Düşük Kütleli X-ışın Çiftlerindeki Termonükleer Patlamaların İncelenmesi ve Bir Örnek: 4U 1608-522

Elif Ece DEVECİOĞLU*

Danışman: Dr. Can GÜNGÖR

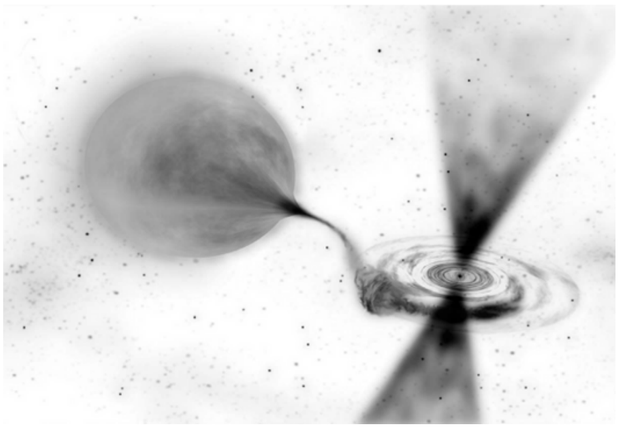
İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34000, Türkiye

Özet Termonükleer X-ışını patlamaları, nötron yıldızı içeren düşük kütleli X-ışın çift sistemlerinde (LMXB) gözlemlenen X-ışınlarındaki parlamalar olup bu parlamalar nötron yıldızının yüzeyinde biriken maddenin kararsız nükleer yanmasından kaynaklanır. Bu çalışmada düşük kütleli X-ışın çiftleri, termonükleer patlamalar ve alt türleriyle alakalı çalışma yapılmış olup, 4U 1608-522 kaynağının Insight-HXMT verisinin düşük ve orta enerji aralığı kullanılarak tayf analizi yapılmıştır.

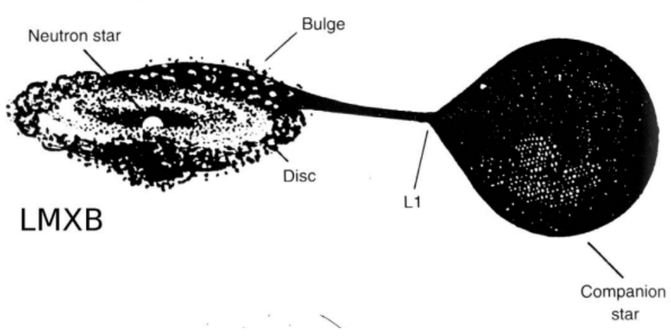
1.Giriş

1.1 Düşük Kütleli X-ışın Çiftleri

Düşük kütleli X-ışın çiftleri, bileşenlerinden biri nötron yıldızı ya da bir kara delik olan kompakt bir cisim, yoldaş yıldızı ise Roche lobunu dolduran geç tayf türünden düşük kütleli bir yıldızdan oluşan çift sistemlerdir. Madde transferi kompakt cismin etrafında bir yığılma diski oluşmasına neden olur. Düşük kütleli X-ışını çiftindeki yoldaş yıldız geç tayf türünden bir yıldız olduğundan, bu sistemler optik olarak sönük olma eğilimindedir. Işıma çoğunlukla X-ışınlarında yayılır bu nedenle oldukça parlak X-ışın kaynaklarıdır. Bu sistemlerdeki nötron yıldızlarının düşük manyetik alana sahip olması, genel olarak bu sistemlerin uzun yığılma geçmişine sahip eski sistemler olduğunu göstermektedir.



Şekil 1 : Bir LMXB'nin temel modeli. Kütle kaybeden yıldız düşük kütlelidir ve Roche lobunu dolduracak şekilde evrimleşmiştir.Görsel : Dana Berry (SkyWorks Digital/NASA-GSFC



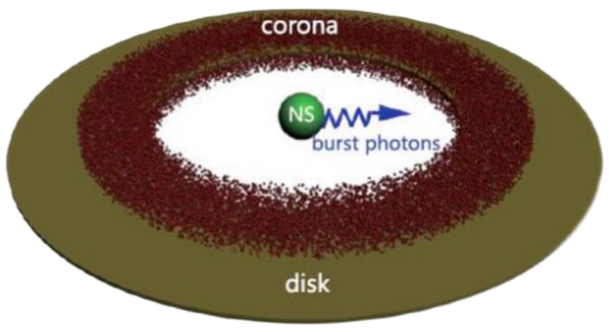
Şekil 2 :Bu sistemlerdeki kütle biriktirme mekanizması Roche lobu taşmasıdır. Düşük kütleli yoldaş, evrimi sırasında Roche lobunu doldurur ve madde ilk Lagrange noktasından kompakt nesnenin Roche lobuna aktarılır.Görsel: EXOSAT Gözlemevi, ESA

