

Düşük Kütleli X-Işın Çiftlerinin İstatistiği

Tolga Güver

İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Özet

Halen kullanımda olan iki önemli düşük kütleli x-ışın çifti (DKXÇ) kataloğu vardır (Guseinov ve ark.,2000, Liu ve ark.,2001). Bu kataloglardan birine en son yıldız 2000 yılının Ağustos ayında diğerine de 1999 yılında konmuştur. Bu çalışmada amaç bu iki katalogunda yıldızlar için verdiği farklı nicelikleri birleştirip yıldızların çeşitli kaynaklarda verilen özelliklerini kataloglar aracılığıyla görmektir.

1- Giriş

Düşük kütleli x-ışın çiftleri (DKXÇ) bir nötron yıldızı ya da bir kara delik ile bunun üzerine Roche Lobunu doldurduğu için madde aktaran A'dan geç tipten düşük kütleli bir yoldaştan oluşur. Yoldaş yıldız bazı çok evrimleşmiş sistemlerde bir beyaz cüce bile olabilir.

Bu çalışmaya başlamadan önce literatürde yapılan tarama sonucu güncel ve kullanımda olan iki düşük kütleli x-ışın çifti kataloğu olduğu görülmüştür. Bu kataloglardan biri A Preliminary Version of a Catalogue of High-Low Mass X-ray binaries isimli katalogdur diğer katalog ise A Catalogue of Low Mass X-ray Binaries isimindedir.

Çalışmada amaç pek çok kaynakta verilen bu yıldızlara ait özelliklerin kataloglar üzerinden tekrar görülmesi bulunabilirse yeni ilişkilerin incelenmesidir. Yapılan literatür taraması sonucu son zamanlarda bu kaynakların sayısı hızla artsa da kaynakların genel özelliklerini vermesi açısından önemli böyle çalışmaların olmaması da böyle bir çalışmaya girilmesi gerekliliğini arttırmıştır.

2- Kullanılan kataloglar

2.1- A Preliminary Version of a Catalog of High – Low Mass X-ray Binaries

Katalog en son 2000 yılı Ocak ayında güncellenmiştir ve toplam 138 DKXÇ bulunmaktadır. Bu katalogda kaynaklara ait aşağıdaki bilgiler bulunabilir.

- 1- Kaynakların koordinatlarına göre isimleri, Varsa farklı isimleri
- 2- Bulunduğu bölge
- 3- Tipleri
- 4- Koordinatları, 1950 epokuna göre koordinatları, Galaktik enlem ve Boylamları
- 5- Yörünge Periyotları, Atım Periyotları
- 6- X-ışın ısıları (kT)
- 7- Spektrel indeksleri
- 8- Uzaklıkları
- 9- Nötral Hidrojen Kolon Yoğunluğunun logaritması ($\log N_H$)
- 10- Optik absorpsiyon
- 11- X-ışın Işınım gücü, X-ışın Işınım gücü ile optik ışınım gücünün oranı
- 12- Spektrel tipi
- 13- V filtresi ile parlaklığı, B-V parlaklığı, U-B parlaklığı, E(B-V) parlaklığı
- 14- Kompakt cismin kütlesi, Yoldaşın Kütlesi, X-ışınlarından elde edilen kütle fonksiyonu, Optik gözlemler ile elde edilen kütle fonksiyonu
- 15- Yörünge dışmerkezliği
- 16- Kompakt cismin yarı genlikteki hızı, Optik bileşenin yarı genlikteki hızı, Kütle merkezinin hızı
- 17- Yarı büyük eksen ile yörünge eğiminin sinüsünün çarpımı (asini)
- 18- Yörünge eğimi

Katalog hakkında daha ayrıntılı bilgi için www.xrbc.org adlı siteden faydalanılabilir.

