



KILONOVA İLİŞKİLİ KISA GRB'LERİN GENİŞLETİLMİŞ EMİSYON GÖSTEREN OLAYLARLA KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ



Aleya Nur ÖZTÜRK¹, Z. Funda BOSTANCI¹

¹ İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ, 34119, BEYAZIT, FATİH; İSTANBUL

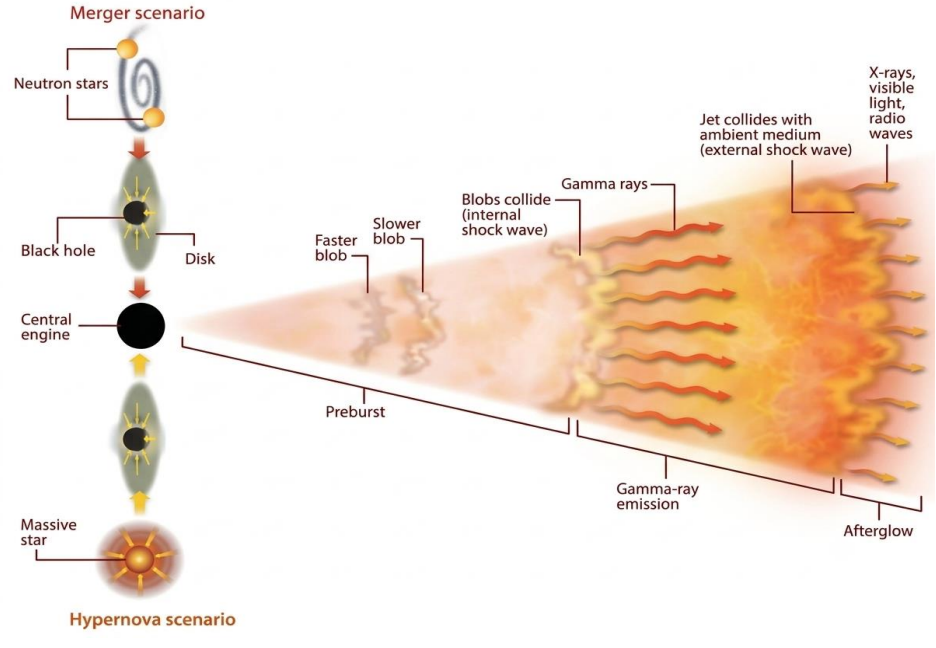
İletişim: aleynanurozturk@ogr.iu.edu.tr & funda.bostanci@istanbul.edu.tr

GİRİŞ

Bu çalışmada, literatürde kesin ve güçlü adaylar olarak tanımlanan kilonova ilişkili gama ışın patlamalarının (GRB'lerin) zamansal ve spektral özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Özellikle genişletilmiş emisyon (Extended Emission; EE) gösteren kısa GRB'lerle olası ilişkileri araştırılarak, bu olayların ortak ve ayırt edici fiziksel özelliklerinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