LMXB'ler tipik olarak Samanyolu'nun bulge ve diskinde bulunur. Kaynağın ortalama parlaklığı nötron yıldızının yüzeyine yığılmayla düşen maddenin bir ölçüsüdür. Belirli düşük kütleli X-ışın çiftleri, X-ışın ışık eğrilerinde ani yükselişler sergileyebilir. Bu durumda, yığılma diskinin iç kısmından gelen madde, kompakt cisim üzerinde bir hidrojen tabakası oluşturur. Bu tabaka zamanla ısınıp yanar ve altında bir helyum tabakası oluşturur. Bu sistemler Eddington parlaklığına ulaşan anlık hidrojen ve helyum termonükleer füzyonları olan Tip-I X-ışını patlamaları gösterirler. Bu özellik, kaynağın uzaklığının görece düşük hatalarla hesaplanmasına olanak tanır.

1.2 Termonükleer X-ışın Patlamaları

Termonükleer patlamalar olarak da bilinen Tip-I X-ışın patlamaları, düşük kütleli bir X-ışını ikilisindeki kompakt cisim olan nötron yıldızının yüzeyinde biriken helyum ve hidrojenin kararsız tutuşması olarak ifade edilebilir.

Hidrojen nötron yıldızının yüzeyinde birikir ve aşırı sıcaklık ve basınçlardan dolayı helyuma dönüşür. İnce bir helyum yüzey tabakası oluşur ve kritik bir helyum kütlesine ulaşıldığında patlayıcı tutuşarak nötron yıldızının tüm yüzeyini on milyon dereceye kadar ısıtır ve ani bir X-ışını patlaması meydana getirir. Patlama sona erdiğinde, nötron yıldızı helyum yüzey katmanını yeniden biriktirmeye başlarken, ikili sistem geçici olarak sakin durumuna geri döner.



Şekil 3:Chen Yu-Peng et al ,2012

Bu süreç tekrarlanır ve tekrarlayan X-ışını patlamaları meydana gelir. Bu tekrarlama süresinin, nötron yıldızının başka bir X-ışını patlaması yetecek yakıt biriktirmesi için gereken süre olduğu düşünülür. Farklı patlama türlerinin tutuşmasını "uzun" patlamaların incelenmesi açısından iki alt türe ayırabiliriz: Orta süreli (He/intermediate-duration burst) patlamalar ve süper patlamalar (Superburst)

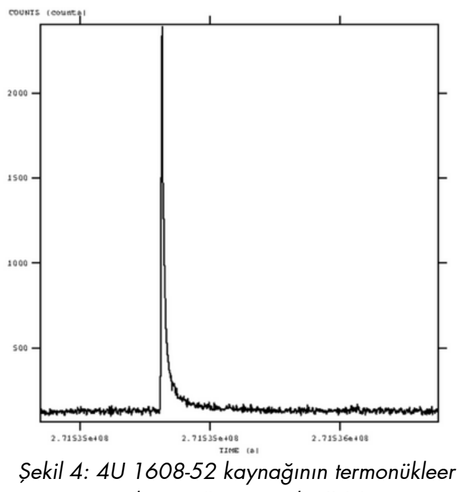
$\dot{m} / \dot{m}_{Edd}(\%)$	Yanma Rejimi
0.1%	(I) Derin Hidrojen patlamaları (He yanması)
0.4%	(II) Sığ hidrojen patlamaları ve derin helyum patlamaları
	(III) Helyum patlamaları (stabil H yanması)
8%	(IV) Stabil H/He yanması
11%	(V) Karışık H/He yanması
	(VI) H/He'nin sınırlı düzeyde kararlı yanması
100%	(VII) Stabil H/He yanması

Tablo 1: Teorik Nükleer Yanma Rejimi

Kaynakların kompakt cismin etrafını saran ve yığılma diski koronası olarak adlandırılan bir bölgeye sahip oldukları kabul edilir.Bu, yığılma diskinden maddenin rüzgarlarla atılması sonucu oluşur. Diskten yukarı doğru atılan madde merkezdeki kaynağın kütle çekim gücü ile yine de disk etrafında tutulur, ancak zamanla bu maddeler diskin etrafında ve üzerinde bir korona tabakasının oluşmasına neden olurlar.

