

KARADELİK SİSTEMLERİNİN ÇOK BANTLI GÖZLEMLERİ

Emrah KALEMCİ¹

Özet

İçinde karadelik barındıran çift yıldız sistemleri X-ışınları, radyo ve kızılötesi bandında incelenmiş ve bu sistemlerin geometrisi ve jetlerin X-ışınlarına katkılarını anlamak için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda jetlerin tayfdaki dönemsel geçişlerin bir sonucu olduğu ve X-ışınlarına yüksek katkı yapmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Karadelikler, X-ışını çift yıldız sistemleri, jetler, güç tayfi, yığılma diski

Abstract

Galactic black hole transients have been studied using X-rays, radio and infrared to understand the geometry of accretion and the contribution of emission from the jets to X-rays. It is shown that jets occur as a consequence of state transitions and does not contribute significantly to X-rays.

Keywords: Black holes, X-ray binaries, jets, power spectra, accretion disks.

1. Giriş

X-ışını çift yıldız sistemleri yıldızlardan birisinin ana kol, diğerinin de sıkı cisim olduğu, ve ana kol yıldızından sıkı cisme madde akışı olan sistemlerdir. Madde akışı sırasında ortaya çıkan yığılma diski sıkı cisme kilometreler mesafesinde yaklaşmakta ve yerçekimsel enerjinin disk içinde sürtünmeye dönüşmesi sonucu da diskin iç kısımları milyarlarca derece sıcaklıklara ulaşmaktadır. Adlarını da bu sıcaklıklarda yaptıkları yüksek miktarda X-ışınımından alırlar. Bu çift yıldız sistemlerinde sıkı cisim beyaz cüce, nötron yıldızı ya da karadelik olabilir. Bu metinde sadece sıkı cismin kara delik olduğu sistemlerden söz edilecektir.

1.1 Karadelik sistemlerinin parçaları

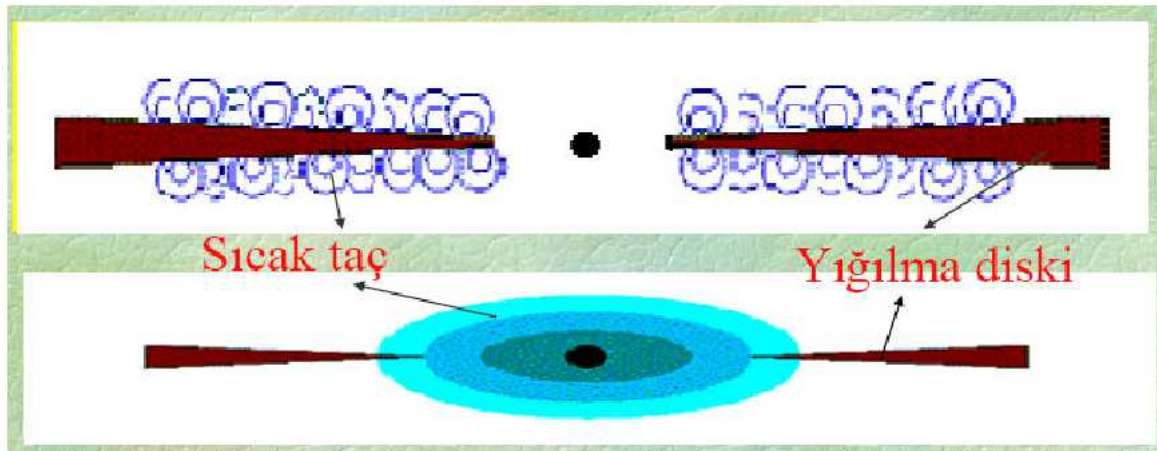
Bir karadelik X-ışını çift yıldız sistemini oluşturan parçalar aşağıdaki gibi özetlenebilir. Ana kol yıldızından akan madde açısız momentumunu koruyabilmek için sıkı cismin etrafında bir yığılma diski oluşturur. Genelde madde Kepler yörüngelerinde dönse de, bir takım düzensizlikler [1] sonucu oluşan torklar yığılma diskinde açısız momentum kaybına, ve dolayısıyla maddenin karadeliğe akmasına sebep olurlar. Yığılma diski geometrik yapısı itibarıyla ince, ışığı geçirgenliği (yoğunluğu) göz önüne alındığında kalındır. Ayrıca diskin iç kısımlarından dış kısımlarına doğru sıcaklığı azalır. Bu yüzden yığılma disklerinin tayfları sıcaktan soğuğa giden kara cisim ışımalarnın bir toplamıdır. Bu tayfa özel olarak disk kara cisim ışıması denir.

