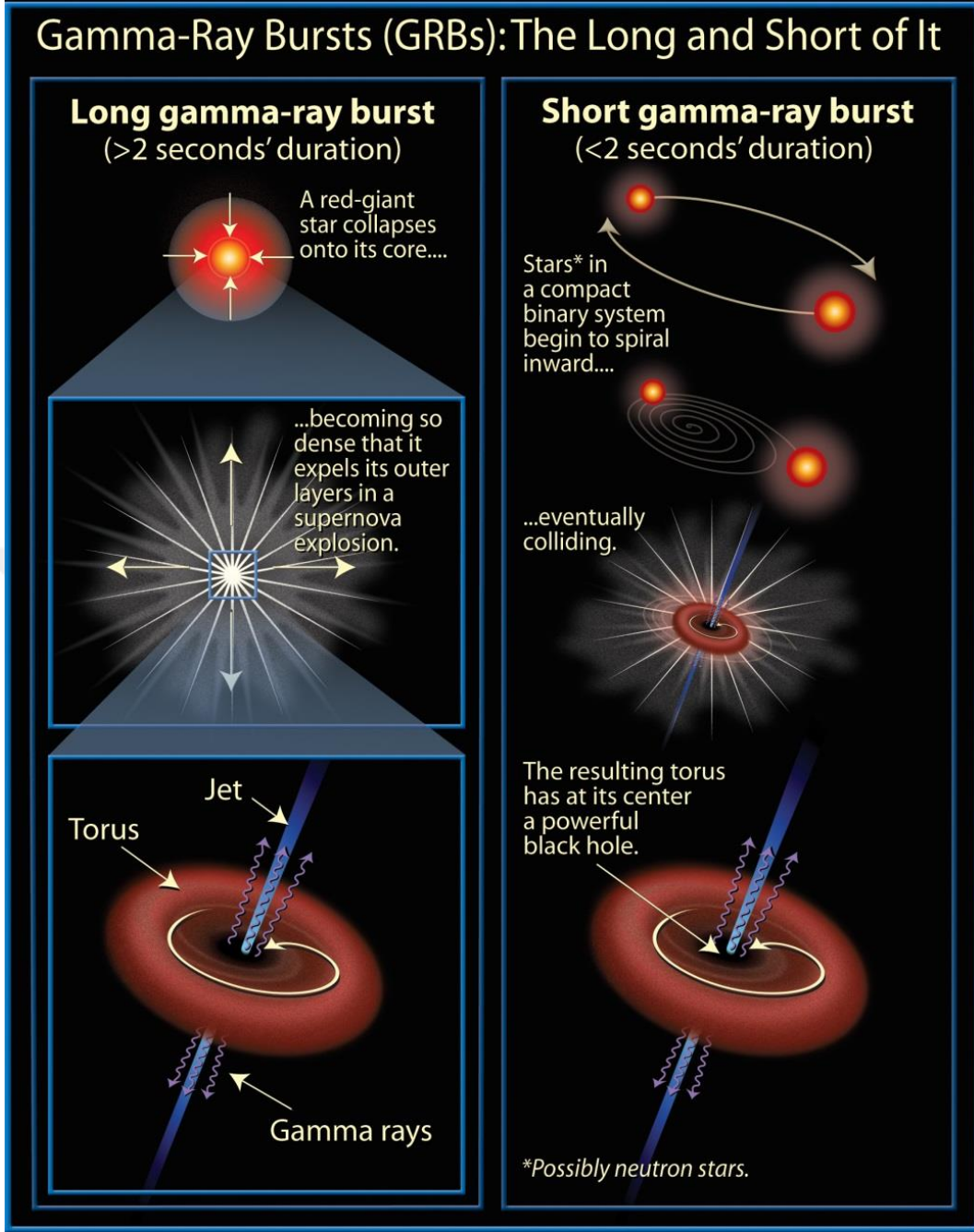


**Şekil 9.** GIP'lar için karadelik merkezi motor modelinde bir karadelik yığılma diski sisteminin oluşumunun şematik gösterimi. Yığılma diski, çökme sırasında maddenin bir kısmının doğrudan yığılamayacak kadar yeterli açısal momentuma sahip olması nedeniyle oluşur. Bu, potansiyel olarak nötron yıldızlarının (yeteri kadar yörünge açısal momentumuna sahip olan) birleşmesi gibi farklı fiziksel sistemlerden veya hızlı dönen büyük kütleli yıldızdan oluşturulabilir (Fryer *et al.* 1999)

### 1.6. GIP'ların Ataları

GIP'lar  $T_{90} \sim 2$ sn'de kabaca bir ayırım ile  $T_{90} \geq 2$ sn olan patlamalar uzun süreli,  $T_{90} \lesssim 2$ s olan patlamalar ise kısa süreli patlamalar olarak sınıflandırılır (Kouveliotou *et al.* 1993). Bu iki sınıfın tayfsal özellikleri incelendiğinde, kısa süreli patlamaların daha yüksek enerjili fotonlar yayınlarken uzun süreli patlamaların düşük enerjili fotonlar yayınladıklarını gösteren tayfsal sertlik ilişkisi olduğu görülmektedir. Tüm bu sonuçlar GIP'ların farklı kökenlerden geldiklerini göstermektedir. Kısa süreli patlamaların, yoğun nesnelere (nötron yıldızı çifti veya nötron yıldızı-karadelik çifti) birleşmesiyle ilişkili olduğu düşünülürken, uzun süreli patlamaların büyük kütleli yıldızların çöküşünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 10'da uzun süreli ve kısa süreli GIP'ların ata modelleri şematik olarak gösterilmektedir (D'Avanzo 2015).

Uzun süreli GIP'lar çoğunlukla yıldız oluşumunun olduğu düşük metal oranına ( $< 1/3 Z_{\odot}$ ) sahip galaksilerde meydana gelirler ve bu galaksilerin en parlak bölgelerinde bulunurlar. Bu, onların büyük kütleli yıldızlardan oluştuğunu göstermektedir. Uzun süreli bazı GIP'ların süpernovalar ile ilişkili olduğunu gösteren gözlemsel kanıtlar bulunmuştur (Levan 2018).



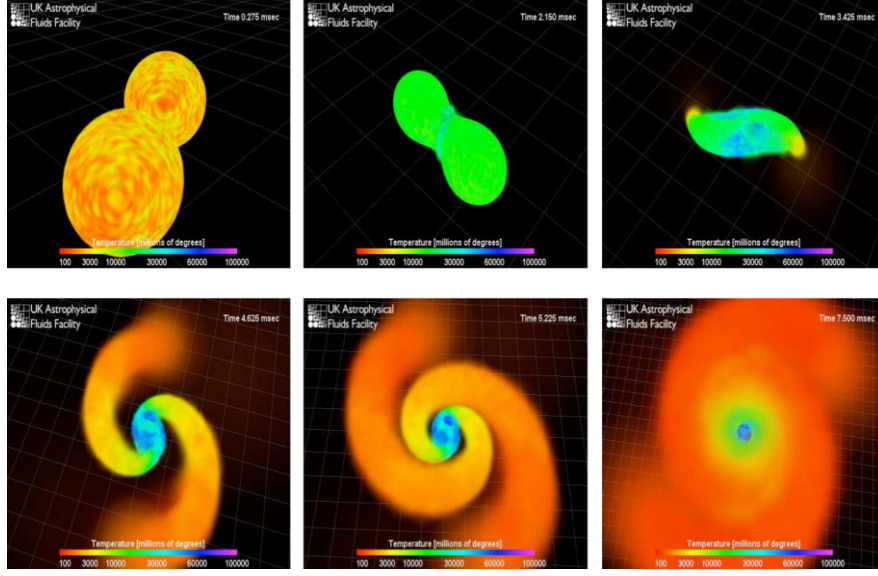
**Şekil 10.** Uzun süreli (büyük yıldızın çökmesi) ve kısa süreli (tıkız nesnelerin birleşmesi) GIP'lar için önerilen ata modellerin şematik gösterimi (Anonim 2020d).

İlk olarak 1990'ların başında geliştirilen "çöküş" modeli uzun süreli GIP'lar ve Tip Ic süpernovalarının arasındaki bağlantıyı en iyi açıklayan modeldir (Woosley, 1993). Çöküş modelinde ata yıldız, hidrojen zarfını yitirmiş  $\sim 10M_{\odot}$  kütleli çekirdeğe sahip, Güneş boyutlarında olan ve hızla dönen Wolf-Rayet yıldızlarıdır. Büyük kütleli yıldızların evrim aşamalarından biri olan Wolf-Rayet yıldızları, çok kuvvetli yıldız rüzgârları ile genellikle  $10^{-5} M_{\odot}/\text{yıl}$  hızla kütle kaybeden, çok sıcak, evrimleşmiş yıldızlardır (Woosley 2012)

Kısa süreli GIP'lar uzun süreli GIP'lardan ortalama olarak daha yüksek enerjili tayflara sahip olan patlamalardır. 2005'ten itibaren, hızlı bir şekilde yer tespiti yapabilen Swift uydusu sayesinde (Gehrels *et al.* 2004), kısa GIP'ların ardıl ışınımlarının keşfi ve ev sahibi gökadalardan belirlenmesi, uzaklıklarını, enerji ölçeklerini ve ortamlarını incelemek için olanak sağlamıştır (Gehrels *et al.* 2005). Kısa süreli GIP'ların ardıl ışınımları ortalama olarak uzun süreli GIP'lardan önemli ölçüde sönük olma eğilimindedirler (Kann *et al.* 2011; Guelbenzu *et al.* 2012; Margutti *et al.* 2013). Kısa süreli GIP'lar düşük yıldız oluşum oranına sahip erken ve geç tip gökadalarda görülür ve yaşlı yıldız popülasyonu ile ilişkilidirler (Berger 2009; Leibler and Berger 2010; Fong *et al.* 2013).

Kısa süreli GIP atalarının, bir nötron yıldızı çifti veya nötron yıldızı-karadelik çifti gibi ikili sistemlerde tıkHz nesnelere bileşmesi ile ilişkili oldukları düşünülmektedir. Birleşme senaryosunu destekleyen doğrudan bir kanıt, kısa GRB 130603'e eşlik eden bir kilonovanın tespiti olmuştur (Tanvir *et al.* 2013; Berger *et al.* 2013). İki tıkHz nesnenin birleşmesinden bir kısa GIP üretiliyorsa aynı zamanda önemli bir kütle çekim dalgaları kaynağı olmalıdır. 17 Ağustos 2017'de LIGO detektörleri tarafından ikili nötron yıldızının birleşmesi ile oluşan kütle çekim dalgalarının tespitinden iki saniye sonra Fermi ve INTEGRAL teleskopları tarafından kısa süreli bir GIP tanımlanması ile gözlemsel olarak kanıtlanmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda NGC4993'deki GW170817 / GRB 170717'nin kırmızıya kayma değeri 0.01 ve uzaklığı 40 Mpc olarak ölçülmüştür (Hjorth *et al.* 2017; Cantiello *et al.* 2018).

**Birleşme Modeli:** İki nötron yıldızının birleşme süreci  $\sim 10^6$ - $10^9$  yıl arasında sürebilen yavaş sarmal faz ile başlar. Sarmal faz sırasında sistem kütle çekim dalgaları yayar ve zamanla yıldızların arasındaki mesafe ile birlikte yörünge dönemleri de kısalmaya başlar. Sarmalın son aşamaları çok hızlı bir şekilde gerçekleşir ve son 100 km 1s'den kısa sürer. Nötron yıldızları birbirlerine yarıçapları kadar yaklaştıklarında, gelgit etkileşimi (tidal interaction) ~milisaniye içinde nötron yıldızlarının şekillerini bozar. Açısız momentum merkezi bir nesnenin etrafına sarılmış ve bir karadeliğe çöken iki uzun spiral kol tarafından taşınır. Son aşamada büyük bir yığılma diskiyle çevrili düşük kütleli bir karadelik oluşur. Bu sürecin simülasyonu Şekil 11'de gösterilmiştir. Bir karadelik ile nötron yıldızı birleşmesi de benzer şekilde ilerler, ancak kütle çekim nötron yıldızından karadeliğe aktarılması nedeniyle daha karmaşıktır. Birleşme modelinde GIP'ların olası enerji kaynağı kütle çekimi ve dönme enerjileridir.



**Şekil 11.** İki nötron yıldızının birleşme simülasyonunun anlık görüntüleri (her bir nötron yıldızı  $1.4M_{\odot}$  ve  $\approx 30$  km çapındadır). Başlangıçta,  $v=0.2c$  civarında bir hız ile hareket eden yıldızların aralarındaki mesafe 10 km'den daha azdır. İki yıldız birbirine yaklaştıkça şekilleri bozulur ve gitgide yaklaşarak birleşirler. Birleştiklerinde, madde  $T\sim 10^{11}$  K sıcaklığa ulaşır. Maddenin küçük bir yüzdesi, hızla soğuyan spiral kollar şeklinde dışarı atılır. Bütün birleşme süreci sadece birkaç milisaniye sürer. Simülasyon Stephan Rosswog, görselleştirme Richard West tarafından yapılmıştır (Gomboc 2012)

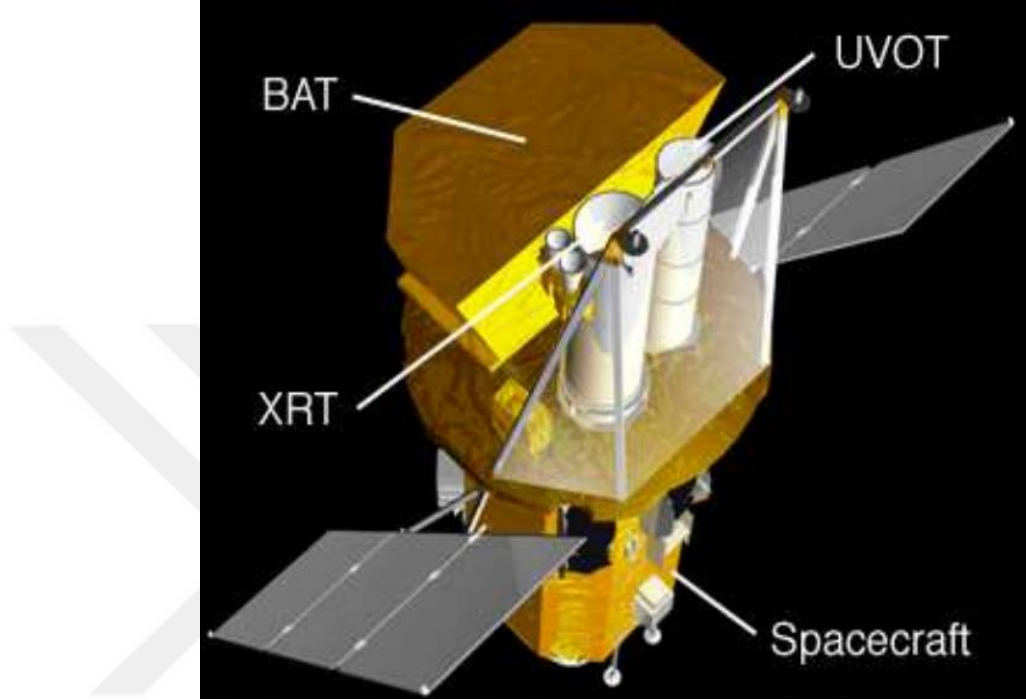
## MATERYAL ve YÖNTEM

Evrendeki en yüksek enerjili olaylar olan gama ışın patlamalarının anlık yayılım ışık eğrileri patlamadan patlamaya değişen, periyodik olmayan düzensiz pikler göstermektedir. GIP'ların ışık eğrilerinde görülen bu farklılığın nedeni tam olarak anlaşılammış olsa da 'merkezi motor' aktivitelerinden kaynaklanan iç şokların anlık yayınımdaki düzensizliğin kaynağı olduğu düşünülmektedir. GIP'ların doğasını anlayabilmek için yapılan çalışmaların başında özellikle uzun süreli gama ışın patlamalarında yaygın görülen, yüksek ve düşük enerjili fotonların varış zamanları arasındaki fark olarak tanımlanan tayfsal gecikme gelmektedir. Buna ek olarak anlık yayılımın önemli parametrelerden biri olan karakteristik zaman ölçeği de GIP'ların doğalarının anlaşılmasında uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, kırmızıya kayması bilinen çok sayıda GIP için kaynak çerçevesinde oluşturulan tayfsal gecikme ve karakteristik zaman ölçeği değerlerinin hesaplanması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılarak aralarındaki olası ilişkinliğin araştırılması amaçlanmıştır. Swift/BAT tarafından 2011-2019 yılları arasında gözlenen ve kırmızıya kayma değerleri bilinen uzun süreli (154 tane) ve kısa süreli (8 tane) olmak üzere toplam 170 GIP'ın dalgacık tekniği ile elde edilen minimum değişkenlik zaman ölçeği ve çapraz ilişkinlik fonksiyonu (CCF) ile elde edilen tayfsal gecikme değerleri ile zamansal özellikleri incelenmiştir. Işık eğrileri indirgemesi ve analizi için HEASOFT ile birlikte Swift-BAT için hazırlanan yazılımlar kullanılmıştır.