Genellikle karakteristik bir ışık eğrisi şekline sahiptirler. Patlama profili hızlı bir yükseliş (0,3 - 10 saniye) ve ardından daha yavaş bir düşüş (5 - 100 saniye) gösterir. Hızlı yükseliş patlayıcı helyum ateşlemesinin getirdiği ani sıcaklık artışını yansıtırken, daha yavaş olan düşüş yıldız yüzeyinin daha yavaş soğumasından kaynaklanır.

Bu çalışmada genel olarak Tip-I X-ışın patlaması üzerinde durulmuştur. Tip-II X-ışını patlaması gösteren iki kaynak vardır. Bir Tip-II patlamasının, yoldaş yıldızdan birikme oranındaki bir artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir ve patlama profili ile de Tip-I patlamasından ayırt edilir. Tip-II patlamalar zirveden itibaren kademeli bir düşüş olmaksızın aniden başlar ve sona erer.



Şekil 4: 4U 1608-52 kaynağının termonükleer patlama gösteren ışık eğrisi.

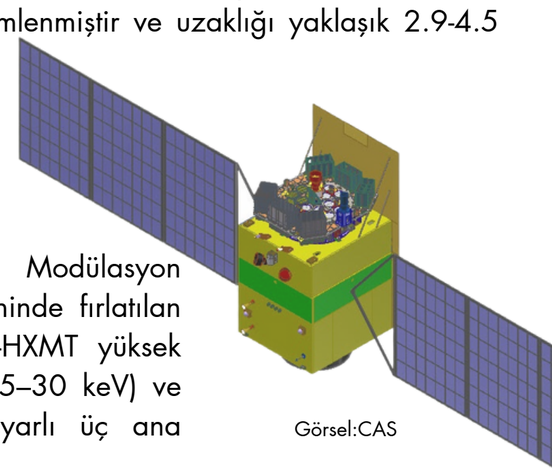
1.3 4U 1608-522 Kaynağı

4U 1608-522, nötron yıldızı ve kırmızı devden oluşan, X-ışınlarında ışıma gösteren düşük kütleli bir X-ışın çiftidir. 4U 1608-522, spektral özelliklerine dayanarak bir atol kaynağı olarak sınıflandırılmıştır. Patlamalar genellikle 1-2 yılda bir görülür. Kaynaktan gelen patlama salınımlarının tespiti, nötron yıldızının dönüş periyodunun yaklaşık 620 Hz olduğunu göstermektedir. Keşfedilmesinden bu yana, 100'den fazla Tip-I X-ışını patlaması düzenli olarak gözlemlenmiştir ve uzaklığı yaklaşık 2.9-4.5 kpc olarak tahmin edilmektedir.

2.Yöntem

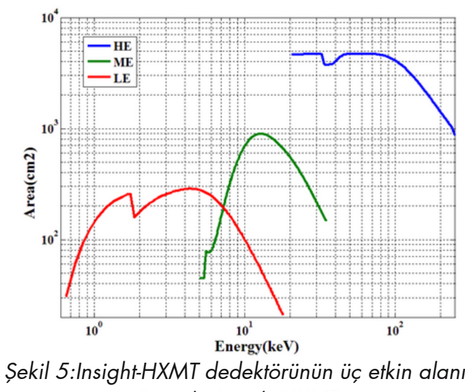
2.1 Insight-HXMT Uydusu

"Insight" olarak da bilinen Sert X-ışını Modülasyon Teleskobu (HXMT), 15 Haziran 2017 tarihinde fırlatılan Çin'in ilk X-ışın uzay teleskobudur. Insight-HXMT yüksek enerji (HE, 20–250 keV), orta enerji (ME, 5–30 keV) ve düşük enerji (LE,1–10 keV)aralıklarına duyarlı üç ana dedektöre sahiptir.

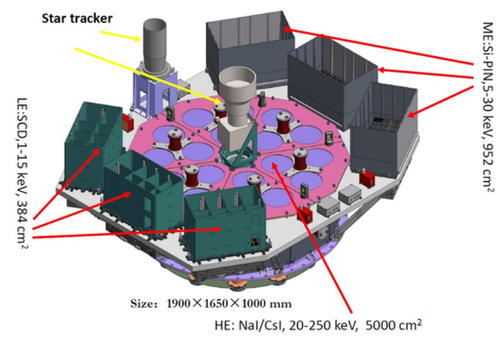


Görsel:CAS

Insight-HXMT'nin temel bilimsel hedefleri: (1) yeni transit kaynaklar bulmak ve bilinen değişken kaynakları izlemek için galaktik düzlemi taramak, (2) güçlü yerçekimi veya manyetik alanlarda dinamikleri ve emisyon mekanizmasını incelemek için X-ışını çiftlerini, (3) Gama Işını Patlamalarını (GRB) gözlemlemek ve araştırmak.