¹ Sabancı Üniversitesi, Orhanlı-Tuzla, 34956, İstanbul.

Tel: 216 4839614 Faks: 216 4839550 e-posta: ekalemci@sabanciuniv.edu

Bunun dışında bir jet de akışım geometrisinin bir parçası olabilir. Bazı durumlarda ortaya çıkan jetlerin nasıl ortaya çıktıkları, taşıdıkları materyal ve X-ışınımına katkıları konusunda hala büyük belirsizlikler vardır [2].

Bunların dışında karadelik sistemlerinin hem enerji hem güç tayflarına bakıldığında, gene bazı durumlarda üçüncü bir parçanın gerekliliği ortaya çıkar. Şekil 1’de betimlenen bu öge bir elektron tacıdır. Sıcaklığının 100 keV mertebesinde olması beklenen bu taçın geometrisi konusunda ise belirsizlik kendisini korumaktadır. Şekil 1’de, üstte, sandviç diye tabir edilen ve diskin üstünü kaplayan yapı gösterilmiştir. Yakın zamanda yapılan çalışmalar bu sandviçin tüm diski kapatmaması gerektiğini ortaya koymuştur [3]. Bunun nedeni de diski bu kadar kaplayan bir alanın diskten gelen düşük enerjili fotonlar ile kısa zamanda soğuması ve yok olmasıdır. Bunun yanında altta gösterilen geometride bu sorun yoktur. Küre-disk tabir edilen bu geometride disk bir noktada kesilerek yerini sıcak taca bırakır. Bu taçtaki yüksek enerjideki elektronlar diskten gelen düşük enerjili fotonlarla Compton saçılması yaparlar ve fotonların enerjilerini yükseltirler.

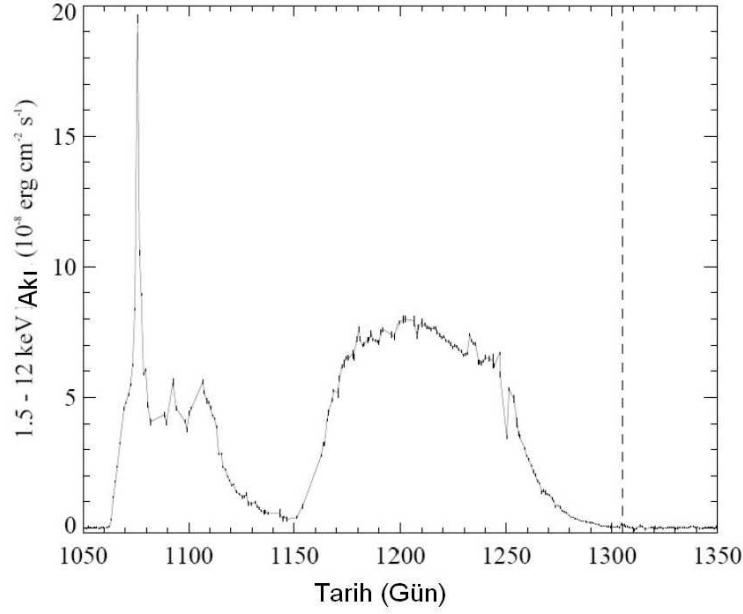


Şekil 1: Kara delik sistemlerinde akışım geometrisi. Üst: Sandviç modeli. Alt: Küre-disk modeli.

Taç geometrik olarak kalındır, ama yoğunluğu azdır. Bu durumda tipik olarak bu saçılma güç kanunu da denilen ve her bir enerji aralığındaki foton sayısının enerji ile geometrik azaldığı bir tayf oluşturur. Elektronların sıcaklığı tayfta tipik bir kırılma enerjisine karşılık gelir. Yani bu enerjiye kadar güç kanununun izleyen tayfta, bu enerjiden sonra enerji aralığına düşen fotonlarda güç kanununa göre büyük bir düşüş beklenir.