2.2- A Catalogue Of low mass X-ray binaries

Katalog en son Ağustos 2000 yılında güncellenmiştir. Toplam 150 DKXÇ'nin bulunduğu katalogda 18 Atoll, 7 Z, 18 ultrasoft, 76 süreksiz, 11 çukur gösteren kaynak, 63 patlayıcı, 5 x-ışın

T. Güver: Düşük Kütleli X-Işın Çiftlerinin İstatistiği

atımları gösteren kaynak ve 13 küresel kümelerde bulunan kaynak vardır. Bu katalogta kaynaklara ait aşağıdaki bilgiler bulunabilir.

- 1- Kaynağın ismi
- 2- Kaynağın tipi
- 3- Koordinatları, Galaktik enlem ve boylamları
- 4- Optik bileşenin ismi
- 5- V filtresi ile parlaklık, B-V, E(B-V)
- 6- X-ışın akısı, X-ışın akısının ölçüldüğü enerji aralığı
- 7- Yörünge periyodu, Atım periyodu
- 8- Varsa kaynağın diğer ismi

Çalışma sırasında daha güncel olduğu için Liu ve ark.'nın katalogundaki yıldızlar kullanılmıştır bu katalogta Guseinov ve ark.'nın kataloğundan hem 12 tane daha fazla kaynak bulunmakta hem de bu katalogdan, her iki kataloğunda temelini oluşturan *X-ray Binaries* (Lewin ve ark.,1995) kitabındaki katalogta ve Guseinov ve ark.'nın katalogunda olduğu halde daha sonra tek bir nötron yıldızı olduğu ya da baş yıldızının bir beyaz cüce olduğu anlaşılan kaynaklar çıkarılmıştır. Yıldızların koordinatları ve türleri bu katalogdan alındıysa da bu katalogta Guseinov ve ark.'nın kataloğunun aksine yıldızlar hakkında çok fazla bilgi yoktur bu yüzden grafikleri çizdirme de kullanılan son birleştirilmiş katalog için Liu ve ark.'nın katalogunda bulunan yıldızlar ile Guseinov ve ark.'nın katalogunda bu yıldızlara ait değerler kullanılmıştır. Böylece her iki katalogun eksik yönleri giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca her iki katalogta da olmayan aşağıdaki kaynaklarda kataloga eklenmiştir. Ancak bu kaynaklar hakkındaki bilgiler henüz tam olmadığından bu kaynaklar genel anlamda ortalamayı pek değiştirmemişlerdir.

2.3- Eklenen Kaynaklar

SAX J0840.7+2248 : Bu kaynak 29 Nisan 1998 tarihinde, J. Heise, J. in't Zand, R. Ricci, G. d'Andreta, J. Muller ve L. Piro tarafından gözlenmiştir.

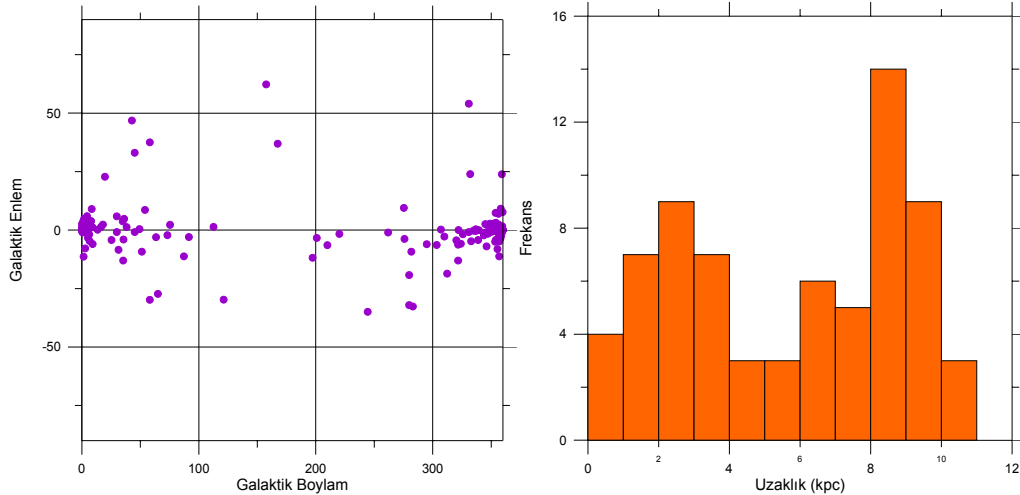
SAX J1719.6-4254 : J. Heise, L. Natalucci, M. Cocchi, M. Smith, G. Tassone, G. Celidonio, L. Di Colo tarafından, 22-23 Eylül 1999'da gözlenmiştir.