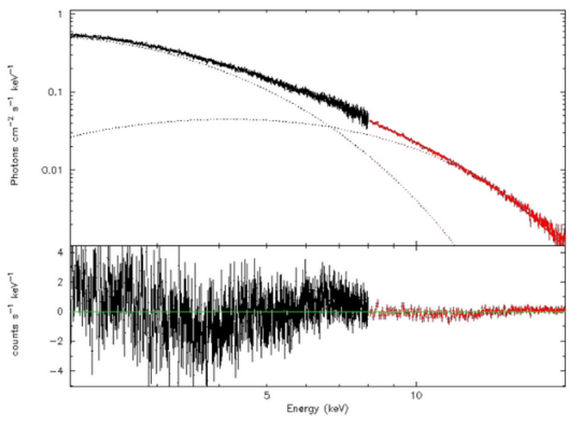
Şekil 5:Insight-HXMT dedektörünün üç etkin alanı Görsel : Insight-HXMT



Şekil 6: HXMT üzerindeki faydalı yük konfigürasyonunun gösterimi Görsel: CAS/HXMT Projesi

2.2 Tayf Analizi

Bu çalışmada 4U 1608-522 kaynağına ait Insight-HXMT uydusu ile alınan veriler kullanılmıştır. Veriler LE (düşük enerji), ME (orta enerji) ve HE (yüksek enerji) enerji seviyelerine sahiptir. Çalışmada LE ve ME enerji aralığına odaklanılmıştır. Düşük enerji(LE) aralığı için 2-8 keV, orta enerji(ME) aralığı için ise 8-20 keV kullanılmış olup bir kara cisim modeli (Xspec'te bbodyrad), birden fazla kara cisim bileşeninden oluşan bir yığılma diskinin spektrumu (Xspec'te diskbb) ve ISM soğurma modeli olarak kullanılan (Xspec'te tbvarabs) modeller ile kaynağın tayfı elde edilmiştir. Modelde hidrojen kolon yoğunluğu, demir ve neon bolluğu bileşenleri sabit belirlenerek modellenmiştir.



Şekil 7: 4U 1608-522'nin 2.0-20.0 keV enerji-aralığındaki Insight-HXMT gözlemlerinin örnek bir spektrumu. LE (siyah) ve ME (kırmızı) dedektörlerinin kombinasyonu olarak gösterilmiştir. Alt panel sigma cinsinden değerleri göstermektedir

Table 2: Insight-HXMT Gözlemlerine Ait Parametreler

ObsID	P020503804301	P020503804302	P020503804303
Tarih(MJD)	59045.443625	59045.594828	59045.727317
Poz Süresi	3052.349	2243.376	1076.302
Model Parametreleri			
$nH(10^{22}$ atom/cm$^2)$	1.28	1.28	1.28
Ne	1.58	1.58	1.58
Fe	1.39	1.39	1.39
kT_{body}(keV)	2.32267	2.29944	2.35712
$bbodyrad_{norm}$	13.2852	12.8612	11.8595
$diskbb_{Tin}$(keV)	1.33002	1.27427	1.34548
$diskbb_{norm}$	167.854	188.400	162.539
χ^2/d.o.f	1224.23/908	1004.42/908	906.82/908

Tablo 2: HXMT gözlemlerinin bazı özellikleri ve kara cisim+disk kara cisim ve tbvarabs modelinin uyum parametreleri

3.Sonuç ve Gelecek Planı

Bu çalışmada düşük kütleli X-ışın çiftleri, termonükleer X-ışın patlamaları ve bu türün üyesi olan bir kaynağı inceledik. Başlangıç olarak, termonükleer patlama olmamış bir döneme ait fiziksel yapıyı belirlemek amacıyla belirli bir veri örneği seçilmiş ve ilgili parametrelerle modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın devamında ise termonükleer patlama sırasında elde edilen verinin detaylı analizi yapılacak ve bu veri üzerinden yeni bir modelleme süreci başlatılacaktır.

Referanslar

*elifece.devecioglu@ogr.iu.edu.tr