1.2. Geçici parlamalar

Galaksimizdeki karadelik sistemlerinin çoğu değişken dediğimiz türdendir, yani sadece belli zamanlarda parlalar. Bu parlamaların sebebi normal yıldızdan sıkı cisme akan maddenin bir anda artmasıdır. Parlamalar haftalar, hatta aylar boyunca devam edebilir, ve parlaklık sakin dönemdekinin 1000 katına, hatta 10000 katına çıkabilir. Şekil 2’de bir karadelik sisteminin (XTE J1550-564) parlama anındaki ışık eğrisinin ne kadar parlak olduğu ve karmaşık yapısı görülmektedir.



Şekil 2: XTE J1550-564 karadelik sisteminin 1998 yılındaki parlamasının RXTE PCA ile gözlenmiş ışık eğrisi.

1.3 Karadelik sistemlerinin gözlemsel özellikleri

X-ışını çift yıldız sistemlerinde ortaya çıkan ışıma genelde yığılma diski ve taçtan geldiği için ortadaki sıkı cismin ne olduğu konusunda daha ayrıntılı çalışma yapmak gerekir. Özellikle nötron yıldızlarını kara deliklilerden ayırmak biraz daha zordur. Ortadaki sıkı cismin ne olduğunu bulmanın en iyi yolu onun kütesini ölçmektir. Bu bazı sistemler için mümkün olabilmektedir. Teorik olarak nötron yıldızlarının 3 Güneş kütesini geçmeleri imkansız olduğundan, ortadaki cisim 3 Güneş kütesinden ağırsa onların karadelik oldukları düşünülür. Şekil 3'de kütesi ölçülmüş karadelik ve nötron yıldızlarının nasıl birbirinden ayrıldıkları görülüyor [4].

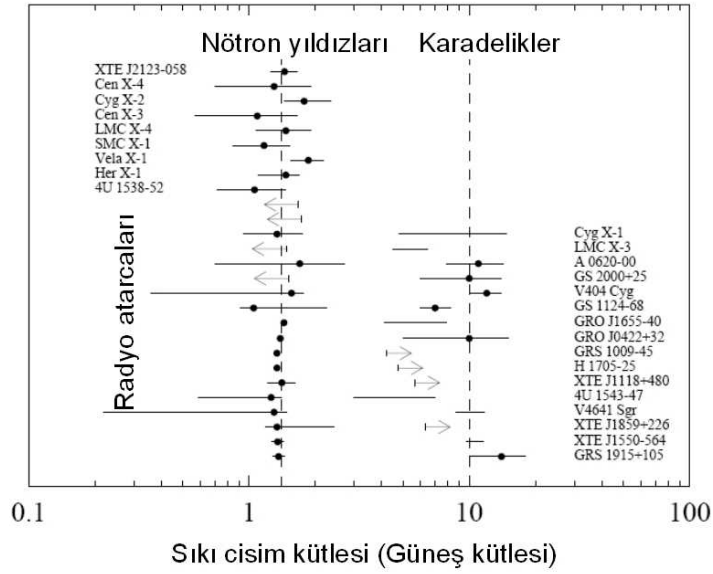
Çoğu zaman sıkı cismin kütesi belirlenemez. O zaman ışımının ayrıntılarına bakılarak cismin karadelik olup olmadığı tespit edilebilir. Aşağıda sıralanan özelliklerin büyük kısmını sergileyen kaynaklar aday karadelik kaynakları olarak sınıflandırılır:

- X-ışını tayfında disk kara cisim ışması ve sert güç kanunu bileşeni,
- KHz frekanslarına kadar uzanan, enerji tayfına bağlı özellikler gösteren güç tayfı,
- Periyodiğe yakın salınımlar, 0.1 – 450 Hz arası,
- Nötron yıldızına has özelliklerin olmaması (yüzeyden gelen kara cisim ışması, tip I ya da tip II yüzey patlamaları, dönme periyodu gibi).