GAMA IŞIN PATLAMALARI

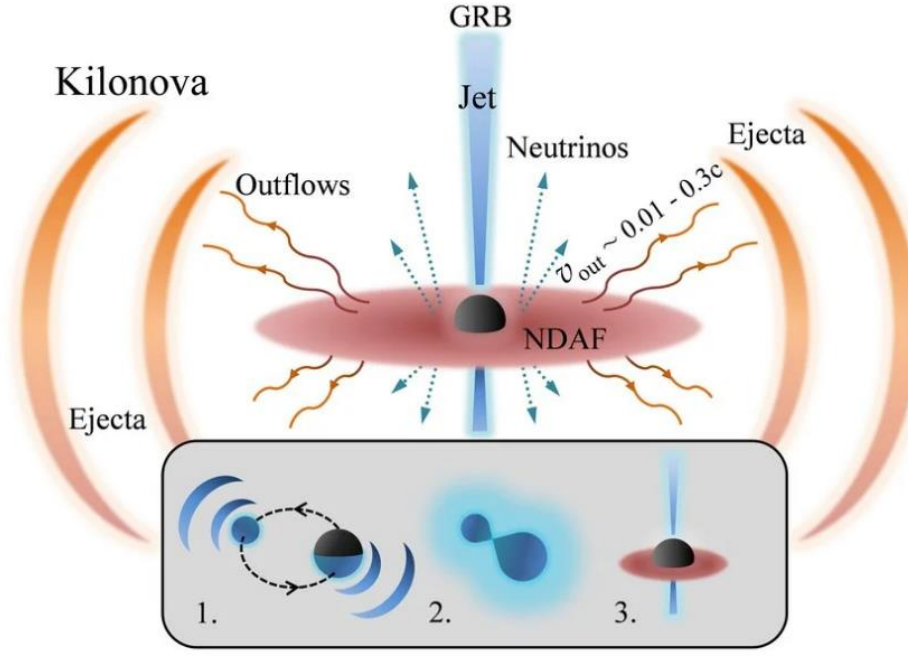
Gama ışın patlamaları (GRB'ler), evrende gözlenen en enerjik elektromanyetik olaylar olup, kısa süreli yoğun gama ışını emisyonu ve bunu izleyen çok dalga boyu ardıl ışımlarla karakterize edilir. Gama ışın patlamaları, gözlenen gama ışını akısının %90'ının biriktiği süreyi tanımlayan T_{90} parametresine göre geleneksel olarak kısa ve uzun olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. Kısa GRB'ler çoğunlukla ikili kompakt cisim birleşmeleriyle ilişkilendirilirken, uzun GRB'lerin büyük bir kısmı büyük kütleli yıldızların çekirdek çökmesiyle ilişkilidir.



Şekil 1. Gama ışın patlamalarında iç ve dış şok senaryosunun şematik gösterimi (Görsel: NASA).

KILONOVA

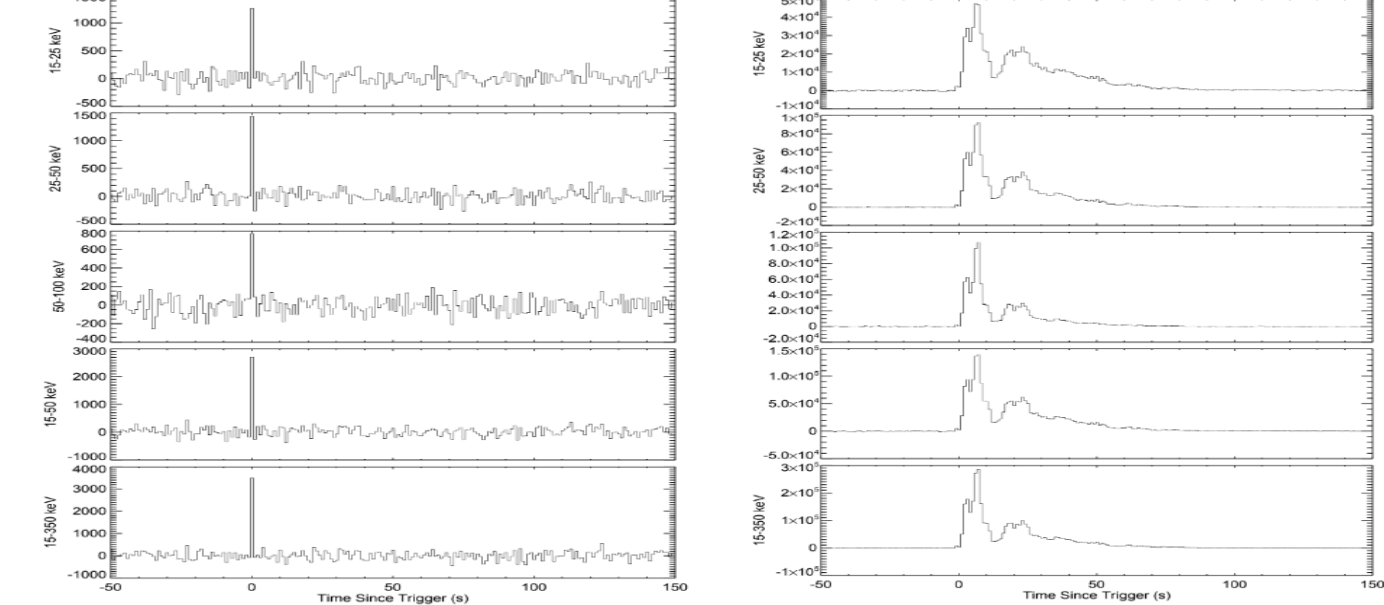
Kilonovalar, nötron yıldızı–nötron yıldızı veya nötron yıldızı–kara delik gibi ikili kompakt cisim birleşmeleri sırasında r-süreci ile sentezlenen ağır elementlerin radyoaktif bozunmasıyla güçlenen geçici elektromanyetik olaylardır. Yüksek lantanit opaklığı, özellikle kırmızı ve kızılötesi (IR) dalga boylarında belirgin bir emisyon bileşeninin oluşmasına neden olabilir.