SAX J1818.6-1703 : J. in't Zand, J. Heise, M. Smith, J. M. Muller, Ubertini, A. Bazzano, tarafından 11 Mart 1998'de gözlenmiştir.

XTE J1908+094 : M. Feroci, L. Reboa tarafından, 9 Mart 2002'de gözlenmiştir.

XTE J1751-305 : Z. Wang, D. Chakrabarty tarafından 9 Nisan 2002'de gözlenmiştir.

3- Çeşitli Parametrelerin Karşılaştırması



Şekil 1 DKXÇ'lerin gökyüzü ve uzaklık dağılımları

Şekil 1 katalogdaki bütün DKXÇ'lerin galaktik koordinatlarına göre çizilmiştir ve görüldüğü gibi neredeyse bütün DKXÇ'ler galaksi diskinde ve galaksinin bulge kısmında bulunurlar.

Sağdaki şekilde ise bütün DKXÇ'lerin uzaklık dağılımları gösterilmiştir. Uzaklığın gökyüzü dağılımını doğrular şekilde bizim galaksi merkezine uzaklığımız olan yaklaşık ~8-9 kpc civarında yoğunlaştığı görülür. Aynı zamanda bize ~2-3 kpc yakında da çok miktarda DKXÇ olduğu da yine grafikten görülebilir.

Düşük kütleli x-ışın çiftleri tanımında da belirtildiği gibi düşük kütleli bir yoldaşa sahip oldukları için bu ismi almışlardır. Yoldaş yıldızların bu özelliğini ve baş yıldızların da bir nötron yıldızı ya da bir kara delik olup olmadığını görmek için aşağıdaki grafiğe bakmak yeterli olacaktır.

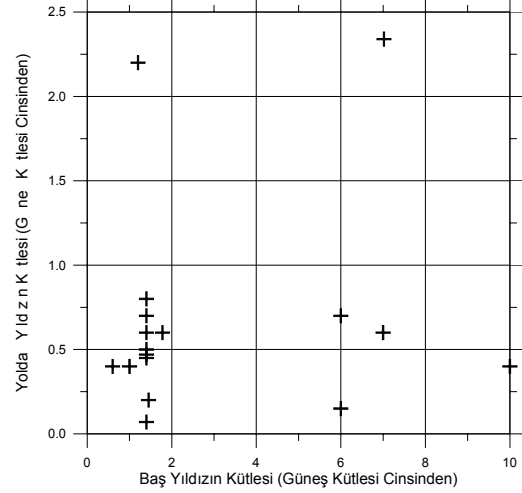
Şekilden de görülebileceği gibi kütlesi tespit edilmiş en büyük yoldaş yıldız yaklaşık $2.5 M_{\odot}$ kütlelidir ancak yoldaş yıldızların kütlesi genel olarak $1 M_{\odot}$ 'den azdır. Buna karşılık baş yıldızlar bir nötron yıldızı için standart kütle kabul edilen $1.44 M_{\odot}$ ya da bir kara delik için gerekli daha büyük kütlelerdedirler. Bu grafikte dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise bir baş yıldızın bir nötron yıldızı olamayacak bir kütlede yani $0.6 M_{\odot}$ olmasıdır bunun daha da ilginç bir tarafı bu kaynağın yine baş yıldızı nötron yıldızı olan sistemler için geçerli bir teoriyle açıklanan patlamalar gösteren bir kaynak olmasıdır.

X-ışın çiftleri yoldaşın Roche Lobunu doldurması ve baş yıldızın madde transfer etmesi ile x-ışın bölgesinde ışınım yapmaya başlarlar (P.