1.4. Fourier güç tayfı

Karadelik sistemlerinden gelen sinyallerin zamansal özellikleri frekans dünyasında bize geometri ve fiziksel mekanizmalar hakkında önemli ipuçları verirler. Değişik enerji aralıklarındaki ışık eğrilerinden yola çıkıp, onların Fourier serilerinin büyüklüklerini kullanarak bir güç tayfı elde edebiliriz. Güç tayfı her bir frekans aralığının ışık eğrisinin toplam varyansına katkısını gösterir.

Fourier serisi büyüklükleri Poisson gürültüsü çıkarılıp ışık eğrisinin ortalama büyüklüğüne bölüldüğü zaman [5] ortaya çıkan güç tayfının önemli bir özelliği, grafiğin belli frekans aralıklarında integralinin karekökünün aynı aralıkta toplam etkin değerine karşılık gelmesidir. Bu hesaplamalarda büyük kolaylık sağlar.

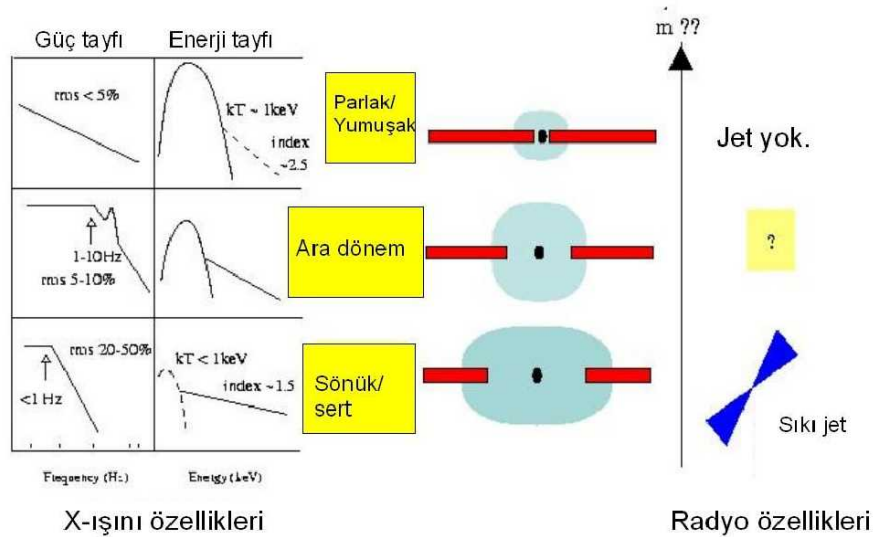


1

Şekil 3: X-ışını çiftleri arasında kütlesi ölçülmüş olanlar. Kara delikler ve nötron yıldızları iki tarafta kümeleniyor.

1.5. Tayfsal dönemler

Karadelik sistemleri enerji ve güç tayflarının özelliklerine göre çeşitli tayfsal dönemlerin içerisinde bulunurlar. Her ne kadar bu tayfsal dönemler madde akış hızına sıkı bir şekilde bağlı iseler de, son zamanlardaki araştırmalar bu dönemlerin sadece madde akış hızına bakarak belirlenemeyeceğini ortaya koymuştur [6]. Ayrıca X-ışını dışındaki bantlarda yapılan gözlemlerin de (özellikle radyo) tayfsal dönemlere göre değiştiği bilinmektedir. Aşağıdaki Şekil 4, tayfsal dönemlerin özelliklerini kabaca özetlemektedir.



Şekil 4: Karadelik sistemlerindeki tayfsal dönemlerin özeti.

Madde akış hızının yüksek olduğu dönemlerde enerji tayfında disk kara cisim ışıması baskındır ve güç tayfı kuvvetli değildir. Diskin kara deliğe yakın olduğu bu dönemlerde 2-10 keV arası ışımaya parlak olduğundan parlak/yumuşak dönem olarak adlandırılırlar. Bu

dönemlerde radyo ışıması gözlenmez. Madde akış hızının düşük olduğu dönemlerde ise enerji tayfında güç kanunu ışıması hakimdir ve 2-10 keV arası parlaklık düşüktür. Bu dönemlere ise sönük/sert dönemler denir. Bu durumda güç tayfı kuvvetlidir ve kaynak geniş frekans bandında değişimler gösterir. Radyo bandında da kuvvetli ışıma vardır. İkisinin arasında kalan dönemlere genelde ara dönem denir.