Şekil 2. Kilonova oluşumuna neden olan güçlü dış akışlara sahip kompakt bir ikili birleşmenin (NS-NS/BH-NS ikili sistemi) illüstrasyonu. 1. Birleşme öncesi aşama, kütleçekimsel dalga emisyonu gösteren ikili sistem. 2. İkili sistemin birleşmesi. 3. Birleşmeden sonra kara deliğin etrafında hiper-yığılma diskinin oluşumu (Yi ve diğ., 2018).

GENİŞLETİLMİŞ EMİSYON

Genişletilmiş Emisyon (EE), bazı kısa GRB'lerde başlangıçtaki kısa ve sert emisyonu takiben gözlenen, genellikle daha yumuşak spektruma sahip ve onlarca–yüzlerce saniye sürebilen ikincil bir emisyon bileşenidir. EE'nin fiziksel kökenini açıklamak üzere, birleşme sonrası madde yığılması/akresyonun devamına dayanan senaryolar (Metzger ve diğ., 2008; Metzger ve diğ., 2010), iki bileşenli jet modeli (Barkov & Pozanenko, 2011) ve uzun ömürlü bir magnetar merkezi motoruna dayanan modeller (Bucciantini ve diğ., 2012; Gompertz ve diğ., 2014) önerilmiştir.



Şekil 3. Swift/BAT ile gözlenen, ikili kompakt cisim birleşmesi sonucu oluşan kısa süreli GRB 160821B'nin farklı enerji kanallarındaki ışık eğrileri.

Şekil 4. Swift/BAT ile gözlenen GRB 211211A'nın farklı enerji kanallarındaki ışık eğrileri. Kısa süreli ana emisyonu takip eden uzun süreli ikinci bileşen (EE) göstermektedir.