### 2.1. Neil Gehrels Swift Gözlemevi

GIP'ları gözlemek için tasarlanan ve 20 Kasım 2004'te göreve başlayan Swift uydusu, patlamaların karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Swift'in hızlı yönlenme ve anlık konum belirleme özelliği ile GIP'ların ardıl ışınım çalışmaları ve kırmızıya kayma tespitleri mümkün olmuştur. Çoklu dalga boylu gözlemevi olan Swift gama ışın detektörü (BAT; Patlama Uyarı Teleskobu) ile beraber X-ışın (XRT) ve Ultraviyole/optik (UVOT) teleskopları ile donatılmıştır. Swift BAT detektörü patlamanın konumunu 1-4 yay dakikası hassasiyetinde belirleyebilme ve anında bu konum bilgilerini yer tabanlı gözlemevlerine gönderebilme özelliğine sahiptir. Bununla birlikte Swift'in XRT ve UVOT teleskopları, açısal çözünürlükleri sayesinde patlamanın konumunu daha hassas (0.3"-5") bir şekilde belirleyerek patlamadan sonraki birkaç dakika içinde (patlamadan hemen sonra XRT 50-70 saniye ve UVOT ise 80-100 saniye içinde) X-ışın ve ultraviyole/optik dalga boylarında ardıl ışınım takip gözlemlerinin yapılabilmesini sağlar (Gehrels *et al.* 2004).

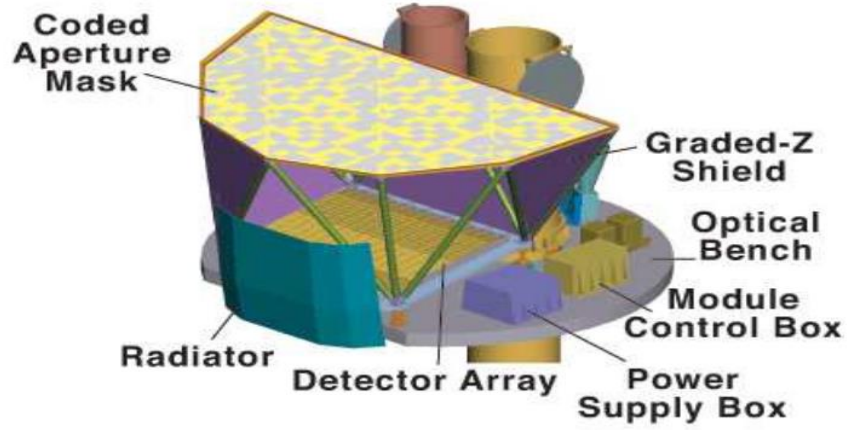
Swift'in üzerine konumlandırılmış bu aletler gama ışınlarında 15-150 keV enerji aralığında (BAT), x-ışınlarında 0.2-10 keV enerji aralığında (XRT) ve morötesi/optikte 170-600 nm bant aralığında (UVOT) gözlem yapabilmektedir. Swift uydusunun şematik çizimi Şekil 12'de gösterilmiştir (Gehrels *et al.* 2004).



Şekil 12. Swift uydusunun şematik gösterimi (Gehrels *et al.* 2004)

### **BAT: The Burst Alert Telescope**

BAT, GIP'ların patlama (trigger) zamanlarını ve konumlarını belirlemek için tasarlanmış yüksek hassasiyete ve geniş görüş alanına (FOV: field-of-view; gökyüzünün neredeyse 1/6'sı kadar alan) sahip bir teleskoptur (Barthelmy *et al.* 2005). BAT, BATSE detektörüne göre 3 kat daha sönük GIP'ları tespit edebilme özelliğine sahiptir. Yılda yaklaşık 100 GIP tespit edebilen BAT, patlamayı tespit ettiği anda yer tabanlı teleskoplara hızlı bir şekilde uyarı gönderir ve GCN aracılığıyla patlamanın konumunun tüm herkesle paylaşılması sağlanır. BAT, aynı zamanda GIP'ın ilk konumunu hesapladıktan sonra patlama bölgesi, XRT ve UVOT'un görüş alanına gelecek şekilde hızlıca yönlendirilir. Böylece elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde ardıl ışınım takip gözlemleri başlatılmış olur. Teleskop yönlendirilir yönlendirilmez XRT ile patlamanın konumu yeniden daha hassas bir şekilde hesaplanır ve yer tabanlı gözlemler için yeniden GCN'ye gönderilir. Şekil 13'de BAT'ın temsili bir çizimi ve Tablo 1'de ise BAT'ın özellikleri verilmiştir (Barthelmy *et al.* 2005).



**Şekil 13.** Swift'in Patlama Uyarı Teleskobu, D şeklinde kodlanmış maskeyi, CZT dizisini ve dereceli-Z korumasını gösteren BAT kesit çizimi. Maske deseni ölçeklendirilmemiştir (Gehrels *et al.* 2004)

**Tablo 1.** BAT Parametreleri

Parametreler	Değerler
Enerji Aralığı	15-150 keV
Enerji Çözünürlüğü	~7 keV
Açıklık	Kodlanmış maske, rastgele desen, %50 açık
Etki Alanı	5240 cm <sup>2</sup>
Detektör Materyali	CdZnTe (CZT)
Detektörün çalışma şekli	Foton sayımı
Görüş Alanı (FOV)	1.4 sr.
Teleskop PSF	<20 yay dakika
Kaynak Pozisyonu ve Hesabı	1-4 yay dakika
Hassasiyet	~10 <sup>-8</sup> erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Tespit Edilen Patlama Sayısı	> 100 yıl <sup>-1</sup>

## XRT ve UVOT

0.2-10 keV enerji aralığına, dar bir (FOV: 23.6 yay dakikası) görüş alanına ve oldukça hassas bir detektöre sahip XRT teleskobu, GIP'ları, ardıl ışınım akıllarını, tayflarını ve ışık eğrilerini, akınının 10<sup>7</sup> katından daha fazla bir dinamik aralıkta ölçmek için tasarlanmıştır. XRT, tipik bir GIP'ın tespit edilmesinden sonra konumunu 1-2 yay saniye hassasiyetle belirleyerek patlamadan yaklaşık 70 saniye sonra başlayan, günler ve haftalar boyunca devam eden GIP'ların X-ışın ardıl ışınımalarının gözlemlerini yapar (Evans *et al.* 2009). XRT'nin tasarımını

yönlendiren üç temel gereksinim vardır: hızlı ve doğru konum belirleme, orta çözünürlüklü tayf ölçümü ve yüksek zamanlama çözünürlüğüne sahip ışık eğrileri (Burrows *et al.* 2005). XRT teleskobu ile UVOT aynı anda gözlem yapmaya başlar.

UVOT 30 cm'lik bir Ritchey-Chretien teleskoptan ve bir dizi UV ve optik filtreden (170-650 nm) oluşur. UVOT, gama ışın patlamalarını ve ondan hemen önceki UV ve optik fotonları ve ayrıca ardıl ışınımların uzun vadeli gözlemlerini yapmak için tasarlanmıştır. 17'×17' yay dakikalık bir görüş alanına sahip UVOT, yönlendirilebilir bir ayna mekanizması tarafından seçilen iki foton sayma detektörü ve önüne monte edilmiş bir filtre tekerleğine sahiptir (Gehrels *et al.* 2004; Roming *et al.* 2005).

## 2.2. Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği

Gama ışın patlamalarının anlık yayılım süreci karmaşık zamansal profilleri göstermektedir. Anlık fazın toplam süresi içinde, milisaniyenin küçük bir kesrini oluşturan sürelerde sonlanan atımlardan (piklerden) oluşan hızlı bir değişkenlik yaygın olarak gözlenmektedir. Bu değişkenlik, prensipte merkezi motorun çalışması, enerji yayılım süreçleri ve patlama yayılımının oluşmasında rol oynayan radyasyon mekanizmaları hakkında bilgi taşıyabilir (Schaefer and Walker 1999; Walker *et al.* 2000; Morsony *et al.* 2010; MacLachlan *et al.* 2013).

Literatürde GIP'ların zamansal değişimini ilk çalışan Fenimore and Ramirez-Ruiz (2000), GIP'ların değişkenliği ile izotropik pik ışınma gücü arasında bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir. Bu korelasyonun varlığı, anlık yayılım ışık eğrilerinde GIP'ların mikrofiziği ile ilgili zamansal bilgilerin olduğunu düşündürmektedir. GIP ışık eğrilerindeki zamansal değişim ile ilgili önerilen iç şok modeli (Kobayashi *et al.* 1997) ve fotosferik model (Ryde 2004) gibi öncü modeller, hızlı değişkenliği doğrudan merkezi motorun aktivitesine bağlar. Daha yeni modellerde ise hem Morsony *et al.* (2010) ve Zhang and Yan (2011) zamansal değişkenliğin fiziksel mekanizmalara bağlı olarak iki farklı ölçek gösterebileceği savunulmaktadır.

MacLachlan *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada Fermi/GBM tarafından gözlemlenen uzun ve kısa süreli bir dizi GIP için dalgacık tekniği kullanılarak minimum değişkenlik zaman ölçekleri elde edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, uzun süreli patlamalar için değişkenlik zaman ölçeklerinin kısa süreli patlamalar için hesaplanan değerden farklılık gösterdiği ve minimum değişkenlik süresi ile patlamaların T90 süreleri arasında bir ilişki olduğu bulunmuştur.

Sonbas *et al.* (2012) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise Fermi ve Swift tarafından

tespit edilen GIP örneklerinden, anlık yayılım ve X-ışın parlamaları ile ilişkili ışık eğrilerindeki zamansal yapılar için minimum değişkenlik zaman ölçekleri çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar X-ışın parlamaları ile anlık yayılım üretiminin ortak bir kökenden geldiği konusunda güçlü kanıtlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca Sonbas *et al.* (2015) tarafından Swift ve Fermi ile tespit edilen bir GIP örneği için yapılan bir diğer çalışmada, anlık yayılımın minimum değişkenlik zaman ölçeği ve Lorentz faktörü arasında bir ilişkili olabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte ardıl ışınım ve anlık yayılım değişkenlik zaman ölçeğinin patlamaların pik zamanları  $t_p$  ile bir korelasyon olduğu rapor edilmiştir.

GIP'ların anlık yayılım aşamasını daha iyi anlamak ve çeşitli modellerde yer alan bazı temel bileşenlerin açıkça test edilmesini sağlamak için hem kısa hem de uzun GIP'ların değişkenliğini incelemek gerekmektedir. Pratikte, beyaz gürültü bileşeni (ardalan) ile GIP sinyalini içeren kırmızı gürültü bileşeninin kesişimi olarak tanımlanan MTS, logaritmik-ölçek diyagramının belirlenmesine dayanan dalgacık tekniği kullanılarak hesaplanmaktadır. Buradaki logaritmik-ölçek denilen diyagram (Şekil 18), dalgacık katsayılarının değişiminin logaritmik ölçüsünün ışık eğrisini karakterize eden oktav cinsinden hesaplanan frekansa ( $j$ ) karşı çizimidir. Böylece dalgacık tekniği ile beyaz gürültü ve kırmızı gürültüyü temsil eden frekanslar arasında ayırım yapılmasına izin veren bir zaman ölçeği çıkarılmaktadır (Sonbas *et al.* 2015). Sonuç olarak MTS'in belirlenmesi, teorik modellerin geliştirilmesine ve gözlemsel verilerin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (MacLachlan *et al.* 2013).

### **Dalgacık (wavelet) Dönüşümü**

Dalgacık dönüşümü, bir fonksiyonu (veya sinyali) ya orijinal sinyalin belirli özelliklerini araştırmaya daha uygun hale getiren ya da orijinal veri kümesinin daha özlü bir şekilde tanımlanmasını sağlayan başka bir forma dönüştürme yöntemidir. Bir dalgacık dönüşümünü gerçekleştirmek için lokalize bir dalga formu olan bir dalgacığa ihtiyaç vardır. Kısa zamanlı Fourier dönüşümüne benzer olarak aslında dalgacık dönüşümü belirli matematiksel kriterleri karşılayan bir  $\psi(t)$  fonksiyonudur. Matematiksel olarak dalgacık dönüşümü, sinyallerin zaman-frekans gösteriminin elde edilmesi için kullanılan bir fonksiyondur ve görüntü işleme (özellikle sinyalden gürültü temizlemede), matematik, istatistik vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Addison 2002).