Bu dönemler arası geçişler, özellikle sönük/sert döneme geçiş bu yazının konusudur. Geçiş dönemleri değişik bantlarda izlenerek karadelik sistemleri hakkında bilgi edinmek mümkündür. X-ışınlarının evrimine bakarak diskin ve tacın yapısı hakkında bilgi edinirken, radyo ve kızılötesi gözlemleri ile jetin yapısı ve diskle alakası çalışılabilir. Jetlerin hangi koşullarda ortaya çıktığını anlamak bu çalışmanın önemli bir amacıdır. Diğer bir amaçsa sönük/sert dönem X-ışıması modellerini verilerle test etmektir. Bu da jetlerin X-ışınlarına katkısının ortaya çıkarılabilmesi ile mümkündür.

2. Veriler

Bu çalışmada genel olarak X-ışınlarında RXTE uydusunun verileri kullanılmış ve bazı karadelik sistemlerinin dönem değişikliği sırasında X-ışını yanında radyo ve kızılötesi verileri de kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Aşağıdaki Tablo 1 hangi verilerin kullanıldığını özetlemektedir.

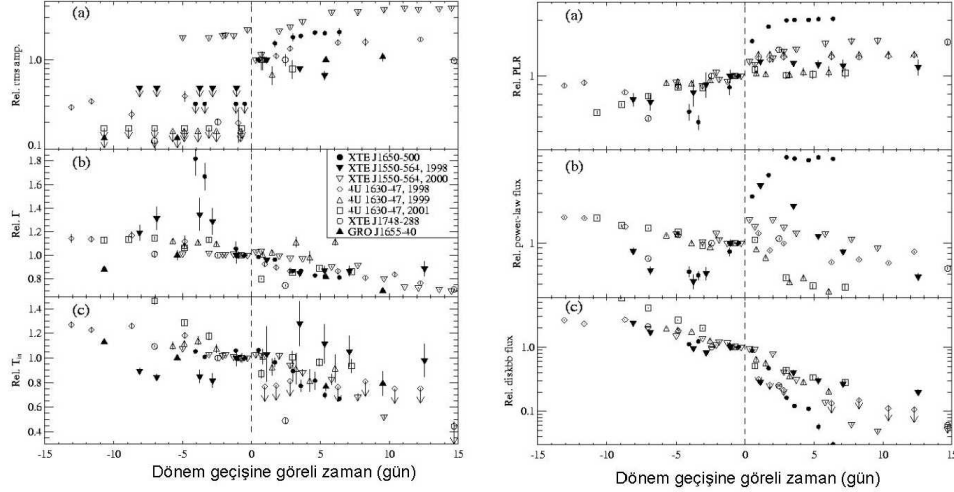
Tablo 1: Karadelik sistemleri, hangi sene gözlemlendiği ve X-ışınları dışında hangi bantlarda gözlemlendiğini gösteren tablo.

GÖZLEMLER			
Kaynak	Yılı	GD	Diğer bantlar
4U 1630-47	1998	3	-
XTE J1550-564	2000	5	Radio, Chandra
J1655, J1748, 1630, J1550	1997-2001	2-6	Data taken from the public archive
4U 1630-47	2001	5-6	Radio
XTE J1650-500	2001-2002	6-7	Radio, Chandra
4U 1543-47	2002	7	Radio, IR/opt
H 1743-322	2003-2004	8	Radio, Chandra
GX 339-4	2004-2005	9	Radio, Spitzer, IR/opt
GRO J1655-40	2005	9-10	Radio, Spitzer, IR/opt

Tablodan da görüleceği üzere sadece X-ışını ile 1998'de başlayan gözlemler, jetlerin öneminin anlaşılmasıyla beraber radyo ve kızılötesi yer ve uydu gözlemleri ile desteklenmiştir.