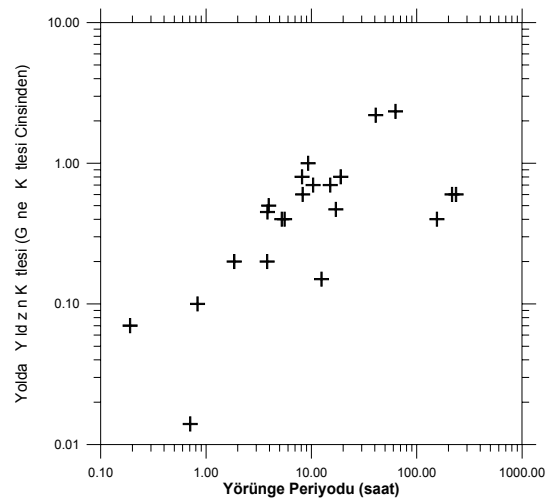
C. Joss, S. Rappaport,1979). Ancak bu madde transferinin sürekliliğini sağlayan mekanizma yoldaş yıldızın kütle kaybetmesine rağmen sürekli Roche Lobunu doldurmasını sağlayan Manyetik Frenleme'dir (F. Verbunt, C. Zwaan, 1981). Bu mekanizma ile sistem açısal momentum kaybeder ve sistemin ayrıklığı azalır böylece yoldaş yıldız ne kadar kütle kaybederse etsin hep Roche Lobunu doldurur (Lewin ve ark.,1995). Düşük kütleli x-ışın çiftleri ile ilgili bu standart teorisin doğruluğunu test etmek için katalogdaki yörünge periyotları ile yoldaş yıldızın kütlesinin verildiği sütunları karşı karşıya çizdirmek yeterlidir.

Yörünge periyodu değerleri düşük kütleli x-ışın çiftlerinde çok geniş bir alana yayıldığından her iki eksen de logaritmik çizdirmek daha doğru olur. Aşağıdaki şekilde yörünge ufaldıkça yoldaş yıldızın kütlesinin azaldığı görülebilir.

Bununla beraber açısal momentum kaybı için önerilen bir diğer mekanizma kütle çekimsel ışınım'dır (B.Paczynski,1967) ancak yapılan hesaplamalar bu mekanizmanın manyetik frenleme etkinken kendini belli edemeyeceğini sistem daha da yakınlaştığında yörünge periyodu 3 saatten küçüldüğünde etkin hale geleceğini gösterir. Zaten manyetik frenlemede yoldaşın kütlesine bağlı bir mekanizma olduğu için yoldaş kütlesinin büyük bir kısmını kaybettiğinde etkinliğini yitirir bu da, yoldaş yıldız sürekli kütle kaybettiği için yörünge periyodu, ~3 saate kadar, azaldıkça x-ışın ışınım gücünün azalacağı daha sonra eskisi kadar olmasa da kütle çekimsel ışınım ile açısal momentum kaybından dolayı yoldaşın yeniden Roche Lobunu doldurması ile kütle transferinin yeniden ve x-ışın ışınımının yeniden başlaması ile yıldızın yeniden x-ışınlarında görülebilir olması anlamına gelir (Lewin ve ark.,1995). Bütün bu anlatılanlar, aşağıdaki grafiklerde örnek sayıları farklı yörünge periyotlarında farklı olduğundan çeşitli sapmalar varmış gibi görünse de, görülebilir.