Bir kaynaktan gelen sinyal, aslında o kaynağın değişkenliğini veya fiziksel özelliklerini temsil eden bir fonksiyondur. Sinyaller matematiksel olarak, sonsuz aralıktaki bütün değerleri alabilen "sürekli sinyal" ve sonlu değer kümesindeki değerleri alabilen "ayrık sinyal" olarak

gruplandırabilir. Sinyallerin ayrık doğası göz önüne alındığında, ayrı bir dalgacık analizi kullanılmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümü (Discrete Wavelet Transform) denilen bu dönüşüm yapısı gereği çoklu çözünürlüklü bir analiz işlemidir (Mallat 1989).  $\Psi_{j,k}(t)$  ile gösterilen bu dalgacıklar ikili bir temel küme oluşturur. Yani kümedeki dalgacıklar değişken genişliklere ve değişken merkezi zaman konumlarına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan dalgacık analizi, hızlı Fourier dönüşümünde olduğu gibi, N elemanları ile bir ışık eğrisi ile başlar (MacLachlan *et al.* 2013).

$$X_i = X_0 \dots X_{N-1} \quad (3)$$

Burada N ikinin kuvveti olan bir tam sayıdır ve ışık eğrisi, ölçekleme fonksiyonu,  $\varphi_{j,k}(t_i)$  ile dalgacık fonksiyonu,  $\psi_{j,k}(t_i)$ 'nin orijinal fonksiyonlara dönüştürülmesiyle oluşturulur. Burada dönüşüm indeksi k ve yeniden ölçekleme indeksi de j'dir. Yeniden ölçekleme ve dönüşüm indeksi arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (4)$$

Ölçekleme ve dalgacık fonksiyonlarının kesin bir formu yoktur ve seçimler uygulanmak istenilen duruma göre yapılır (Percival 2002; Addison 2002). Ölçekleme fonksiyonu girilen zaman serileri için bir düzeltme filtresi görevi görür ve dalgacık fonksiyonu ise istenilen  $\Delta t$  zaman ölçeğinde ayrıntılı bilgiye ulaşmak için zaman serilerini inceler bu da kullanılan en küçük 'bin'in iki katıdır. Analizde zaman ölçeği iki katına çıkar.

$$\Delta t \rightarrow 2\Delta t \quad (5)$$

ve dönüşüm aşağıdaki denklemde verilen değere ulaşana kadar devam eder.

$$\Delta t \rightarrow N T_{bin} \quad (6)$$

Yapılan analizlerde sonuçları doğrudan veren ve kolayca yorumlanmasını sağlayan Allan değişkenine eşdeğer Haar ölçekleme/dalgacık tabanı kullanılmıştır (Howe and Percival 1995). Haar dalgacık tabanına göre ışık eğrisinin (X) ölçekleme fonksiyonları ile dönüştürülmesi sonucu dalgacık fonksiyonunun katsayıları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$a_{j,k} = \langle \varphi_{j,k}, X \rangle \quad (7)$$

X'i dalgacık tabanlı fonksiyonlarla incelemek ölçeğe ve konuma bağlı ayrıntı katsayılarını verir,

$$d_{j,k} = \langle \psi_{j,k}, X \rangle \quad (8)$$

Burada N = 2 durumu için Haar dalgacık dönüşümü Fourier dönüşümü gibi davranır.

Dalgacık tekniğinin matematiksel formülasyonu ayrıntılarıyla Addison (2002)'de verilmiştir.

### Ardalan Gürültüsünün Çıkarılması

GIP'lerden kaynaklanan fiziksel değişkenliği incelemek için analiz sırasında GIP'lara özgü olmayan ardalın gürültüsünün elimine edilmesi gerekmektedir. Bu değişkenliği istatistiksel olarak analiz edebilmek için ardalın ışınmasının çıkarımını geleneksel yollardan (düz veya lineer foton sayımı çıkarımı gibi) yapmak yerine dalgacık dönüşümlerinden yola çıkarak patlama öncesi ve patlama sırasındaki değişimin farkı alınarak yapılır. Dalgacık dönüşümünün gerçekleştiği bir işlemde bir ışık eğrisinden düz veya lineer bir ardalın gürültüsünün çıkarılması sonucu ortalama sinyal katsayısı dışında (Fourier dönüşümlerinde olduğu gibi) herhangi bir değişikliğe neden olmaz (MacLachlan *et al.* 2013).

GIP ışık eğrileri, çeşitli değişkenlik zaman ölçeklerinde güçlü yayınımlar gösterebilir. Çoğu zaman elde edilen logaritmik-ölçek diyagramlarında değişkenlik zamanları boyunca yayınının yükseldiğini gösteren tek eğimli bir bölge ve en kısa değişkenlik zamanlarında beyaz gürültünün varlığını gösteren düz bölgeler olabilir. Bu beyaz gürültünün bir kısmı patlamaya özgü olabilir, bir kısmı ise GIP ile ilişkili olmayan bir aletsel gürültü veya herhangi bir kaynaktan gelen yayınımlar da olabilir. Bu nedenle özgün değişkenleri içeren "j" zaman ölçeğine bağlı olarak patlama değişkenliği ( $\beta_j^{burst}$ ); bir ölçekleme bileşeni ( $\beta_j^{scaling}$ ), gerçek bir gürültü bileşeni ( $\beta_j^{noise}$ ) ve bir ardalın bileşeninin ( $\beta_j^{background}$ ) toplamı şeklinde ifade edilebilir. Böylece patlamanın değişkenliği, diğer değişkenlik bileşenlerinin lineer bir kombinasyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\beta_j^{burst} = \beta_j^{scaling} + \beta_j^{noise} + \beta_j^{background} \quad (9)$$

Oktav ( $j_{intersection}$ ) cinsinden tanımlanan minimum değişkenlik zaman ölçeği " $\tau_\beta$ ", gerçek düz gürültü bölgesi, " $\beta_j^{noise}$ " ile ölçeklenmiş eğimli bölge'nin " $\beta_j^{scaling}$ " kesişim noktası olarak tanımlanır. Böylece  $\tau_\beta$  saniye cinsinden şu şekilde hesaplanır;

$$\tau_\beta \equiv T_{bin} \times 2^{j_{intersection}} \quad (10)$$

Uygulamada, logaritmik-ölçek diyagramında kesişimin meydana geldiği oktav, beyaz gürültü bölgesine  $y=a$  fiti (eğri uydurma) ve eğimli bölgesine ise  $y=ax+b$  fiti uygulanarak hesaplanır. " $\tau_\beta$ ", parametresindeki hata değeri yapılan fit ile elde edilen parametrelerin hataları kullanılarak hesaplanır. Mümkün olan en temiz sinyale ulaşmak için Eşitlik 9'dan " $\beta_j^{background}$ " çıkarılması gerekir.

$$\beta_j^{burst} \rightarrow \beta_j^{clean} \equiv \beta_j^{burst} - \beta_j^{background} = \beta_j^{scaling} + \beta_j^{noise} \quad (11)$$

Patlama süresince ardalın değişkenliğini tahmin etmek ve patlama sinyalinden çıkarmak için ışık eğrisindeki patlama öncesinden patlamanın süresine göre yaklaşık 15-20 saniyelik bir ardalın bölgesi ( $\beta_j^{preburst} \equiv \beta_j^{background}$ ) patlamanın sinyalinden çıkarılmak üzere seçilir. Bazı durumlarda patlama öncesinde düz bir ardalın gürültüsü mevcut olmayabilir bu durumda seçim patlama sonrasındaki düz bir ardalın bölgesinden yapılabilir. Böylece ardalın gürültüsü aşağıdaki eşitliğe göre sinyalden temizlenmiş olur.

$$\log_2(\beta_j^{clean}) = \log_2(\beta_j^{burst} - \beta_j^{background}) \quad (12)$$

Eşitlik 12 basit bir matematiksel işlem ile aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\log_2(\beta_j^{clean}) = \log_2(\beta_j^{burst}) + \log_2\left(\frac{\beta_j^{background}}{\beta_j^{burst}}\right) \quad (13)$$

Uzun süreli GIP’larda patlamanın tespit edildiği T=0 saniye göz önüne alındığında patlama öncesi (preburst) ardalın bölgesi T-20 sn’den T-5 sn’ye kadar olan aralık olarak tanımlanır. Bu işlem kısa GIP’lar için T-15 sn’den T-1 sn’ye kadar olan aralıktır. Burada T, patlamanın tetiklenme zamanını ifade etmektedir

### Verilerin İndirgenmesi ve MTS Değerlerinin Hesaplanması

Bu tez kapsamında incelenen kaynaklar, Swift/BAT tarafından 2011-2019 yılları arasında gözlenen ve kırmızıya kayma değerleri bilinen uzun ve kısa süreli GIP’lardan seçilmiştir (Şekil 14). Örnek bir çıktı Şekil 15’de gösterilmektedir.

İncelenen GIP’ların maskelenmemiş ve ardalın düzeltmesi yapılmış ışık eğrileri Swift-BAT için hazırlanan yazılımlar ve HEASOFT yazılımı ve ona ait `bateconvert`, `batgrbproduct` ve `batbinevt` komutları (`task`) kullanılarak oluşturuldu. Kullanılan bu tasklarının içerikleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Anonim 2020c).

- **bateconvert:** BAT verilerinin enerji kalibrasyonu yapmak için kullanılmaktadır. Bu komut BAT detektör dizisindeki kazanç ve konum bilgisini içeren olay dosyasını ve en son kalibrasyon (CALDB) dosyalarını okur. Her bir olay için atım yükseklik genliği (PHA Pulse Height Amplitude) değerini herhangi bir enerji biriminden (ADU: Arbitrary Digital Units) okur ve keV’a dönüştürür.

### 1. Which Bursts?

Swift will sometimes observe bursts detected by other observatories. Any detections by Swift's instruments are also recorded in this table. Indicate which observatories you'd like included in the table.

Select Observatories:

### 2. Which Year?

Display bursts from:

### 3. What Restrictions?

Please select any restrictions on the table that you would like to include. In other words, show only bursts with .

No restrictions  
 BAT T90 > 2 seconds  
 XRT detections  
 UVOT observations  
 UVOT detections with ground detections  
 XRT and UVOT detections  
 Ground detections  
 Redshifts  
 BAT T90 ≤ 2 seconds  
 XRT observations  
 XRT non-detections (slew < 300 secs)  
 UVOT detections  
 UVOT detections or ground detections  
 Other observatory detections  
 Radio detections

### 4. Which Columns?

Please select the columns of the table that you would like to display. Default values are already selected.

**General:**

Time (UT)  
 Burst Advocate  
 Redshift  
 Comments  
 Trigger Number  
 Other Observatory Detections  
 Host Galaxy  
 References

**BAT Specific:**

BAT RA  
 90% Error Radius  
 Fluence  
 1-sec Peak Photon Flux  
 Photon Index  
 BAT Dec  
 T90 Duration  
 Fluence 90% Error  
 1-sec Peak Photon Flux 90% Error  
 Photon Index 90% Error

Şekil 14. Swift/BAT teleskobu ile tespit edilen kaynakların seçim kriterleri

National Aeronautics and Space Administration  
Goddard Space Flight Center

### Swift GRB Table

[» GRB Table Home](#)

- 15 bursts met your search criteria.
- Download this table as a tab-delimited text file: [grb\\_table\\_1593616915.txt](#)

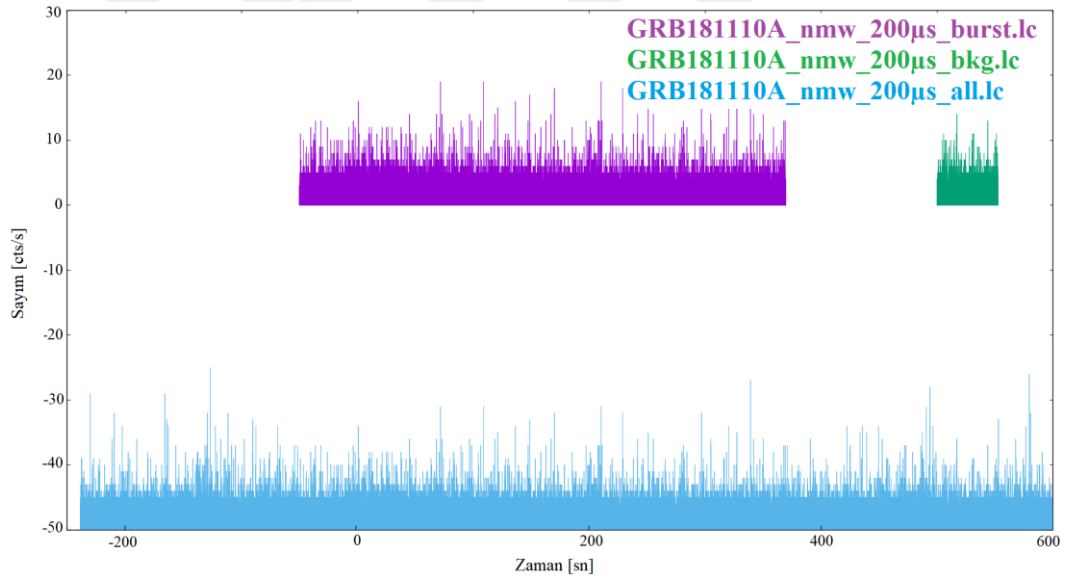
GRB	Trigger Number	BAT T90 [sec]	Redshift
<a href="#">181213A</a>	876016	15.31	<2.4 (NOT: inferred)
<a href="#">181110A</a>	871316	138.4	1.505 (VLT: absorption)
<a href="#">181020A</a>	867987	238.0	2.938 (VLT: absorption)
<a href="#">181010A</a>	866434	16.4	1.39 (VLT: absorption & emission)
<a href="#">180728A</a>	850471	8.68	0.117 (VLT: absorption)

Şekil 15. 2018 yılı için Swift veri tabanına örnek bir çıktı

• **batgrbproduct:** BAT tarafından tespit edilen GIP'ların temel indirgeme işlemleri için standart olarak kullanılmaktadır. Sonuçta indirgemesi yapılmış kaynağın verileri "event" isimli bir dosyaya aktarılıp farklı enerji bantlarında ve zaman çözünürlüklerinde (4ms 64ms ve 1ms) ışık eğrisi, enerji tayfının oluşturulmasında kullanılan foton dosyası gibi ürünler üretir.

• **batbinevt:** Tayf, ışık eğrisi veya görüntüdeki BAT olaylarını ve DPH (plane histogram data) verilerini toplar. Işık eğrisi ve detektör yüzeyi histogram verileri için maskeleyme (mask weight) yapar. İstenilen zaman çözünürlüklerinde ışık eğrisi ve tayf oluşturur. Maskeleyme, ardalanı çıkartılmış ışık eğrisi veya tayf oluşturmak için gerekli bir taslaktır.

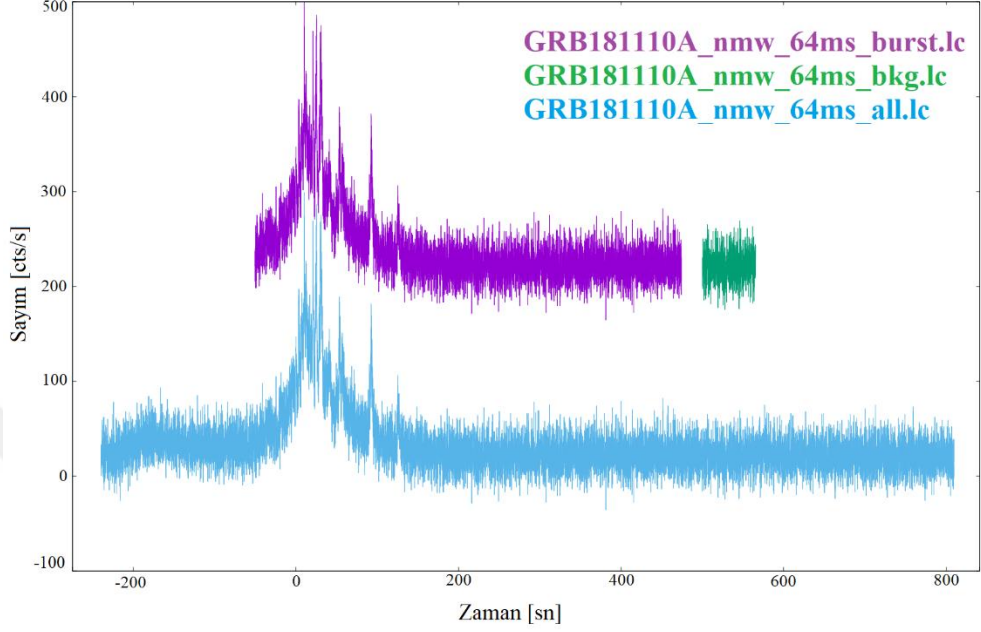
Minimum değişkenlik zaman ölçeğini hesaplamak için 200 mikrosaniyelik zaman çözünürlüğünde (binlenmiş) ve Swift'in standart enerji aralığı olan 15-150 keV'de (Şekil 16) ışık eğrileri oluşturuldu. Işık eğrilerinde patlamanın ardalanı seçimini yapabilmek için ayrıca 64 ms'lik zaman çözünürlüğünde binlenmiş ışık eğrileri de oluşturuldu (Şekil 17).