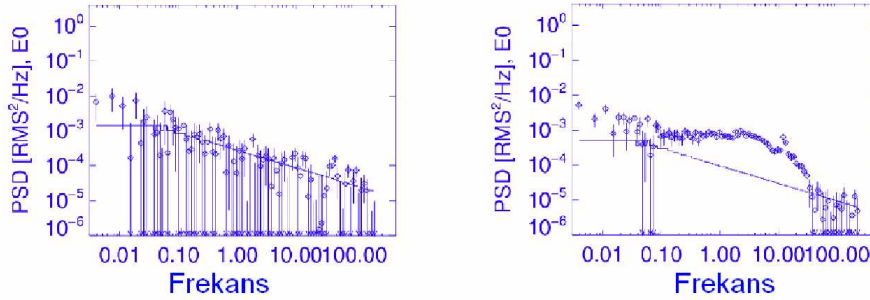
3. X-ışınlarında evrim

Özellikle dönem değişikliklerinin sebebinin anlaşılması için hemen öncesi ve hemen sonrası RXTE verisi kullanılarak analiz edilmiş ve aşağıdaki grafiklerde özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 5. RXTE kullanılarak değişik kaynakların parlak dönemden sönük döneme geçmeden hemen önceki ve sonraki dönemde X-ışını parametrelerinin evrimi [7]. Sol: (a) Etkin değer, (b) indis, (c) disk sıcaklığı. Sağ: (a) enerji tayfında güç kanunu akısının toplam akıya oranı, (b) güç kanunu akısı, (c) disk kara cisim ışıması akısı. Tüm değerler dönem değişimi sırasındaki değere bölünmüştür.

En hızlı geçiş zamansal parametrede olup bir gün mertebesinde güç tayfı gözle görülür bir değişiklik gösterir (Şekil 6'e de bakınız). Bunu Şekil 5'de etkin değerın zıplaması olarak görüyoruz. Bunun karşılığında disk ışıması ve güç kanunu ışıması parametreleri yavaşça değişmektedir. Etkin değer kadar hızlı değişen diğer bir parametre de güç kanunu akısıdır.



Şekil 6: Dönem değişikliği sırasında güç tayfında sıçrama. İki gözlem arası bir gündür.

Dönemsel geçişlerde en hızlı değişim zamansal özelliklerde oluyor ve bunu da güç kanunu akısındaki ani bir artış tetikliyor.

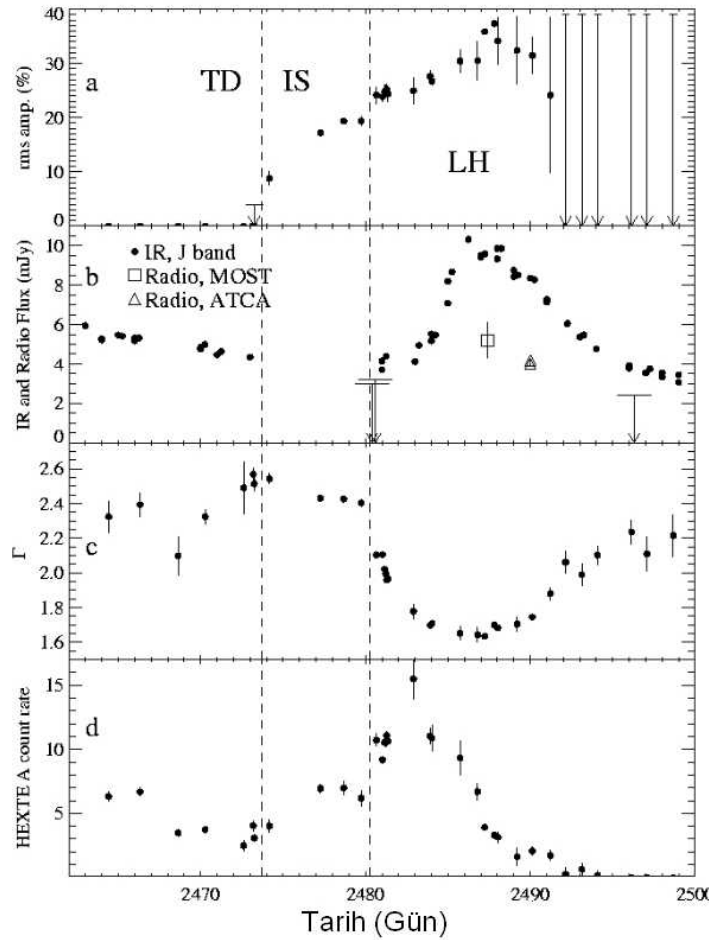
4. Jetler ne zaman ortaya çıkıyor?