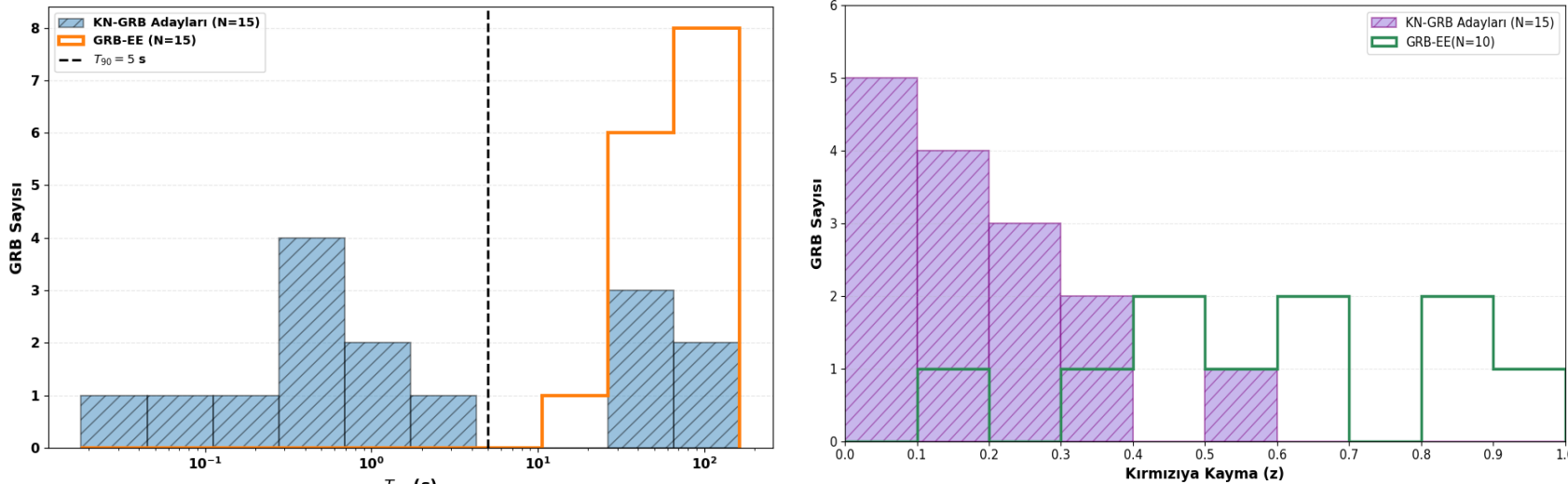
VERİ SEÇİMİ VE YÖNTEM

Çalışmada, literatür derlemesi yapılarak iki ayrı GRB grubu oluşturulmuştur:

- Kilonova ilişkili 15 GRB adayı:** GRB060614, GRB130603B, GRB150101B, GRB160821B, GRB170817A, GRB211211A ve GRB230307A altın kilonova örnekleridir (Zhang ve diğ., 2026). GRB050709 (Jin ve diğ., 2016), GRB050724 (Lin ve diğ., 2018); GRB 060505 (Jin ve diğ., 2021); GRB070707 (Zhu ve diğ., 2023); GRB 070809 (Jin ve diğ., 2020); GRB080503 (Zhu ve diğ., 2022); GRB191019 (Stratta ve diğ., 2025) ve GRB200522A (Fong ve diğ., 2021) ise literatürde kilonova ilişkisi açısından güçlü adaylar olarak değerlendirilmiştir.
- EE'li GRB örnekleme:** GRB050911, GRB080123, GRB090715A ve GRB090916 (Gompertz ve diğ., 2013); GRB051227, GRB061006 ve GRB071227 (D'Avanzo ve diğ., 2009); GRB 061210, GRB 070714B, GRB 090531B ve GRB 11121A (Matsumoto ve diğ., 2020); GRB100212A ve GRB100522A (Kaneko ve diğ., 2015); GRB110402A (Hu ve diğ., 2014); GRB150424A (Knust ve diğ., 2017).

İlgili GRB'ler için Fermi/GBM, Swift/BAT, HETE-2 ve INTEGRAL görevlerine ait katalog verileri ile güncel literatürde raporlanan gözlemsel sonuçlar kullanılmış; zamansal ve spektral parametreler derlenmiştir. Spektral analizlerde kataloglarda raporlanan Power Law (PL), Cutoff Power Law (CPL) ve Comptonized (COMP) modelleri esas alınmıştır. Bu kapsamda T_{90} , kırmızıya kayma (z), fluence, tepe akısı, foton indeksi ve tepe enerjisi (E_{peak}) incelenmiştir.