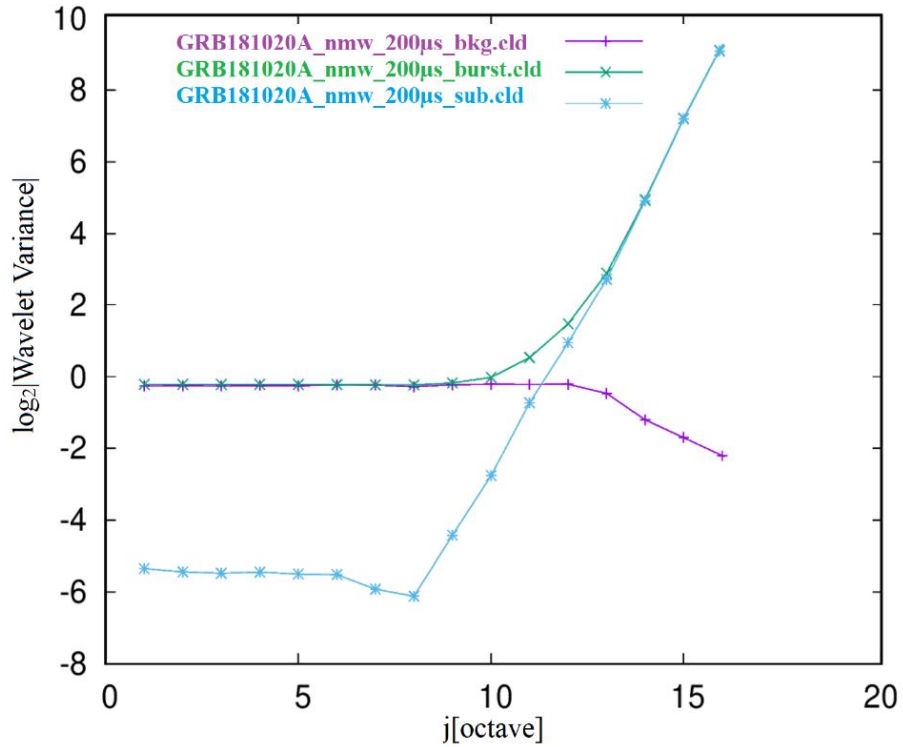
**Şekil 16.** GRB 181020A uzun süreli patlama için 200 µs'de patlama ve gürültü bölgelerinin örnek gösterimi. Burada mavi renk patlamanın tümünü, mor renk patlama sürecini ve yeşil renk ise indirgeme sırasında çıkarılan ardalanı temsil etmektedir

Sonraki aşamada her bir ışık eğrisi için dalgacık tekniği kullanılarak logaritmik-ölçek diyagramları oluşturuldu. Bu diyagram, ışık eğrisini karakterize eden frekans (oktav) ile dalgacık katsayılarının değişkenliğinin logaritmik ölçüsüne karşı çizimidir. Şekil 18'de her bir kaynağın ardalanı ve patlamadan elde edilen sinyalin logaritmik değişimi ve bunların farkından oluşan ardalanı çıkarılmış GIP sinyali gösterilmektedir. Daha sonra logaritmik-ölçek diyagramı üzerinden MTS değerlerinin hesaplanması için beyaz gürültü ( $y=a$  fiti) ve GIP sinyaline ( $y=ax+b$  fiti) fit uygulanır. Böylece dalgacık tekniği ile ardalanı ve GIP sinyalini temsil eden frekanslar arasında ayırım yapan bir zaman ölçeği oluşturulur. Pratik anlamda MTS, beyaz

gürültü bileşeni ile kırmızı gürültü bileşeninin kesişimi olarak tanımlanır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen MTS değerleri kısa ve uzun süreli patlamalar için sırasıyla Ek.1 ve Ek.2’de verilmiştir.



**Şekil 17.** GRB 181110A uzun süreli patlama için 64 ms’de patlama ve gürültü bölgelerinin örnek gösterimi. Burada mavi renk patlamanın tümünü, mor renk patlama sürecini ve yeşil renk ise indirgeme sırasında çıkarılan ardalan bölgesini temsil etmektedir



**Şekil 18.** Logaritmik-ölçek diyagramı üzerinde uzun süreli bir GIP (GRB 181020A) için ardalan (mor), kırmızı gürültü (yeşil) ve temizlenmiş GIP sinyalinin gösterimi

### 2.3. Tayfsal Gecikme (LAG)

Tayfsal gecikme, yüksek enerjili ve düşük enerjili fotonların varış süreleri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Yüksek enerjili fotonlar düşük enerjili olanlardan daha erken geldiğinde tayfsal gecikme pozitif olarak kabul edilir. Tayfsal gecikmeyi hesaplamanın bilinen 3 yolu vardır.

- Pulse peak fit yöntemi (Norris *et al.* 2005; Hakkila *et al.* 2008)
- Fourier Analiz yöntemi (Li *et al.* 2004)
- Çapraz Korelasyon fonksiyonu (CCF: Cross Correlation Function) analiz yöntemi (Cheng *et al.* 1995; Band, 1997).

Bu üç yöntemin ilk ikisinin GIP ışık eğrilerine uygulanması konusunda birtakım eksiklikler yer almaktadır. Bu çalışmada tayfsal gecikmeyi ve onun belirsizliğini hesaplamak için kullanılan üçüncü yöntem CCF ise Ukwatta *et al.* (2010) tarafından GIP ışık eğrileri için kullanılmak üzere yeniden düzenlenmiştir. Tayfsal gecikme, çapraz korelasyon fonksiyonunun küresel maksimumuna karşılık gelen zaman gecikmesi olarak tanımlanabilir. Bu küresel maksimumu bulmak için CCF bir Gauss eğrisi ile fit edilir. CCF'deki belirsizlikler Monte Carlo örnekleme kullanılarak elde edilmektedir.

CCF gecikme indeksi  $d$  ise şöyle tanımlanır.

$$CCF(d,x,y) = \frac{\sum_{i=\max(1,1-d)}^{\min(N,N-d)} x_i y_{i+d}}{\sqrt{\sum_i x_i^2 \sum_i y_i^2}} \quad (14)$$

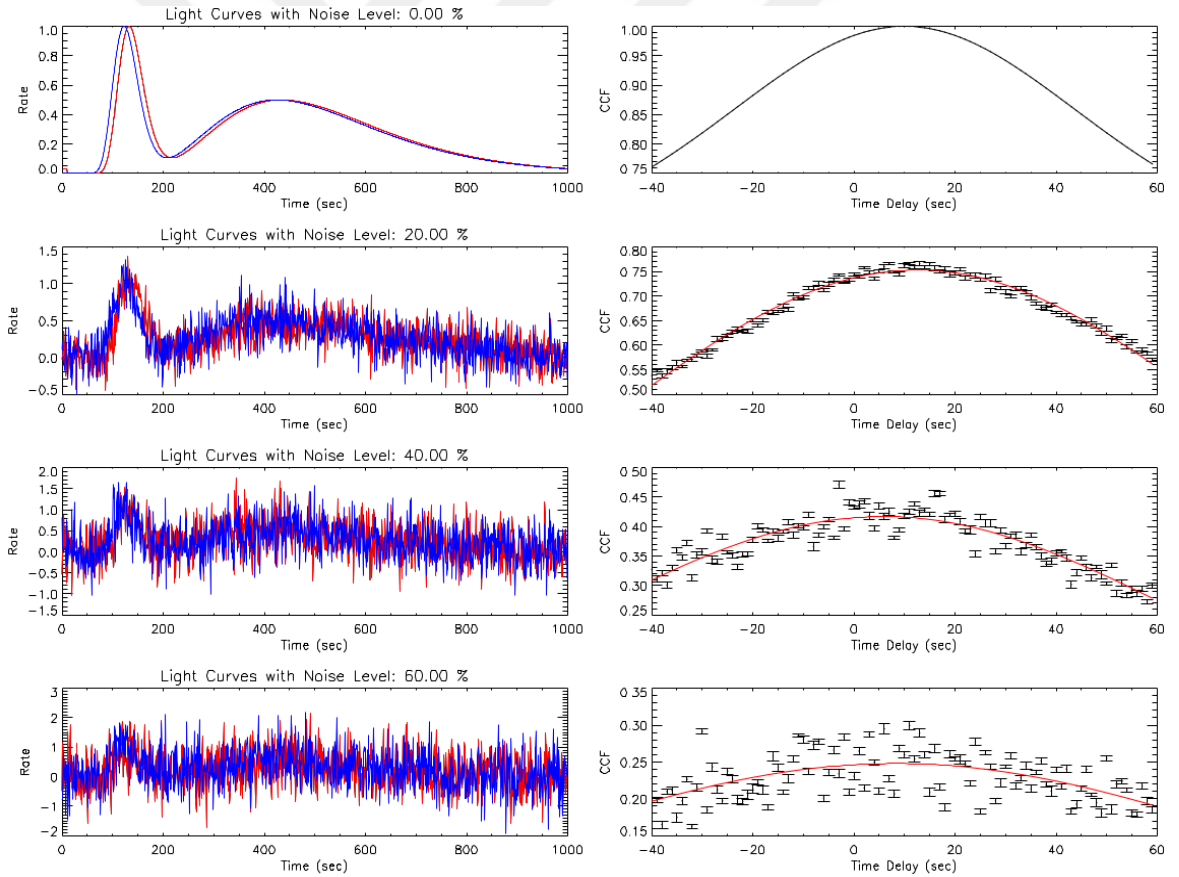
burada tayfsal zaman gecikmesi “ $\tau = d \times$  zaman çözümü (bin)” ile elde edilir.

#### Zaman Bin (Çözümü) Seçimi

Zaman çözümlerinin elde edilecek tayfsal gecikmeler üzerindeki etkisini anlamak önemlidir. Burada, ışık eğrisinin zaman binleri değiştirilerek, sinyal-gürültü oranının ne derece etkilendiği görülebilir. Bunun için 1 milisaniyeden başlayıp giderek daha büyük olan binler kullanılarak, ışık eğrisinin yüksek frekans bileşenleri üzerinde bir ortalama elde edilmektedir. Binleme için oldukça büyük zaman değerlerinin kullanılması ışık eğrisinden elde etmeyi beklediğimiz bilgileri kaybetme riski yaratabilir.

Zaman bininin etkisinin daha iyi anlaşılması için Ukwatta *et al.* (2010) tarafından tepe noktası normalize edilmiş sentetik ışık eğrilerini kullanan bir dizi simülasyon oluşturulmuştur. Buradan yola çıkarak, gürültü seviyesi aşamalı olarak artırılır, CCF ve zaman gecikmesi (CCF-Max) grafiğindeki maksimum korelasyon değeri üzerindeki etki incelenir. Şekil 19'da çeşitli gürültü seviyelerine (sırasıyla %0, %20, %40 ve %60) sahip sentetik ışık eğrileri ve tipik Gauss uyumu ile hesaplanan CCF örnekleri gösterilmektedir.

Sonuçlarda beklenildiği gibi gürültü seviyesi arttıkça CCF-Max. değeri kademeli olarak azalmaktadır. Ayrıca CCF'deki saçılmanın gürültü seviyesiyle birlikte önemli ölçüde arttığı da görülmektedir. CCF'deki küresel maksimum %40 gürültü seviyesinde açıkça görülebilmekte ve Gaussian fiti ile iyi bir uyum göstermektedir. Bununla birlikte, saçılmanın oldukça belirgin olduğu %60 gürültü seviyesi için durum böyle değildir. CCF küresel maksimumu net olarak görülmemeyle birlikte uygulanan fit eğrisi zayıf bir uyum göstermektedir.



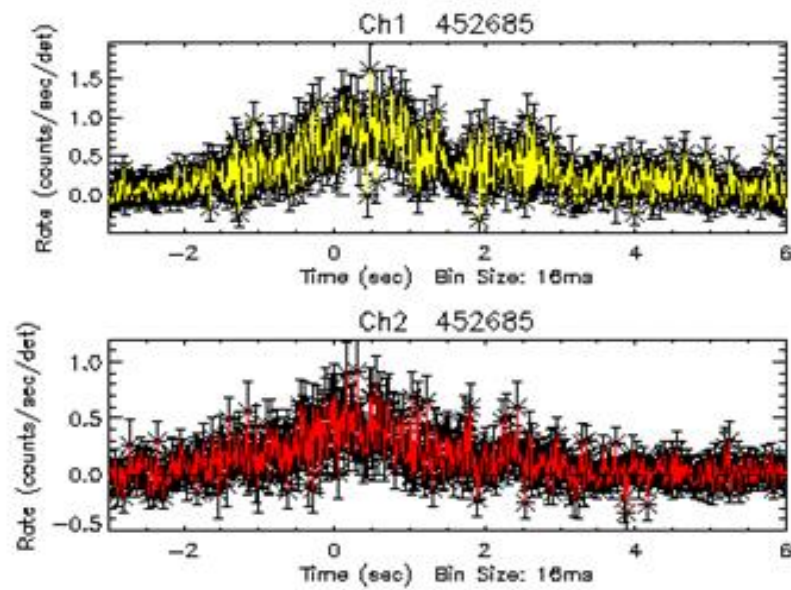
**Şekil 19.** Gürültünün CCF üzerindeki etkisi. Soldaki paneller, 10 saniyelik yapay bir gecikmenin eklendiği iki sentetik ışık eğrisini gösterir. Yukarıdan aşağıya doğru gürültü seviyesi sırasıyla %0, %20, %40 ve %60 şeklinde artmaktadır. CCF'ye karşı zaman gecikmesi grafikleri, Gauss uyumu ile birlikte sağ panellerde gösterilmiştir (Ukwatta *et al.* 2010)

Analizler sırasında bu simülasyon sonuçlarından yola çıkarak uygun zaman çözünürlüğü seçmek için yaklaşık %40'lık gürültü seviyesine karşılık gelen  $\sim 0.5$  büyüklüğündeki CCFMax değeri dikkate alındı. Böylece tayfsal gecikme hesaplamaları sırasında CCFMax  $\sim 0.5$  değerine ulaşana kadar ışık eğrilerindeki zaman çözümlemesi 1024 milisaniyelik bin değerinden başlanıp ikinin katları şeklinde azaltılarak uygulanır.