Jetlerin yapısı ve X-ışınlarına katkısı son zamanların açıklanamamış önemli iki sorunu. Bunları anlamamanın bir yolu da onların X-ışını özelliklerine nazaran ne zaman ortaya çıktıklarını anlamak. 4 ayrı kaynakta yapılan incelemede (4U 1543-47, GRO J1655-40, XTE J1550-564, ve H1743-322) kaynakların önce zamansal özelliklerde hızlı değişim gösterdiği (jet radyoda ya da kızılötesinde gözlenmeden günler önce) sonra da daha yavaş bir şekilde enerji tayfının güç kanunu indisinde bir düşme olduğu görülüyor. 4U 1543-47 için aşağıdaki Şekil 7 bunu net bir biçimde gösteriyor.

Kızılötesindeki ani artış jetten gelen sinkrotron ışıması yüzünden, bu da jetin hangi tarihte oluştuğunu bize gösteriyor. Jet, kaynak en sert haline ulaşmadan ortaya çıkmıyor. Ayrıca iyice yüksek enerjilerde (HEXTE, 20 keV üzeri) jetten gelen akı hızla yükselirken X-

ışını aksime düşüyor. Bu da jetlerin yüksek enerjilerde X-ışınlarına, en azından bu kaynak için, katkı yapmadığını gösteriyor. Geniş bantta yapılan gözlemler de bunu destekliyor [2].

Jetler ortaya çıktığı anda zamansal parametrelerde bir değişiklik gözlenmiyor. Buna karşılık enerji tayfında hala aydınlığa kavuşmamış bir nokta var. Jet gözlenmeden önce, tayfin yüksek enerji kısmında taç sıcaklığına da bir sınır getiren kırılma noktası mevcut. Fakat jetin gözlenmesiyle beraber, ya da bir kaç gün sonra yüksek enerji tayfında bir kırılma gözlenmiyor. Yani güç kanunu tayfı 200 keV'nin üzerinde devam ediyor. Bunu açıklamamanın iki yolu var. İlki detektörden gelen bir limit. Taç sıcaklığı o kadar artıyor ki kırılma enerjisi HEXTE'nin ölçebileceğinden daha yukarılara gidiyor. İkincisi ise taçtaki elektronların enerji dağılımları ile



1

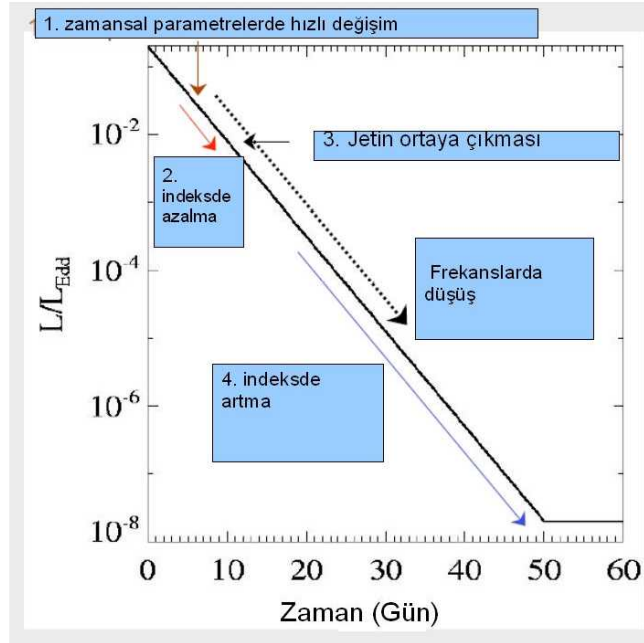
Şekil 7: 4U 1543-47 için X-ışınlarında ve radyoda evrim. İlk dik çizgi zamansal hızlı değişimi, ikincisi ise tayfdaki yavaş değişimin başını gösteriyor. (a) Etkin değer. (b) Kızılötesi akısı. (c) İndis. (d) HEXTE foton sayısı. Kızılötesindeki artış jetten kaynaklanıyor [2].

ilgili. Kırılma enerjisi Maxwell kanunlarına göre dağılmış elektron enerjilerinin bir öngörüsü. Fakat jetin ortaya çıkışı bu enerjilerin dağılımını Maxwell'den kaydırabilir. Bu kayma da bazı durumlarda kırılmayı ortadan kaldırabilir [8].