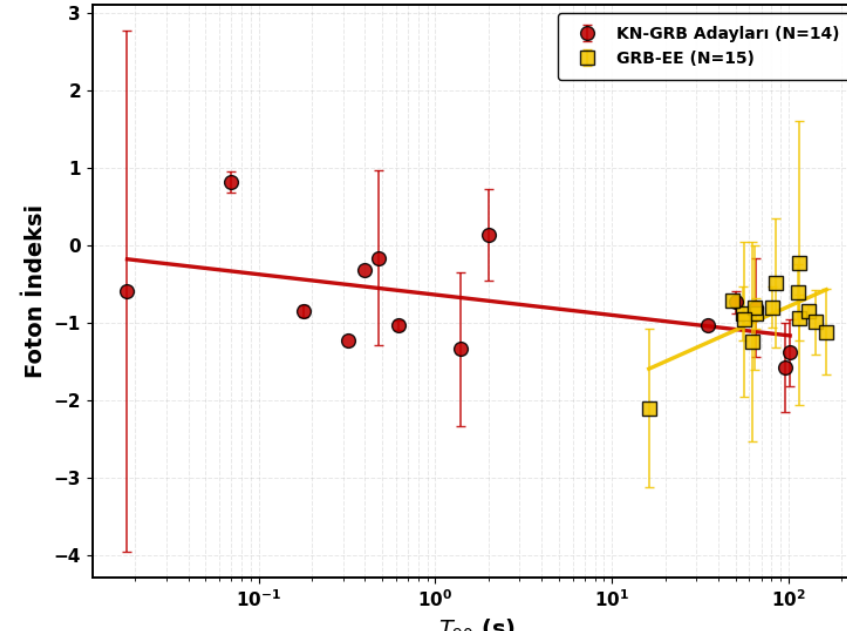
DAĞILIMLAR



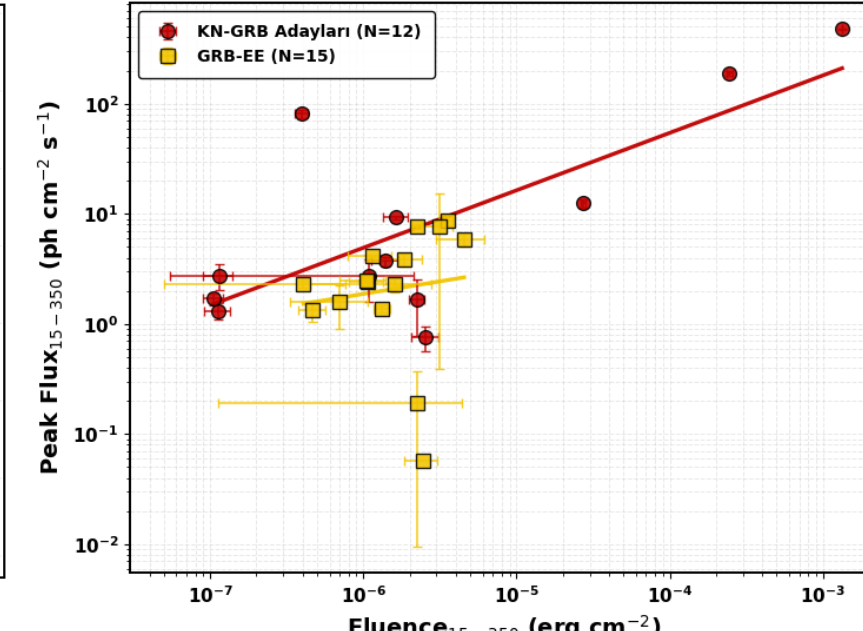
Şekil 5. T_{90} Dağılımı

Şekil 6. Kırmızıya Kayma (z) Dağılımı

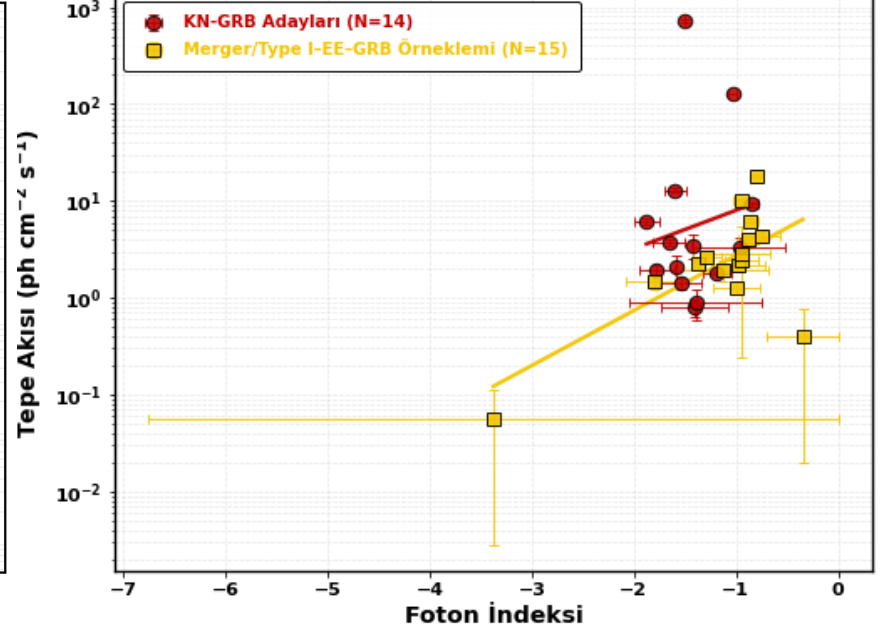
KORELASYON ANALİZLERİ



Şekil 7. T_{90} - Foton İndeksi (CPL Modeli)