### Verilerin İndirgenmesi ve Tayfsal Gecikme Değerlerinin Hesaplanması

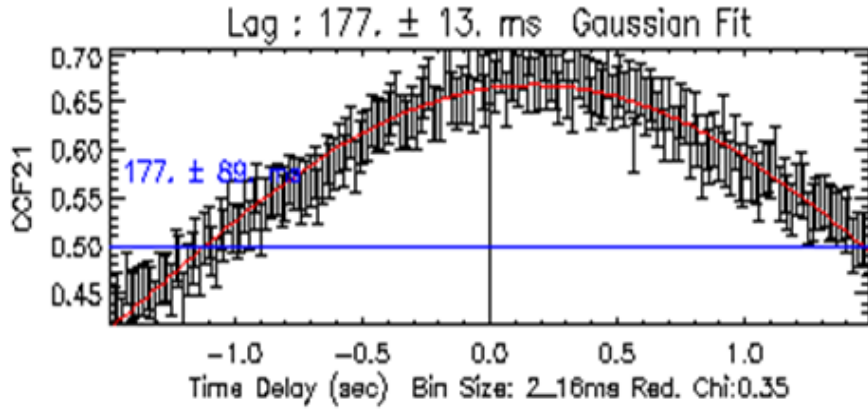
Yüksek ve düşük enerjili fotonların geliş zamanlarındaki fark olarak tanımlanan tayfsal gecikme için çalışılan kaynaklar Swift/BAT tarafından 2011-2019 yılları arasında gözlenen ve kırmızıya kayma değerleri bilinen uzun ve kısa süreli gama ışın patlamalarından seçilmiştir (Seçim kriterleri için bkz. Şekil 14).

Gözlemci çerçevesinde rastgele iki enerji bandı için elde edilen tayfsal gecikme GIP'ların kırmızıya kaymaya bağımlılığı nedeniyle GIP kaynak çerçevesinde farklı bir çift enerji bandına karşılık gelebilir. Bu durum tayfsal gecikme değerlerine bir enerji bağımlılığı getirebilir (Ukwatta *et al.* 2012). Bu nedenle tayfsal gecikmeleri gözlemci çerçevesinin aksine kaynak çerçevesinde hesaplamak tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Swift için kaynak çerçevesinde seçilen 100-150 ve 200-250 keV standart enerji bantları kırmızıya kayma değeri ( $z$ ) bilinen her bir GIP için  $(1+z)$  değerine bölünerek gözlemci çerçevesine dönüştürülüp farklı zaman çözünürlüklerinde ışık eğrileri oluşturuldu (Şekil 20). İncelenen kaynaklar, kırmızıya kayma değerleri ve kaynak çerçevesindeki enerji aralıkları Ek.3'de verilmiştir.



**Şekil 20.** Farklı enerji kanalları (Ch1: 100-150 keV ve Ch2: 200-250 keV; 16 ms zaman bini) için GRB 110503A'nın Swift-BAT ile alınan anlık gamma ışını ışık eğrileri

Yukarıdaki adımları takiben CCF hesabı Şekil 21’de gösterildiği gibi Gauss fiti çekilerek zaman gecikmesinin bir fonksiyonu olarak çizdirilir. Böylece Gauss fitinin pikine karşılık gelen zaman gecikmesi bize patlamanın tayfsal gecikmesini vermektedir. Tayfsal gecikmedeki belirsizlik Monte Carlo tekniği kullanılarak 1000 ışık eğrisinin simülasyonu ile elde edilir.



**Şekil 21.** Şekil 20’deki iki ışık eğrisi için zaman gecikmesinin bir fonksiyonu olarak CCF’in gösterimi. Gauss fitinin pikine karşılık gelen zaman gecikmesi ( $177 \pm 13$  ms) patlamanın tayfsal gecikmesini verir

## ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMALAR

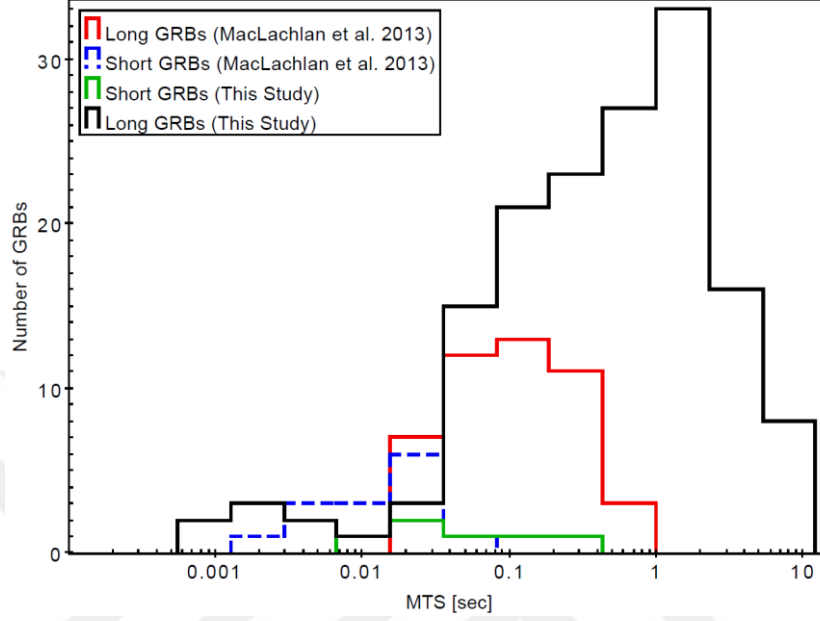
Kısa süreli GIP'ların yoğun nesnelerin kaynaşması sonucu ve uzun süreli GIP'ların ise büyük kütleli yıldızların kendi içine çökmesi sonucu oluştuğu artık yaygın olarak kabul edilmektedir. Her iki senaryo için yığılma diskinin oluşumuna dair farklı modeller tartışılrsa da diskin boyutu, kütlesi, manyetik alan şiddeti ve anlık yayınım sırasında madde akış miktarı büyük ölçüde belirsizliğini korumaktadır. Merkezi motorun yapısal değişkenliği veya jetin neden olduğu şok dalgası etkileşimlerinden kaynaklanan katkıların, ataları farklı olan uzun ve kısa süreli patlamalar için elde edilen değişkenlik zaman ölçeklerinde sistematik bir fark olarak görünmesi beklenmektedir. Bir GIP'in değişkenlik zaman ölçeği bilgisinden yola çıkarak onun yayınım bölgesinin büyüklüğü hakkında bir tahmin yürütülebilir (MacLachlan *et al.* 2013).

Yüksek ve düşük enerjili fotonların varış zamanındaki fark olarak tanımlanan tayfsal gecikme GIP'larda görülen yaygın bir özelliktir ve GIP'ları oluşturan fiziksel mekanizmanın anlaşılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tayfsal gecikmelere neden olan mekanizmanın (tayfsal evrim veya curvature etkisi) açıklanabilmesi için çok sayıda model geliştirilmiş olsa da tayfsal gecikmelere birden fazla mekanizmanın neden olması mümkündür.

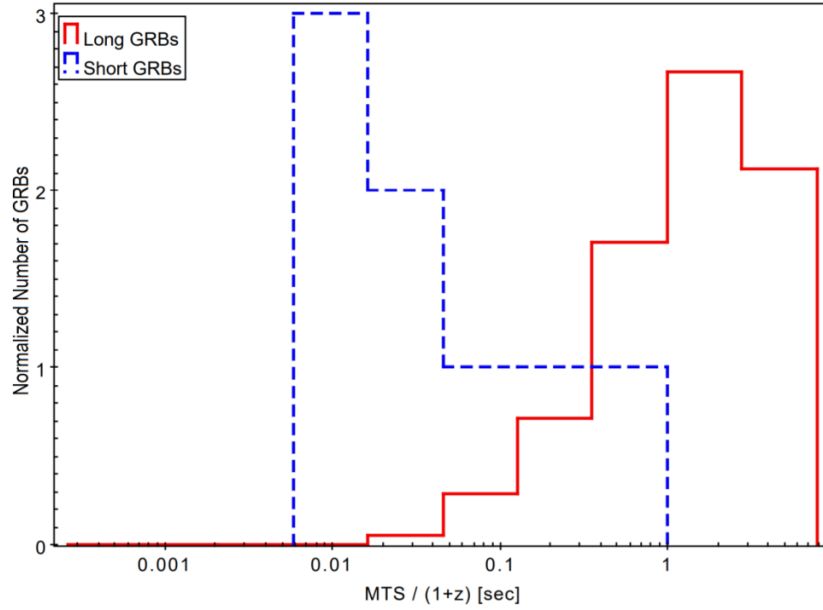
Bu çalışmada kırmızıya kayması bilinen ve Neil Gehrels Swift Gözlemevi ile 2011-2019 yılları arasında gözlemlenen 170 tane (8 tane kısa süreli ve 154 tane uzun süreli) GIP'in anlık yayınım ışık eğrileri elde edilmiş ve bu ışık eğrileri kullanılarak tayfsal gecikme ve karakteristik zaman ölçeği değerleri hesaplanmıştır.

Kaynakların MTS değerleri MacLachlan *et al.* (2013)'de FERMI-GBM tarafından tespit edilen GIP'ların anlık yayınımalarının karakteristik zaman ölçeklerinin hesaplanmasında kullanılan wavelet tekniği kullanılarak hesaplanmıştır (Ek.1 ve Ek.2). Bir önceki bölümde detayları verilen logaritmik-ölçek diyagramında spektrumun ölçeklendirme (kırmızı-gürültü) ve rasgele gürültü (beyaz-gürültü) bölgesinin kesişimi olarak tanımlanan minimum değişkenlik zaman ölçeği GIP'lara özgü fiziksel süreçlerin anlaşılabilmesi için kullanılan bir zaman ölçeğidir. Bu tez kapsamında çalışılan GIP'lar için elde edilen MTS değerleri gözlemci çerçevesinde MacLachlan *et al.* (2013) tarafından elde edilen değerler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 22'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere uzun süreli GIP'ların dağılımı ile kısa süreli GIP'ların dağılımı arasında MacLachlan *et al.* (2013)'de tartışıldığı gibi zamansal ayırım olduğu görülmektedir. Benzer şekilde patlamaların MTS değerlerinin dağılımlarına kaynak çerçevesinde de bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 23'te verilmektedir. Şekilde iki dağılım arasındaki fark açıkça görülebilir diye histogramın dikey eksenini rastgele normalize edilmiştir.

Patlamaların MTS değerlerinin kaynak çerçevesindeki dağılımı gözlemci çerçevesinde olduğu gibi kısa süreli GIP'lar için uzun süreli patlamalara göre daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

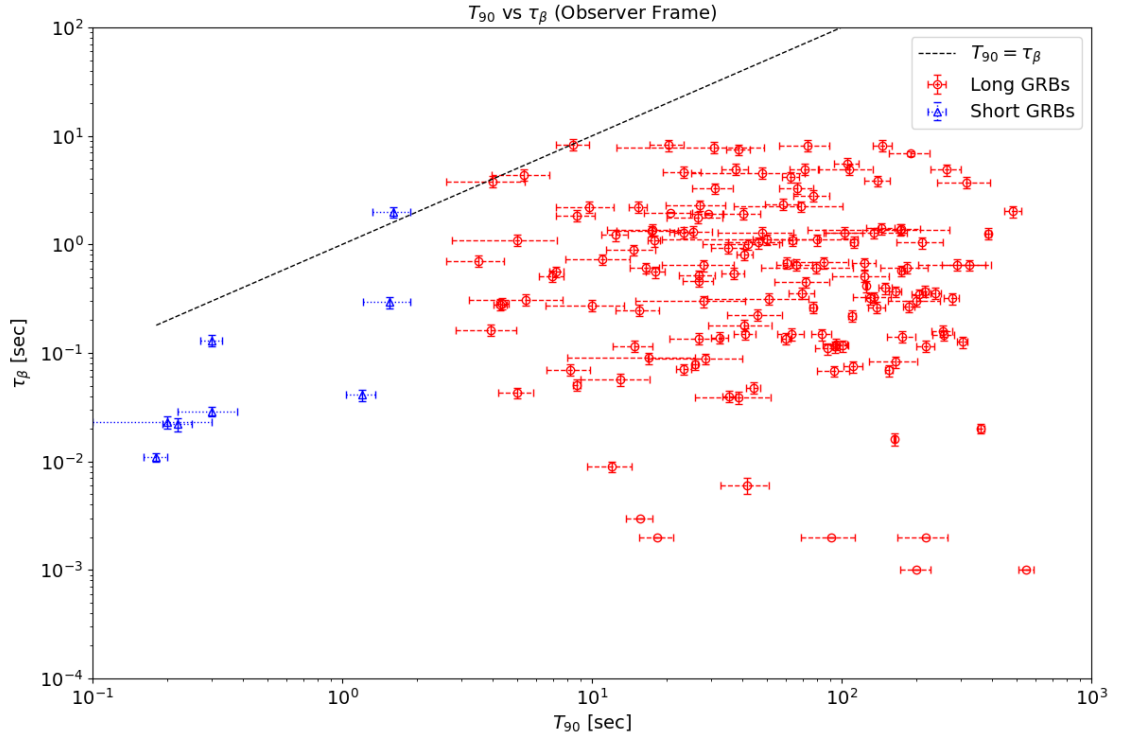


**Şekil 22.** Swift/BAT tarafından tespit edilen uzun süreli (siyah renk) ve kısa süreli (yeşil renk) GIP'ların MTS değerlerinin gözlemci çerçevesinde dağılımları. Ayrıca bu çalışmada elde edilen değerler daha önce MacLachlan et al. (2013) tarafından elde edilen değerler (kırmızı: uzun süreli ve mavi: kısa süreli patlama) ile karşılaştırıldı



**Şekil 23.** Swift/BAT tarafından tespit edilen uzun ve kısa süreli GIP'ların kaynak çerçevesinde dağılımları gösterilmektedir (İki dağılım arasındaki fark açıkça görülebilir diye histogramın dikey eksenini rastgele normalize edilmiştir)