5. Sonuçlar ve gelecek çalışmalar

Bu ana kadar ki sonuçları aşağıdaki Şekil 8'le özetlemek mümkün. Sönme döneminin parlak kısmında sistem hala yumuşak dönemdeyken bir anda güç tayfı değişerek bir geçiş dönemine giriyor. Daha sonra bir hafta 10 gün süreyle enerji tayfının güç kanunu kısmı

sertleşiyor. En sert zamanında jetler radyoda ve/veya kızılötesinde gözleniyor. Tüm bunlar olurken güç tayfının (karakteristik) frekansları azalıyor. Çok düşük ışımaya seviyelerinde güç kanunu indisi artabiliyor, yani tayf yumuşuyor.



1

Şekil 8: Karadelik sistemlerinde X-ışınlarının ve jetin evrimi.

Bu gözlemlerden çıkarılan önemli sonuçlar şunlar. Sert dönemlerin özellikle parlak kısımlarında X-ışınları sinkrotron kaynaklı değildir. Jetler dönem geçişlerinin bir sebebi değil sonucudur ve en sert tayflarda ortaya çıkarlar. X-ışınlarının sebebi çoğunlukla Compton saçılmasıdır, ama düşük enerjili fotonların kaynağı disk olmayabilir. Manyetik alanda hızla hareket eden elektronlar düşük enerjilerde sinkrotron fotonları üretip sonra onlara çarpıp yüksek enerjilere çıkarabilirler. Zamansal özelliklerdeki hızlı değişim düşük enerjili disk fotonlarından sinkrotrona bir geçişin sonucu olabilir [9].

Tüm bu senaryoların değerlendirilebilmesi için değişik dalga boylarında verilerin alınması ve tümünün hem tayfsal açıdan, hem de evrimsel açıdan modellenmesi gerekir. Tayfsal modelleme şu anda süregelmektedir [10]. Bunun karşılığında tayfsal modelleme ile evrimin karşılaştırılması emekleme sürecindedir. Detaylı bir karşılaştırma ile karadeliklerin çevrelerinin geometrisi ve ışınım mekanizmaları hakkında detaylı bilgiler edinmemiz büyük olasılıktır.

Kaynaklar

- [1] Balbus, S. A., Hawley, J. F. (1991), A powerful local shear instability in weakly magnetized disks. I – Linear analysis. II – Nonlinear evolution, *Astrophysical Journal*, 376, 214-233.
- [2] Kalemci, E. ve ark. (2005), Multiwavelength observations of the Galactic black hole transient 4U 1543-47 during outburst decay: State transitions and jet contribution, *Astrophysical Journal*, 622, 508-519.
- [3] Dove, J. B., Wilms, J., Begelman, M. C. (1997), Self-consistent thermal accretion disk corona models for compact objects. I: Properties of the corona and the spectrum of escaping radiation, *Astrophysical Journal*, 487, 747-755.
- [4] Kalemci, E. (2002), Temporal studies of Galactic black hole transients during outburst decay, *Doktora tezi*, Kaliforniya Üniversitesi, San Diego.
- [5] Miyamoto, S., Kitamoto, S. (1989), X-ray time variations from Cygnus X-1 and implications for the accretion process, *Nature*, 342, 773-777.

- [6] Remillard, R. A., McClintock, J. E. (2006), X-ray properties of black hole binaries, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 44, 49-92.
- [7] Kalemci E., ve ark. (2004), A close look at the state transitions of galactic black hole transients during outburst decay, *Astrophysical Journal*, 603, 231-241.
- [8] Coppi, P. S. (1999), The physics of hybrid thermal/non-thermal plasmas, 375, *ASP Conf. Ser. 161: High energy processes in accreting black holes*, editrler: Poutanen, J. And Svensson, R.
- [9] Kalemci, E. ve ark. (2006), The Galactic black hole transient H1743-322 during outburst decay: Connections between timing noise, state transitions, and radio emission, *Astrophysical Journal*, 639, 340-347.
- [10] Migliari, S. ve ark. (2007), Detection of the mid-infrared emission from the compact jet of GRO J1655-40, *Astrophysical Journal*, yaym aamasında.