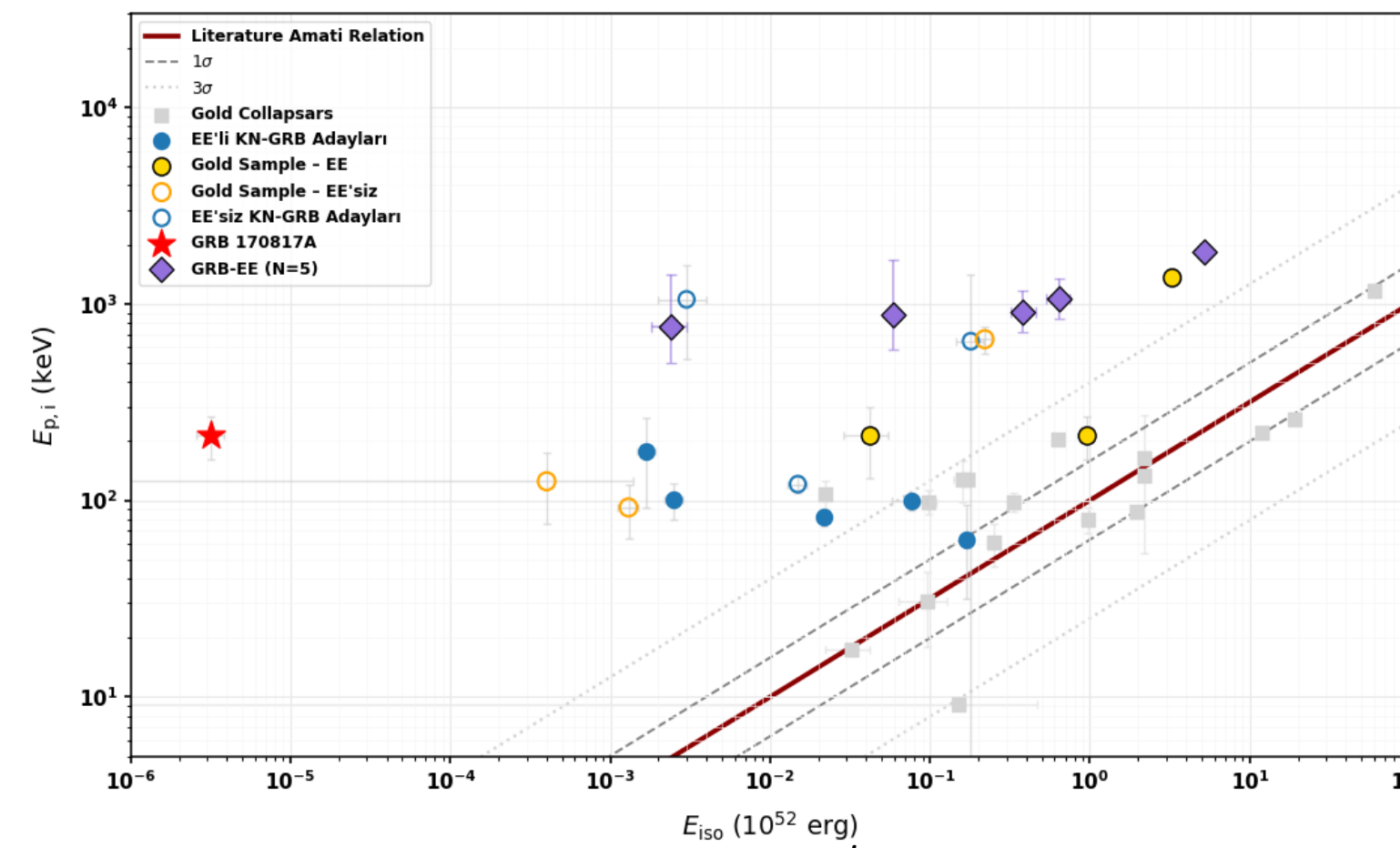


Şekil 8. Fluence - Tepe Akısı (CPL Modeli)



Şekil 9. Foton İndeksi - Tepe Akısı (CPL Modeli)