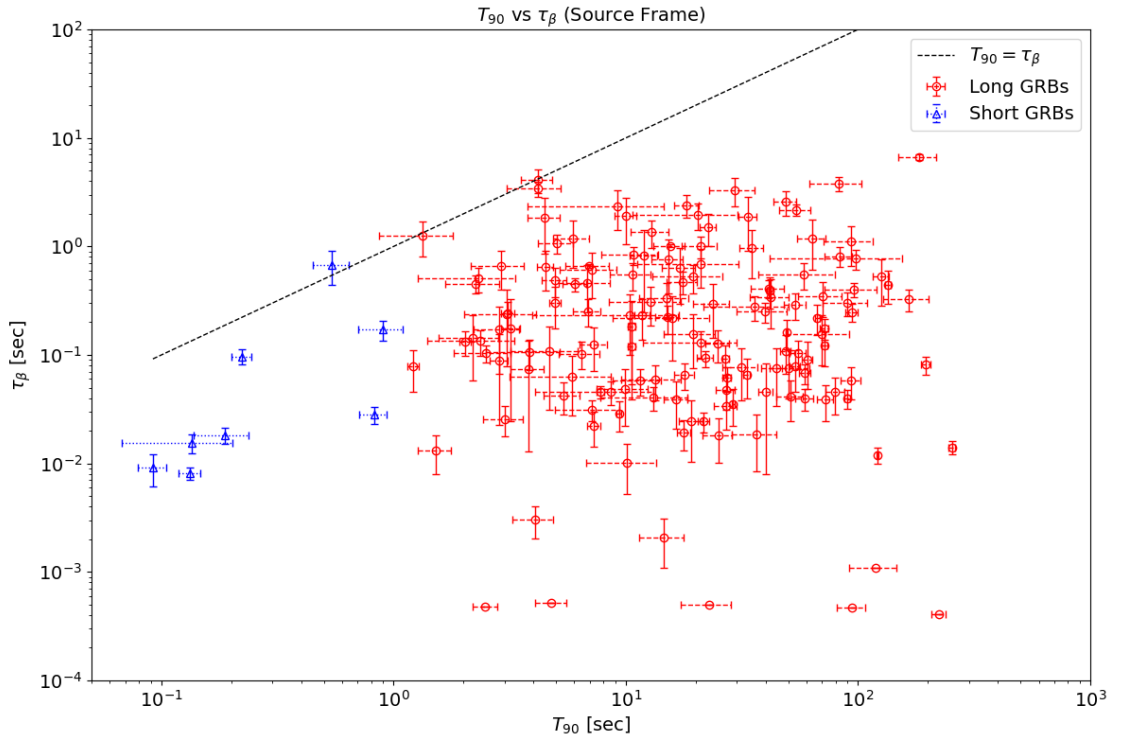
Ayrıca patlama süreleri ( $T_{90}$ ) ile MTS değerleri arasında bir ilişkinin olup olmadığı hem gözlemci çerçevesi (Şekil 24) hem de kaynak çerçevesinde (Şekil 25) bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Kısa süreli patlamalar mavi-üçgen ve uzun süreli patlamalar ise kırmızı-halka ile gösterilmiştir. Her iki şekilde de görülen kesikli çizgi patlama süresi  $T_{90}$  ile MTS'in eşit olduğu ( $MTS = T_{90}$ ) durumu temsil etmektedir. Histogramlarda da görüldüğü gibi kısa GIP'lar genel olarak uzun GIP'lara kıyasla daha küçük MTS değerlerine sahip olma eğilimindedir. Birkaç GIP'in eşitlik sınırına ( $MTS=T_{90}$ ) yakın olması dışında genel olarak hem kaynak hem de gözlemci çerçevesinde elde edilen MTS değerleri patlamaların  $T_{90}$  değerinden daha küçük olduğu ve hiçbir uzun GIP'in,  $T_{90}$ 'dan daha uzun bir MTS değerine sahip olmadığı görülmektedir. Uzun süreli ve kısa süreli GIP'lar için MTS değerlerinin  $\tau_{\beta}$ - $T_{90}$  düzleminde kendi içlerinde kümelenmiş olduğu görülmektedir. İncelenen  $\sim 10$  yıllık verilerden elde edilen sonuçlar hem gözlemci hem de kaynak çerçevesinde MacLachlan *et al.* (2013) tarafından elde edilen sonuçlar ile uyum içindedir.



**Şekil 24.** Gözlemci çerçevesindeki  $T_{90}$ 'a karşı MTS değerlerinin gösterimi (kırmızı-halka: uzun süreli GIP'lar, mavi-üçgen: kısa süreli GIP'lar)

Tayfsal gecikme-ışınma gücü arasındaki ilişkinin GIP'lara özgü olup olmadığını araştırmak için tercih edilen yöntem gözlemci çerçevesinden ziyade kaynak çerçevesindeki tayfsal gecikmelerin çıkarılmasıdır. Kaynak çerçevesindeki tayfsal gecikmeleri elde edebilmek için (1) zaman genişlemesi ( $z$ -düzeltmesi) ve (2) farklı kırmızıya kaymaya sahip GIP'lar için

gözlemlenen enerji bantlarının aslında GIP kaynak çerçevesinde farklı enerji bantlarına karşılık geldiği göz önünde bulundurularak (K-düzeltilmesi; Gehrels *et al.* 2006) bir düzeltme yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında kırmızıya kaymaları bilinen Swift/BAT ile gözlenen 170 GIP kaynağı için Ukwatta (2010)'da detaylı olarak anlatılan CCF analiz metodu kullanılarak kaynak çerçevesinde tayfsal gecikme hesaplanmıştır. Tayfsal gecikme değerlerini elde edebilmek için öncelikle kaynak çerçevesinde seçilen iki enerji bandına (100–150 ve 200–250 keV) her bir patlamanın kırmızıya kaymasına göre düzeltme uygulandı ve bu enerji bantları kullanılarak maske düzeltmesi yapılmış (arka plan çıkarılmış) ışık eğrilerini elde edildi. Kaynak çerçevesinde seçilen 100–150 ve 200–250 keV enerji bantları için elde edilen tayfsal gecikmeler Tablo 2'de listelenmiştir. Her bir patlamanın Swift-BAT gözlem ID'si, tayfsal gecikme hesabı için kullanılan ışık eğrisinin başlangıç ve bitiş zamanı (T + XS ve T + XE, T patlamanın tespit edildiği zamanı göstermektedir), ışık eğrisinin zaman bini, Gauss eğrisinin fit aralığı (sırasıyla LS ve LE olarak belirtilen başlangıç zamanı ve bitiş zamanı) ve tayfsal gecikme değerleri Tablo 2'de verilmiştir. İncelenen 170 patlamadan, tayfsal gecikme değeri hesaplanan 70 patlama, tayfsal gecikme değeri sıfır çıkan 53 patlama bulunmaktadır. Tayfsal gecikme değeri sıfır çıkan patlamalar ayrıca Tablo 3'te listelenmiştir.



**Şekil 25.** Kaynak çerçevesindeki T<sub>90</sub>'a karşı MTS değerlerinin gösterimi (kırmızı-halka: uzun süreli GIP'lar, mavi-üçgen: kısa süreli GIP'lar)

**Tablo 2.** Swift-BAT GIP'ların 1. ve 2. enerji kanallarına göre tayfsal gecikme değerleri.

GIP*	Trigger ID	Bin size (ms)	T+Xs (sn)	T+XE (sn)	LS (sn)	LE (sn)	Lag değeri (ms)
GRB110213A	445414	128	-2.50	3.20	-3.00	5.00	804±425
GRB110422A	451901	32	-13.00	23.00	-1.9	0.9	113±80
GRB110503A	452685	32	-3.00	6.00	-1.50	1.50	174±64
GRB110715A	457330	64	-3.00	18.00	-0.50	0.60	62±17
GRB110801A_2	458521	128	337.00	370.00	-7.00	11.00	2086±735
GRB111008A	505054	256	-10.00	75.00	-4.50	4.65	823±558
GRB111123A	508319	512	-70.00	300.00	-18.00	18.00	2788±1432
GRB120118B	512003	1024	-5.00	30.00	-10.00	10.00	1690±905
GRB120119A	512035	512	-15.00	50.00	-2.50	3.00	319±76
GRB120326A	518626	16	-1.00	15.00	-1.65	2.40	346±145
GRB120327A	518731	32	30.00	45.00	-2.20	2.20	125±98
GRB120404A	519380	1024	-7.00	13.00	-8.50	8.50	3518±1090
GRB120521C	522656	256	-4.00	15.00	-4.50	6.30	920±319
GRB120712A	526351	64	-7.00	14.00	-3.00	4.00	765±355
GRB120811C	530689	16	-5.00	16.00	-4.00	5.00	544±167
GRB120922A_T	534394	256	-20.00	120.00	-7.00	7.00	783±490
GRB121128A	539866	8	8.00	44.00	-0.45	0.50	42±15
GRB121201A	540178	1024	-25.00	10.00	-6.00	10.00	2232±552
GRB130131B	547420	512	-5.00	12.00	-4.50	6.00	983±716
GRB130427A	554620	4	-52.00	-30.00	-0.32	0.30	25±12
GRB130514A	555821	64	-6.00	38.00	-9.00	9.50	915±438
GRB130514A_2	555821	64	-10.00	160.00	-10.00	10.00	1127±516
GRB130604A	557354	256	-3.00	30.00	-13.00	9.00	-4069±2041
GRB130606A	557589	256	-4.00	5.00	-4.00	6.00	718±632
GRB130610A	557845	64	-15.00	25.00	-5.50	7.00	871±499
GRB130907A	569992	1	-80	100	-0.15	0.2	18±4
GRB131030A	576238	64	-7.00	18.00	-1.00	0.80	182±46
GRB140114A	583861	256	60.00	170.00	-10.00	12.00	955±807
GRB140206A	585834	8	-2.00	15.00	-0.50	0.60	37±20
GRB140206A_2	585834	2	50.00	75.00	-0.45	0.60	93±12
GRB140213A	586569	8	-8.00	20.00	-0.90	0.80	-80±50
GRB140423A	596901	128	-60.00	115.00	-13.00	13.00	1792±1186
GRB140430A	597722	32	-3.00	5.00	-1.20	1.50	221±171
GRB140515A	599037	256	-23.00	10.00	-6.00	7.50	1254±565
GRB140518A	599287	512	-15.00	15.00	-11.00	11.00	1078±857
GRB140629A_T	602884	64	-6.00	20.00	-2.20	2.50	212±138
GRB140703A	603243	256	-15.00	20.00	-10.00	12.00	1459±1353
GRB140907A	611933	8	-30.00	70.00	-7.00	8.00	646±562
GRB141221A	622006	256	-5.00	20.00	-3.50	3.50	418±205
GRB141225A	622476	512	-2.00	40.00	-12.00	19.00	2892±1567
GRB150206A	630019	8	75.00	113.00	-0.80	0.80	55±35
GRB150301B	633180	32	-2.00	12.00	-2.00	3.00	476±191
GRB150314A	634795	4	-4.00	14.00	-1.00	1.00	87±32
GRB150323A_2	635887	128	120.00	150.00	-5.00	5.00	1348±395
GRB150323A_T	635887	1024	-5.00	150.00	-10.00	10.00	2826±839
GRB150403A	637044	8	-12.00	20.00	-3.50	2.50	179±84
GRB151021A	660671	8	-40.00	50.00	-5.00	6.00	486±299
GRB151027A	661775	64	-5.00	10.00	-1.75	2.00	192±133
GRB151111A	663074	256	-7.00	35.00	-7.00	10.00	1501±604
GRB160131A	672236	32	8.00	80.00	-2.00	3.00	841±208
GRB160203A	672525	1024	-10.00	35.00	-8.00	25.00	7313±1823

**Tablo 2.** Devamı...

GIP*	Trigger ID	Bin size (ms)	T+Xs (sn)	T+XE (sn)	LS (sn)	LE (sn)	Lag değeri (ms)
GRB160227A_2	676423	256	180.00	260.00	-12.00	12.00	1366±1078
GRB160227A_T	676423	4	-125.00	260.00	-15.00	15.00	1833±1350
GRB160327A	680655	64	-2.00	15.50	-3.50	2.25	-549±262
GRB160703A	702699	16	-15.00	50.00	-0.50	0.65	60±20
GRB161014A	717500	512	-20.00	30.00	-25.00	25.00	-1921±2068
GRB161017A	718023	32	-7.00	35.00	-2.50	2.50	188±168
GRB161017A_T	718023	4	-7.00	147.00	-2.70	2.70	190±162
GRB161117A	722604	4	-15.00	160.00	-1.50	2.75	702±83
GRB161129A	724438	256	-10.00	45.00	-9.50	12.00	1042±763
GRB170604A	755867	256	-20.00	22.00	-15.00	18.00	1838±1317
GRB171020A	780845	512	-3.00	25.00	-9.10	20.00	6515±1982
GRB180314A	814129	32	-14.00	16.00	-2.50	2.50	1169±255
GRB180325A	817564	64	-2.00	10.00	-1.50	1.50	330±187
GRB180620B	843211	64	-9.00	125.00	-3.40	4.80	762±174
GRB180720B	848890	32	-6.00	55.00	-0.30	0.30	40±23
GRB180728A	850471	32	10.00	20.00	-2.00	1.00	-227±113
GRB181020A	867987	8	-5.00	30.00	-2.00	2.20	134±87
GRB190324A	894718	32	15.00	30.00	-0.80	0.90	76±46
GRB190719C	915381	4	-1.00	190.00	-1.00	1.40	103±73

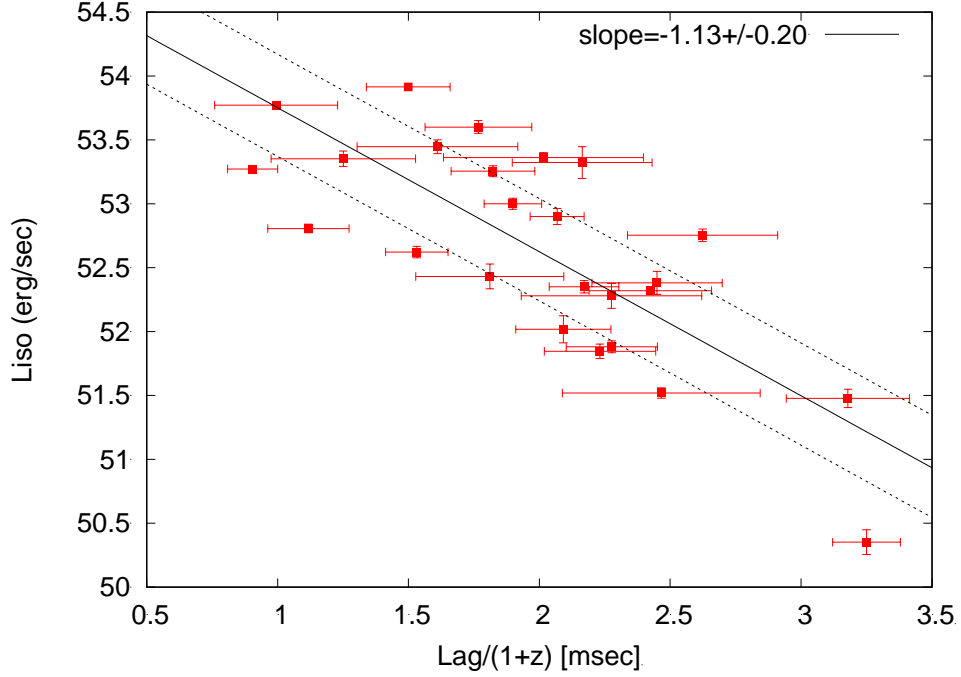
\*GRB\_2 ve GRB\_T patlamalarının incelenen bölümlerine göre “\_2” kaynağın ışık eğrisinde görülen ikinci pulsun, “\_T” ise iki veya daha fazla puls varsa tümünün birlikte incelendiğini ifade etmektedir. Diğerleri ise birden fazla patlamaya sahip olanları dahil sadece birinci patlamanın incelendiğini ifade etmektedir.

**Tablo 3.** Tayfsal gecikme değeri sıfır ile uyumlu olan kaynaklar.

GIP*	Trigger ID	GIP	Trigger ID	GIP	Trigger ID
GRB110205A	444643	GRB131227A	582184	GRB160121A	671231
GRB111008A_2	505054	GRB140304A	590206	GRB160303A	677495
GRB111107A	507185	GRB140419A	596426	GRB161017A_2	718023
GRB111228A	510649	GRB140419A_2	596426	GRB170202A	736407
GRB111228A_T	510649	GRB140419A_T	596426	GRB170405A_2	745797
GRB120729A	529095	GRB140506A	598284	GRB170405A_T	745797
GRB120802A	529486	GRB140512A	598819	GRB170531B	755354
GRB120907A	532871	GRB140512A_2	598819	GRB170531B_2	755354
GRB120909A	533060	GRB140512A_T	598819	GRB170531B_T	755354
GRB120922A_2	534394	GRB140518A_T	599287	GRB170607A	756284
GRB121027A	536831	GRB141004A	614390	GRB170705A_2	760064
GRB130420A	553977	GRB141109A_2	618024	GRB170705A_T	760064
GRB130427B	554635	GRB141109A_T	618024	GRB180329B	819490
GRB130603B	557310	GRB150413A	637899	GRB180329B_2	819490
GRB130701A	559482	GRB150423A	638808	GRB180404A	821881
GRB130831A	568849	GRB150424A	638946	GRB190106A	882252
GRB130907A_2	569992	GRB151112A	663179	GRB190114C	883832
GRB131117A	577968	GRB151215A	667392		

\* GRB\_2 ve GRB\_T patlamalarının incelenen bölümlerine göre “\_2” kaynağın ışık eğrisinde görülen ikinci pulsun, “\_T” ise iki veya daha fazla puls varsa tümünün birlikte incelendiğini ifade etmektedir. Diğerleri ise birden fazla patlamaya sahip olanları dahil sadece birinci patlamanın incelendiğini ifade etmektedir.

Tayfsal gecikme değeri pozitif çıkan ve literatürde izotropik pik ışınma gücü değerleri bulunan 25 patlama (Tablo 4) için kırmızıya kayması düzeltilmiş tayfsal gecikmeye karşı izotropik tepe parlaklığı karşılaştırmalı olarak Şekil 26’da verilmektedir. Şekildeki katı çizgi en iyi uyum gösteren güç yasasını (best-fitting power-law curve) göstermektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen en iyi uyum gösteren güç yasası indeksi ( $-1.13 \pm 0.20$ ), Ukwatta *et al.* (2010) tarafından elde edilen ( $-1.2 \pm 0.2$ )’lük güç yasası indeksi sonuçları ile tutarlıdır.



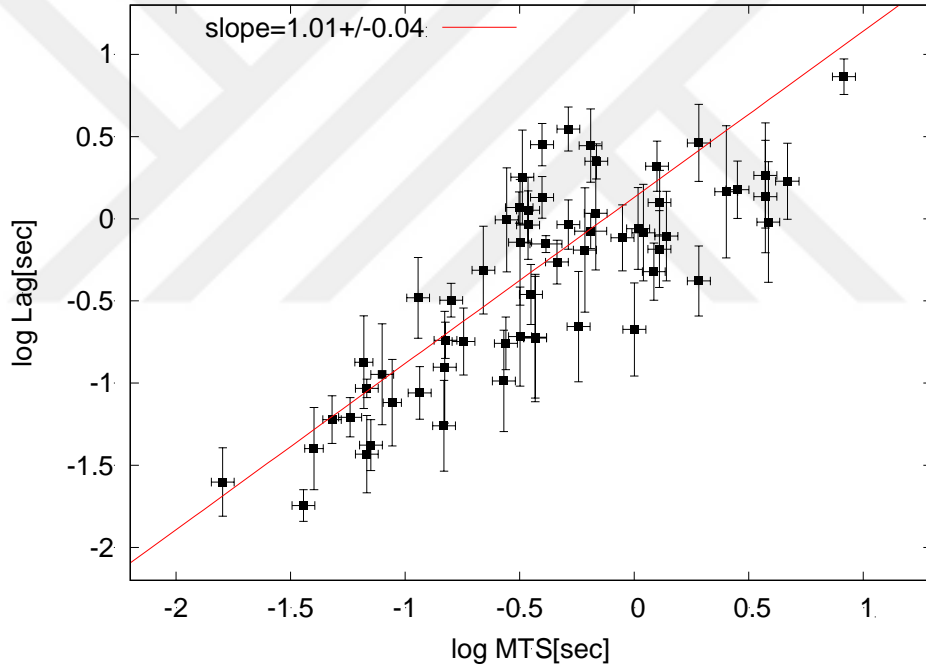
**Şekil 26.** Kaynak çerçeve enerji aralığı bantları 100-150 keV ve 200-250 keV arasındaki tayfsal gecikmeler ve izotropik tepe parlaklığı bir log-log grafiği

**Tablo 4.** Tablo 2’de verilen tayfsal gecikme değerleri hesaplanan kaynakların literatürde bulunan ve Şekil 26’da gösterilen  $\text{Lag}/(1+z)$  ye karşı çizilen  $\text{Liso}$  değerleri.

GIP	Log_Liso*	LogLag/(1+z) (sn)	GIP	Log_Liso	LogLag/(1+z) (sn)
GRB110213A	$52.32 \pm 0.01$	2.424	GRB140423A	$52.75 \pm 0.05$	2.624
GRB110422A	$53.45 \pm 0.05$	1.611	GRB140518A	$52.28 \pm 0.09$	2.276
GRB110503A	$53.26 \pm 0.04$	1.823	GRB140629A_T	$52.43 \pm 0.10$	1.811
GRB110715A	$52.62 \pm 0.05$	1.532	GRB140907A	$51.52 \pm 0.04$	2.466
GRB120119A	$52.90 \pm 0.06$	2.068	GRB141221A	$51.85 \pm 0.06$	2.232
GRB120326A	$52.02 \pm 0.11$	2.092	GRB141225A	$51.48 \pm 0.07$	3.179
GRB120811C	$52.35 \pm 0.05$	2.171	GRB150206A	$53.35 \pm 0.06$	1.251
GRB121128A	$52.81 \pm 0.03$	1.118	GRB150301B	$51.88 \pm 0.05$	2.277
GRB130606A	$53.36 \pm 0.04$	2.016	GRB150314A	$53.91 \pm 0.01$	1.499
GRB130610A	$52.38 \pm 0.09$	2.450	GRB150323A_T	$50.35 \pm 0.10$	3.250
GRB130907A	$53.27 \pm 0.02$	0.905	GRB150403A	$53.60 \pm 0.05$	1.767
GRB131030A	$53.00 \pm 0.04$	1.899	GRB151021A	$53.32 \pm 0.12$	2.164
GRB140206A_2	$53.77 \pm 0.01$	1.396			

\*Ghirlanda *et al.* 2018.

Elde edilen değişkenlik zaman ölçeğinin çapraz korelasyon fonksiyonu ile elde edilen tayfsal gecikmeler gibi GIP'lara özgü olan diğer zaman ölçekleri ile karşılaştırılması GIP'ların anlık yayınına neden olan mekanizmanın anlaşılması için önemlidir. Tayfsal gecikmeye neden olan mekanizma curvature etkisi ise bu çalışma kapsamında MTS ile ilişkilendirdiğimiz değişkenlik zaman ölçeği arasında bir ilişkinin olması beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında GIP'ların anlık yayını ışık eğrileri kullanılarak elde edilen MTS ve tayfsal gecikme parametrelerinin arasında bir ilişki olup olmadığına bakılmıştır. Sonuçlar Şekil 27'de verilmektedir. Şekilde kırmızı katı çizgi en iyi uyumu ( $1.01 \pm 0.04$ ) gösterir. Sonuçlar açıkça, iki zamansal özellik olan tayfsal gecikme ve MTS arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir. Astrofiziksel öneme sahip olduğunu düşündüğümüz güçlü korelasyonun varlığı teorik olarak ayrıntılı araştırmayı gerektirmektedir.



**Şekil 27.** GIP anlık yayını için elde edilen tayfsal gecikme ve MTS arasındaki ilişki gösterilmektedir.

## SONUÇ

Gama ışın patlamaları oldukça yüksek enerjili olaylar olup anlık yayılım ışık eğrileri patlamadan patlamaya değişen, periyodik olmayan düzensiz pikler göstermektedir. Onlarca yıldır uzay ve yer tabanlı gözlem araçlarıyla takip edilen GIP'ların ışık eğrileri kullanılarak yapılan çalışmalar ile onları oluşturan patlama mekanizmalarının altında yatan fiziksel süreçler tamamen anlaşılmamıştır. Bu tez çalışmasında Swift/BAT tarafından gözlenen ve kırmızıya kayma değerleri bilinen 170 kısa ve uzun süreli GIP'in anlık yayılım ışık eğrileri elde edilmiş ve bu ışık eğrileri kullanılarak tayfsal gecikme ve karakteristik zaman ölçeği değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

- Patlamaların MTS değerlerinin hem kaynak çerçevesindeki hem de gözlemci çerçevesinde dağılımı kısa süreli GIP'lar için uzun süreli patlamalara göre daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir.
- Uzun süreli GIP'ların bir kısmı için 1s üzerinde bir değişkenlik değeri elde edilmiştir.
- Uzun süreli GIP'ların dağılımı ile kısa süreli GIP'ların dağılımı arasında MacLachlan *et al.* (2013)'de tartışıldığı gibi zamansal ayırım olduğu görülmektedir.
- Literatürde yapılan diğer çalışmalarda da belirtildiği gibi uzun süreli patlamaların bir tayfsal gecikme gösterdikleri bulunmuştur. Kısa süreli patlamaların ise önemli bir tayfsal gecikme göstermediği ve bu sonuçların daha önce elde edilen Norris (1995) ve Norris and Bonnell (2006) elde ettiği sonuçlar ile uyum içinde oldu görülmüştür.
- Tayfsal gecikme değeri pozitif çıkan ve literatürde izotropik pik ışımaya gücü değerleri bulunan 25 patlama için kırmızıya kayması düzeltilmiş tayfsal gecikmeye karşı izotropik tepe parlaklığı karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve bu çalışma kapsamında elde edilen en iyi uyum gösteren güç yasası indeksi ( $-1.13 \pm 0.20$ ), Ukwatta *et al.* (2010) tarafından elde edilen ( $-1.2 \pm 0.2$ )'lük güç yasası indeksi sonuçları ile tutarlı olduğu görülmüştür.
- Tez kapsamında elde edilen iki zamansal özellik olan tayfsal gecikme ve MTS arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğu görülmüştür. Astrofiziksel öneme sahip olduğunu düşündüğümüz güçlü korelasyonun varlığı teorik olarak ayrıntılı araştırmayı gerektirmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abdo, A. A., Ackermann, M., Arimoto, M., *et al.*, 2009a. Fermi Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission from GRB 080916C. *Science*, 323 (5922), 1688-1693.
- Abdo, A. A., Ackermann, M., Arimoto, M., *et al.*, 2009b. Fermi Observations of of GRB 090902B: A Distinct Spectral Component in the Prompt and Delayed Emission. *Astrophys. Journal. Lett.* 706, 138–144.
- Addison P. S., 2002. *The Illustrated Wavelet Transform Handbook*, IOP Publishing Ltd. Afterglow Era: Proceedings of the International Workshop Held in Rome, Italy, 17-20 October 2000, ESO Astrophysics Symposia. Edited by E. Costa, F. Frontera, and J. Hjorth. Springer-Verlag, 288.
- Atwood, W. B., Abdo, A. A., Ackermann, M., *et al.*, 2009. The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-Ray Space Telescope Mission. *The Astrophysical Journal*, 697 (2), 1071-1102.
- Anonim, 2020a. <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/imp6.html>
- Anonim, 2020b. The third interplanetary network.” <http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/>
- Anonim, 2020c. <https://swift.gsfc.nasa.gov/analysis/swiftbat.pdf>
- Anonim 2020d. <https://hubblesite.org/image/1916/category/32-gamma-ray-bursts>
- Bonnell, J. T., Klebesadel, R. W., 1996. Brief History Of The Discovery, AIP Conference. Proceedings, 384, 977-980.
- Band, D., Matteson, J., Ford, L., 1993. BATSE observations of gamma-ray burst spectra. I- Spectral diversity. *Astrophysical Journal*, 413 (1), 281-292.
- Barthelmy, S.D., *et al.*, 1995. BACODINE, the Real-Time BATSE Gamma-Ray Burst Coordinates Distribution Network, *Astrophysics and Space Science*, 231, 235.
- Barthelmy, S.D., Barbier, L.M., Cummings, J.R., *et al.*, 2005. The Burst Alert Telescope (BAT) on the SWIFT Midex Mission. *Space Science Reviews*, 120, (3-4), 143-164.
- Bernardini, M. G., 2015. Gamma-ray bursts and magnetars: Observational signatures and predictions. *Journal of High Energy Astrophysics*. 7, 64–72.
- Boella, G., Chiappetti, L., Conti, G., *et al.*, 1997. The medium-energy concentrator spectrometer on board the BeppoSAX X-ray astronomy satellite. *Astron. A & A Supplement series*, 122, 327-340.
- Briggs, M.S., Paciesas, W.S., Pendleton, G.N., 1996. BATSE Observations of the Large-Scale Isotropy of Gamma-Ray Bursts. *Astrophysical Journal*, 459, 40.
- Briggs, M. S., Band, D. L., Kippen, R. M., Preece, R. D., Kouveliotou, C., van Paradijs, J., Share, G. H., Murphy, R. J., Matz, S. M., Connors, A., Winkler, C., McConnell, M. L., Ryan, J. M., Williams, O. R., Young, C. A., Dingus, B., Catelli, J. R., Wijers, R. A. M. J., 1999. Observations of GRB 990123 by the Compton Gamma Ray Observatory. *ApJ*, 524, 82–91.
- Burrows, D.N., Hill, J.E., Nousek, J. A., *et al.*, 2005. The Swift X-Ray Telescope. *Space Science Reviews*. 120 (3-4), 165-195.
- Bouvier, A., 2010. Gamma-Ray Burst Observations at High Energy with the Fermi Large Area Telescope. Ph.D. Thesis, arXiv:1012.0558 [astro-ph].
- Butler, N. R., *et al.* 2005. GRB 050709: a possible short-hard GRB localized by HETE, GRB Coordinates Networks 3570, 1.
- Colgate, S.A., 1974. Early Gamma Rays from Supernovae, *Astrophysics Journal*. 187, 333.
- Costa, E., Frontera, F., Heise, J., *et al.*, 1997. Discovery of an X-ray afterglow associated with the  $\gamma$ -ray burst of 28 February 1997. *Nature*, 387 (6635), 783-785.
- Dai, X., Halpern, J. P., Morgan, N. D., Armstrong, E., Mirabal, N., Haislip, J. B., Reichart, D. E., Stanek, K. Z., 2007. Optical and X-Ray Observations of GRB 060526: A Complex Afterglow Consistent with an Achromatic Jet Break. *658(1)*, 509-513.