AMATİ İLİŞKİSİ



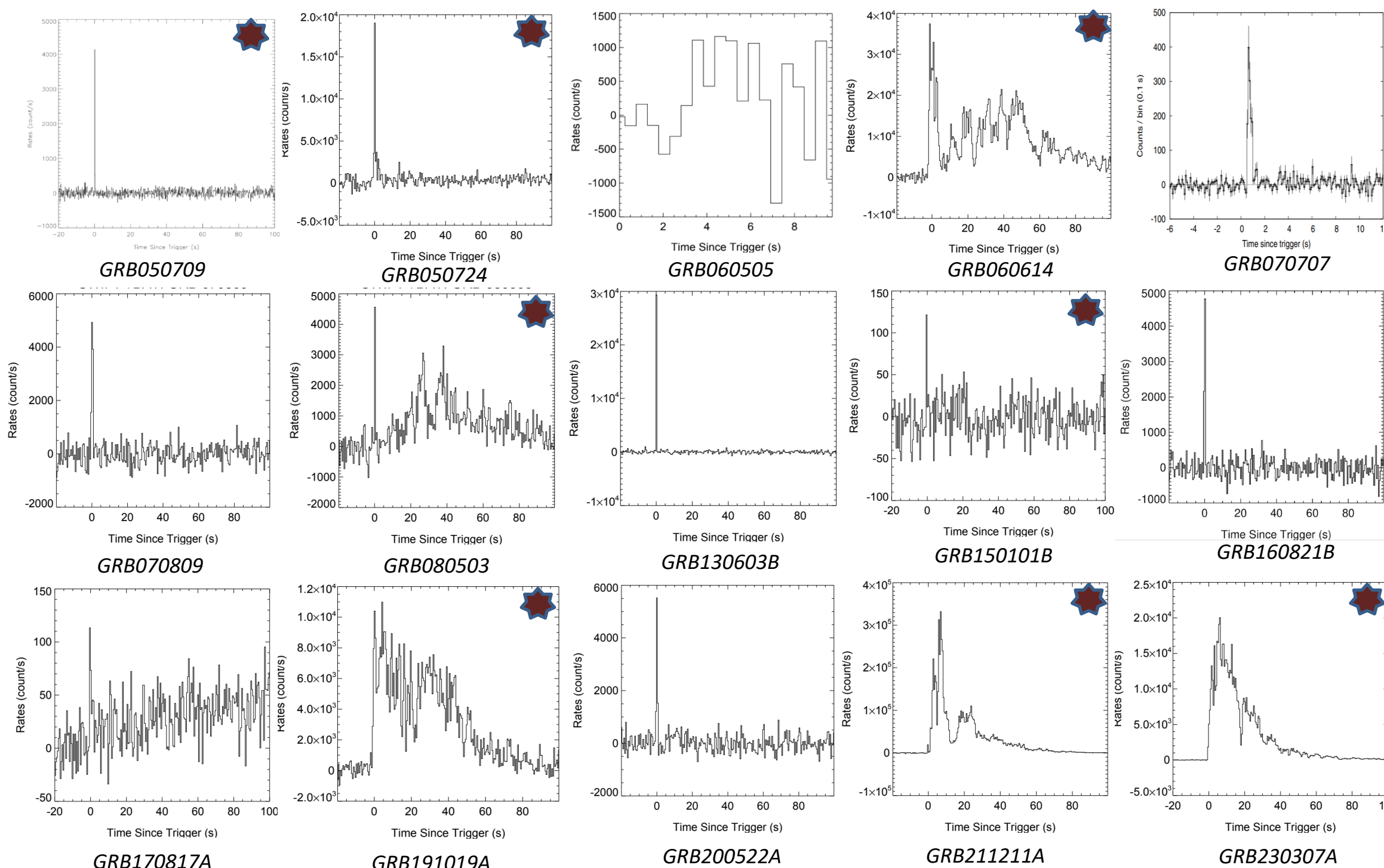
Şekil 10. Amati İlişkisi

Kaynak çerçevesindeki tepe enerjisi ($E_{p,i}$) ile izotropik eşdeğer enerji (E_{iso}) arasındaki ilişki, kilonova ilişkili GRB'ler ve EE'li GRB örnekleri için incelenmiştir.