- Duncan, R.C., and Thompson, C., 1992. Formation of very strongly magnetized neutron stars implications for gamma-ray bursts. *Astrophys. Journal. Lett.* 392, L9–L13.
- Evans, P. A., *et al.*, 2009. Methods and results of an automatic analysis of a complete sample of Swift-XRT observations of GRBs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 397, 1177–1201.
- Falcone, A. D., Burrows, D. N., Lazzati, D., Campana, S., Kobayashi, *et al.*, 2006. The Giant X-Ray Flare of GRB 050502B: Evidence for Late-Time Internal Engine Activity. *641(2)*, 1010-1017.
- Fenimore, E. E. and Ramirez-Ruiz, E., 2000. Redshifts For 220 BATSE Gamma-Ray Bursts Determined by Variability and the Cosmological Consequences. *ArXiv Astrophysics e-prints*, 33.
- Fishman G.J., and Meegan, C.A., 1995. Gamma-Ray Bursts. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 33, 415-458.
- Fong, W., Berger, E., Fox, D. B., 2010. Hubble Space Telescope Observations of Short Gamma-Ray Burst Host Galaxies: Morphologies, Offsets, and Local Environments. *The Astrophysical Journal*, 708, (1), 9-25.
- Frail, D. A., Kulkarni, S. R., Nicastro, L., *et al.*, 1997. The radio afterglow from the  $\gamma$ -ray burst of 8 May 1997. *Nature*, 389 (6648), 261-263.
- Frail, D. A., Cameron, P. B., Kasliwal, M., Nakar, E., Price, P. A., *et al.*, 2006, An Energetic Afterglow from a Distant Stellar Explosion. *The Astrophysics Journal*, 646, L99.
- Fryer, C. L., Woosley, S. E., and Hartmann, D.H., 1999. Formation Rates of Black Hole Accretion Disk Gamma-Ray Bursts, *Astrophysical Journal*, 526, 152– 177.
- Galama, T. J., Vreeswijk, P. M., van Paradijs, J., *et al.*, 1999. On the possible association of SN 1998bw and GRB 980425. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 138, 465-466.
- Gehrels, N., Chincarini G. *et al.*, 2004. The Swift Gamma-Ray Burst Mission. *The Astrophysical Journal*, 611, 1005–1020.
- Gehrels, N., Norris, J. P., Barthelmy, S. D., Granot, J., Kaneko, Y., *et al.*, 2006. A new  $\gamma$ -ray burst classification scheme from GRB 060614. *Nature*, 444, 1044.
- Gehrels, N., Ramirez-Ruiz, E. And Fox, D. B., *et al.*, 2009. Gamma-Ray Bursts in the Swift Era. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 47, 567-617.
- Gomboc, A., 2012. Unveiling the secrets of gamma ray bursts. *Contemporary Physics*, 53 (4), 339-355.
- Gou, L.J., Fox, D. B., and Mészáros, P., 2007, Modeling GRB 050904: Autopsy of a Massive Stellar Explosion at  $z = 6.29$ . *The Astrophysics Journal*, 668, 1083.
- Granot, J., Ramirez-Ruiz, E., and Loeb, A., 2005a, Implications of the Measured Image Size For the Radio Afterglow of GRB 030329. *The Astrophysics Journal*, 618, 413.
- Hjorth, J., *et al.* 2003. A very energetic supernova associated with the -ray burst of 29 March 2003, *Nature* 423 (2003), p. 847.
- Hjorth, J., *et al.* 2005. The optical afterglow of the short gamma-ray burst GRB 050709, *Nature* 437, 859-861.
- Hjorth, J. and Bloom, J.S. 2012. The Gamma-Ray Burst- Supernova Connection, *The GRB-Supernova Connection in Gamma-Ray Bursts*, eds. C. Kouveliotou, S. E. Woosley, R. A. M. J. Wijers, Cambridge University Press
- Hjört, J., Levan, A. J., Tanvir, N. R., Lyman, J. D. *et al.*, 2017. The Distance to NGC 4993: The Host Galaxy of the Gravitational-wave Event GW170817, *Astrophysical Journal Letters*, 848, L31.
- Howe, D. and Percival, D., 1995. *IEEE, Transactions on Instrumentation and Measurement*, 44, 94–97.
- Kaneko, Y., E. Ramirez-Ruiz, J. Granot, Kouveliotou, C., Woosley, S. E., *et al.*, 2007. Prompt and Afterglow Emission Properties Of GRBs With Spectroscopically identified supernovae. *The Astrophysics Journey*, 654(1), 385.

- Klebesadel, R.W., Strong, Ian B., Olson, Roy A., 1973. Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin. *Astrophysical Journal*, 182, L85.
- Kouveliotou, C., Meegan, C.A., Fishman, G.J., *et al.*, 1993. Identification of two classes of gamma-ray bursts. *Astrophysical Journal*, 413(2), L101-L104.
- Kobayashi, S., Piran, T., Sari, R., 1997. Can Internal Shocks Produce the Variability in Gamma-Ray Bursts? *Astrophysical Journal*. 490, 92.
- Lattimer, J.M., and Prakash, M., 2007. Neutron Star Observations: Prognosis For Equation Of State Constraints. *Physics Reports*, 442, 109–165.
- Levan, A. J., 2018. *Gamma-Ray Bursts*. IOP ebooks, 285p, Bristol, UK.
- Leibler, C. N., Berger, E., 2010. The Stellar Ages and Masses of Short Gamma-ray Burst Host Galaxies: Investigating the Progenitor Delay Time Distribution and the Role of Mass and Star Formation in the Short Gamma-ray Burst Rate. *The Astrophysical Journal*, 725 (1), 1202-1214.
- MacLachlan, G. A., Shenoy, A., Sonbas, E. Dhuga, K. S., *et al.* 2013. Minimum Variability Time Scales of Long and Short GRBs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 432(2), 857–865.
- MacFadyen, A. I., Woosley, S. E., 1999. Collapsars: Gamma-Ray Bursts and Explosions in Failed Supernovae. *The Astrophysical Journal*, 524 (1), 262-289.
- Mangano, V., Holland, S. T., Malesani, D., Troja, E., Chincarini, G., *et al.*, 2007. Swift Observations Of GRB 060614: An Anomalous Burst With A Well Behaved Afterglow. *Astronomy and Astrophysics*. 470(1), 105-118.
- Mallat S. G., 1989. *IEEE, Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11, 674-693.
- Meegan, C., Lichti, G., Bhat, P. N., *et al.*, 2009. The Fermi Gamma-ray Burst Monitor. *The Astrophysical Journal*, 702 (1), 791-804.
- Meegan, C. A., Fishman, G. J., Wilson, R. B. *et al.*, 1992. Spatial Distribution of Gamma-Ray Bursts Observed by BATSE. *Nature*, 355, 143-145.
- Mészáros, P., 2002. Theories of Gamma-Ray Bursts. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. 40, 137-169.
- Mészáros P., and Rees M. J., 2014. *Gamma-Ray Bursts*. ARXIV, 1401, 3012.
- Mészáros, P., 2006. Gamma-ray bursts. *Reports on Progress in Physics*, 69(8), 2259-2321.
- Mészáros, P. and Rees, M. J., 1993. Model for cosmological GRB. *Astrophysical Journal*, 405, 278
- Metzger, M. R. *et al.* 1997. Spectral constraints on the redshift of the optical counterpart to the gamma-ray burst of 8 May 1997, *Nature*, 387, 878–880.
- Morsony, B. J., Davide L., and Mitchell C. B., 2010. The Origin And Propagation Of Variability In The Outflows Of Long-Duration Gamma-Ray Bursts.” *The Astrophysical Journal* 723(1), 267–276.
- Nakar, E., 2007. Short-hard gamma-ray bursts. *Physics Reports*, 442 (1-6), 166-236.
- Nicuesa Guelbenzu, A., 2017. Gamma ray bursts and their afterglows. *Highlights on Spanish Astrophysics IX, Proceedings of the XII Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society*, 54-65.
- Norris, J.P., 1995. *Gamma-Ray Bursts: The Time Domain*. *Astrophysics and Space Science*. 231 (1-2), 95-102.
- Norris, J. P. and Bonnell, J. T., 2006, Short Gamma-Ray Bursts with Extended Emission. *The Astrophysics Journey*, 643, 266.
- Nousek, J.A., Kouveliotou, C., Grupe, D., Page, K.L., Granot, J., Ramirez-Ruiz, E., *et al.*, 2006. Evidence For a Canonical Gamma-Ray Burst Afterglow Light Curve in the Swift XRT data. *Astrophysics Journal*, 642, 389- 400.
- O’Brien, P. T., Willingale, R., Osborne, J., *et al.*, 2006. *The Astrophysical Journal*, 647 (2), 1213-1237.

- Oren, Y., Nakar, E., and Piran, T., 2004, The Apparent Size Of Gamma-Ray Burst Afterglows As A Test Of The Fireball Model. *MNRAS* 353, L35-L40.
- Paciesas, W.S., Meegan, C. A., Pendleton, G.N., 1999. The Fourth BATSE Gamma-Ray Burst Catalog (Revised), *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 122(2), 465-495.
- Paczynski, B., 1991. Cosmological gamma-ray bursts. *Acta Astronomica*, 41(4), 257-267.
- Percival, D. B. and Walden A. T., 2002, *Wavelet Methods for Time Series Analysis*, Cambridge University Press, 594 p, London.
- Piran, T., 1993. Gamma-Ray Bursts From Neutron Star Mergers. NASA STI/Recon Technical Report N. 96, 13398.
- Piran, T., 2004. The physics of gamma-ray bursts. *Reviews of Modern Physics*, 76 (4), 1143-1210.
- Piotrowski, A. W., 2011. Modelling of the "Pi of the Sky" detector. Ph.D. Thesis, arXiv:1111.0004 [astro-ph.IM]
- Rees, M. J., and Mészáros, P. 1992, *MNRAS*, 258, 41.
- Reichart, D. E., Lamb, D. Q., Fenimore, E. E., Ramirez-Ruiz, E., Cline, T. L., and Hurley, K., 2001. A Possible Cepheid-like Luminosity Estimator for the Long Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysics Journal*, 552, 57.
- Rhaana L. C., 2008. The Swift satellite lives up to its name, revealing cosmic explosions as they happen. *The Royal Society*, 366 (1884), 4393-4404.
- Ricker, G.R., 1997. The High Energy Transient Explorer II [HETE-II]: An International Multiwavelength Mission. *All-Sky X-Ray Observations in the Next Decade*, 366.
- Roming, P. W. A., Kennedy, T.E., Mason, K.O. *et al.*, 2005. The Swift Ultra-Violet/Optical Telescope. *Space Science Reviews*, 120 (3-4), 95-142.
- Roming, P.W.A *et al.* 2009. The First Swift Ultraviolet/Optical Telescope GRB Afterglow Catalog. *ArXiv*, 690 (1), 163-188.
- Ruderman M., Bergman P. G, Fenyves E. J., and L. Motz, 1975. Theories of gamma-ray bursts. Seventh Texas Symposium on Relativistic Astrophysics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 262, 164–180.
- Ryde, F., 2004. The Cooling Behavior of Thermal Pulses in Gamma-Ray Bursts *The Astrophysical Journal*, 614(2), 827-846.
- Sakamoto, T., *et al.*, 2005. Global characteristic of X-ray flashes and X-ray-rich gamma-ray burst observed by HETE-2. *Astrophysical Journal* 629, 311-327.
- Schaefer, B. E. and Walker, K. C., 1999. A Gamma-Ray Burst with a 220 Microsecond Rise Time and a Sharp Spectral Cutoff. *The Astrophysical Journal*. 511(2),L89-L92.
- Soderberg, A. M., 2006. A Broader Perspective on the GRB-SN Connection. *AIP Conference Proceedings* 836, 380.
- Soderberg, A. M., Kulkarni, S. R., Nakar, E., Berger, E., Cameron, P. B., *et al.*, 2006b. Relativistic Ejecta From X-ray Flash XRF 060218 And The Rate Of Cosmic Explosions. *Nature* 442, 1014-1017.
- Sonbas E. Ukwatta, T. N., Dhuga K. S. *et al.* 2012. GRB Spectral Lags in The Source Frame: An Investigation of Fermi-GBM Bursts. *Proceedings of Science*, 26.
- Sonbas, E., Maclachlan, G.A., Dhuga, K.S., Veres, P., & Shenoy, A., 2015. Temporal Variability and the Bulk Lorentz Lorentz Factor of GRBs. *Proceedings Of Science*, 109.
- Ukwatta, T. N., Stamatikos, M., Dhuga K. S. *et al.*, 2010. Spectral Lags and the Lag-Luminosity Relation: An Investigation with Swift BAT Gamma-ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 711 (2), 1073-1086.
- Ukwatta, T. N., Dhuga K. S., Stamatikos, M., *et al.*, 2012. The lag–luminosity relation in the GRB source frame: an investigation with Swift BAT bursts. *Monthly Notices Royal Astronomical Society* 419, 614-623.
- Ukwatta, T.N., 2010. Spectral Lags and Variability of Gamma-ray Bursts in the Swift Era. PhD Thesis, The George Washington University Department of Physics, United States.

- Usov, V.V., 1992. Millisecond pulsars with extremely strong magnetic fields as a cosmological source of gamma-ray bursts. *Nature* 357, 472–474.
- Vanderspek, R., Villaseñor, J., Doty, J., Jernigan, J. G., Levine, A., Monnelly G. and Ricker G. R. 1999. GRB observations with the HETE soft X-ray cameras. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 138(3), 565-566.
- Van Paradijs, J., Groot, P. J., Galama, T. vd, 1997. Transient optical emission from the error box of the  $\gamma$ -ray burst of 28 February 1997. *Nature*, 386 (6626), 686-689.
- Walker, K.C., Schaefer, B.E. and Fenimore, E. E., 2000. Gamma-Ray Bursts Have Millisecond Variability. *The Astrophysical Journal*, 537(1), 264-269.
- Woosley, S.E., 2012. Models for Gamma-Ray Burst Progenitors and Central Engines, in *Gamma-Ray Bursts*, Cambridge University Press. 191-214.
- Woosley, S. E. 1993. Gamma-ray bursts from stellar mass accretion disks around black holes, *Astrophysical Journal*, 405, 273–277.
- Zhang, B., Fan, Y. Z., Dyks, J., Kobayashi, S., 2006. Physical Processes Shaping Gamma-Ray Burst XRay Afterglow Light Curves: Theoretical Implications from the Swift X-Ray Telescope Observations, *Astrophysical Journal*, 642, 354–370.
- Zhang B., and Yan H., 2011. The Internal-collision-induced Magnetic Reconnection and Turbulence (ICMART) Model of Gamma-ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 726(2), 90.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Dilem GÖKTAŞ
Doğum tarihi:	14 Nisan 1988
Doğum Yeri:	Şenkaya/Erzurum
Uyruğu:	T.C.
Adres:	Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi
Tel:	05370591175
E-mail:	goktas.dilem@gmail.com
Eğitim	
Lise:	Oltu Yabancı Dil Ağırlıklı Lise
Lisans:	Ankara Üniversitesi Ankara, Türkiye. Astronomi ve Uzay Bilimleri 2011–2015 Not Ortalaması: 2.73 (73.36)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi Erzurum, Türkiye Astronomi ve Astrofizik 2017–2020 Not Ortalaması: 3.01
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Intermediate (B2+)
Araştırmalar	
RTT150 Teleskobu 17BRTT150-1228 Numaralı Proje: <i>Gizemli sönümleme aktivitesine yeniden başlamış gibi görünen KIC8462852 Yıldızının takip gözlemleri.</i> RTT150 Teleskobu 16BRTT150-1059 Numaralı Proje: <i>Be/X-ışın çiftlerindeki geçici X-ışın parlamaları ve boşaltım diskleri arasındaki geçici ilişkinin araştırılması.</i>	
Sertifikalar	
*The Fourth Azarquiel School Of Astronomy: A Bridge Beteen East and West (11–16 June 2017 Portapalo di Capo Passero, İtalya) * Feza Gürsey Merkezi Yaz Okulları; Hakkı Ögelman Astronomlar için Yaz Okulu (19–23 Haziran 2017, İstanbul) * Feza Gürsey Merkezi Yaz Okulları; Astrofiziksel Diskler Yaz Okulu (14–18 Ağustos 2017, İstanbul) *Feza Gürsey Merkezi Yaz Okulları; Evrende Ölçekler ve Işımm Süreçleri Yaz Okulu (18–21 Haziran 2018, İstanbul)	