Zhang ve diğ. (2026)'daki 7 "Gold Sample Kilonova" örneğine 8 kilonova adayı eklenerek KN grubu 15 olaya çıkarılmıştır. EE'li GRB örnekleminde ise Amati analizi için gerekli kırmızıya kayma ve spektral parametreleri bulunan 5 olay karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Amati ilişkisi hesaplanırken EE ve spike ayırımına gidilmemiş, toplam bileşenden yararlanılmıştır.

GRB 170817A, GW170817 ile doğrudan ilişkisi nedeniyle ayrı olarak işaretlenmiştir.

IŞIK EĞRİLERİ



Şekil 11. İncelenen 15 KN ilişkili GRB'nin Fermi/GBM, Swift/BAT, HETE-2 ve INTEGRAL gözlemlerinden elde edilen ışık eğrileri. Panellerdeki yıldız sembolleri, genişletilmiş emisyon (EE) bileşeni gösteren olayları belirtmektedir.

SONUÇLAR VE YORUM

Toplam Süre: KN ilişkili 15 GRB, hem kısa ($T_{90} \leq 5$ s) hem de uzun süreli ($T_{90} > 5$ s) olayları içermektedir. EE'li GRB örnekleminde ise daha çok uzun sürelerde yoğunlaşmaktadır. Bu dağılım, GRB'lerin fiziksel kökeninin değerlendirilmesinde yalnızca T_{90} süresinin kullanılmasının yetersiz kalabileceğini göstermektedir.

Kırmızıya Kayma (z): KN ilişkili GRB'lerin çoğunluğu düşük kırmızıya kaymalarda ($z < 0.5$) yoğunlaşırken, EE'li GRB örnekleminde daha yüksek kırmızıya kaymalara kadar uzanmaktadır. Bu durum, kilonovaların yakın evrende daha kolay tespit edilebilmesiyle ilişkili olabilir.

Korelasyon Analizi: CPL/COMP analizinde, EE'li GRB örnekleminde T_{90} -Foton İndeksi arasında orta düzeyde ve anlamlı pozitif bir korelasyon ($p=0.62$, $P=0.014$) belirlenirken, KN-GRB adaylarında negatif ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir eğilim görülmüştür ($p=0.51$, $P=0.065$). KN-GRB adaylarında Fluence–Tepe Akısı arasında güçlü pozitif bir korelasyon ($p=0.75$, $P=0.008$) belirlenmiş, karşılaştırma örnekleminde anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($p=0.10$, $P=0.777$). Ayrıca Foton İndeksi–Tepe Akısı ilişkisinde yalnızca EE'li GRB örnekleminde orta düzeyde pozitif bir korelasyon görülmüştür ($p=0.52$, $P=0.044$). Bu bulgular, iki örneklem arasında farklı korelasyon eğilimlerinin bulunabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, örneklem sayısının sınırlı olması nedeniyle bu ilişkilerin daha geniş örneklemlemlerle doğrulanması gerekmektedir.

Amati ilişkisi: KN ilişkili GRB'ler Amati düzleminde geniş bir dağılım gösterirken, EE'li GRB örneklerinin daha yüksek $E_{p,i}$ değerlerine doğru konumlandığı görülmektedir. Bu görünüm iki örneklem arasında farklı bir dağılım eğilimine işaret etmekle birlikte, EE'li GRB sayısının sınırlı olması nedeniyle daha geniş bir örneklemle sınanması gerekmektedir.

Genel Değerlendirme: İncelenen KN ilişkili örneklem 8/15'inde (≈ 53) genişletilmiş emisyon (EE) bulunması, EE'nin bu örneklemede dikkate değer bir özellik olduğunu göstermektedir. Bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, KN ilişkili GRB'lerin ortak bazı özellikler taşımakla birlikte homojen bir grup oluşturmadığı ve belirgin bir çeşitlilik sergilediği görülmektedir. KN–GRB–EE bağlantısının daha geniş örneklemlemlerle incelenmesi, kompakt cisim birleşmelerinden kaynaklanan GRB'lerin gözlemsel çeşitliliğinin ve olası alt popülasyonlarının anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.



KAYNAK