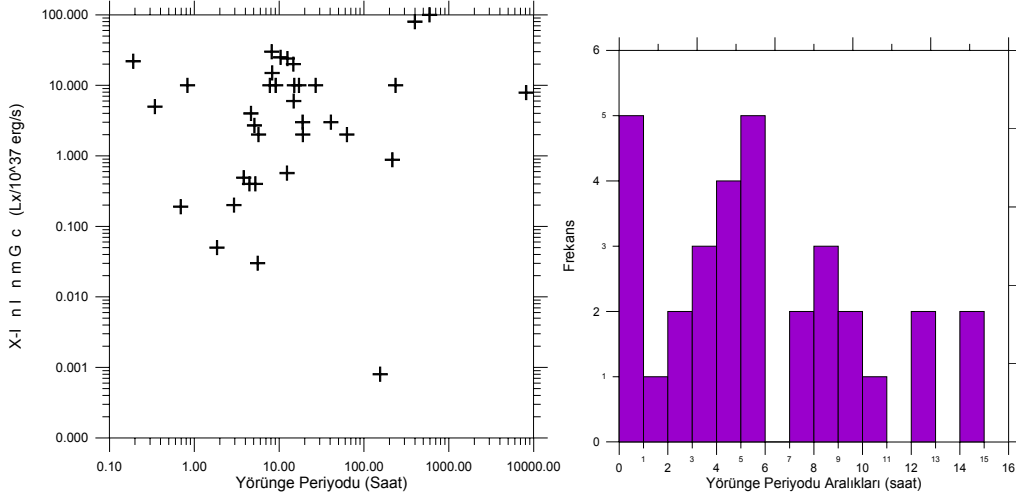


Şekil 2 DKXÇ'lerin kütlelerinin karşılaştırılması



Şekil 3 Yoldaş yıldızın kütlesi ile yörünge periyodu arasındaki ilişki

T. Güver: Düşük Kütleli X-Işın Çiftlerinin İstatistiği



Şekil 4 Yörünge periyodu ışınım gücü ilişkisi ve yörünge periyodu dağılımları

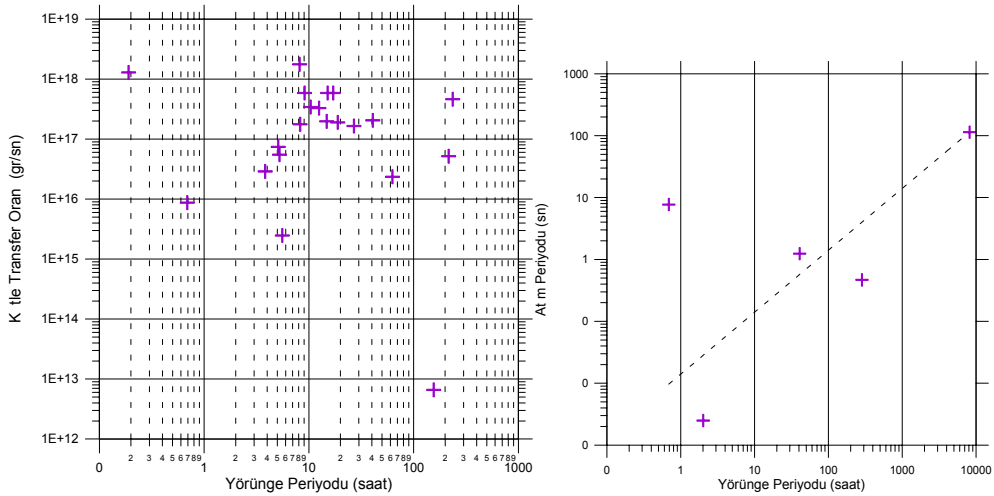
Yukarıdaki şekilde x-ışın ışınım gücü 10³⁷ erg/s'ye göre normalize edilmiş ve eksenler yine logaritmik çizilmiştir. Manyetik frenlemenin etkin olmaya başladığı yörünge periyotları olan ~10 saat civarında x-ışın ışınım gücünün yüksekliği daha sonra yörünge kısaltıkça ışınım gücünün azaldığı ve belirli bir değerden sonra (~3 saat) yeniden arttığı görülebilir. Kaynakların x-ışın üretimleri yörünge periyodu dağılımlarından da görülebilir, belirli yörünge periyodu aralıklarında yıldız sayılarında düşmeler olması, bu aralıklarda bazı sistemlerin ölçülebilir seviyelerde x-ışını üretememesinden kaynaklanabilir.

Sağdaki şekilde de kataklizmik değişenlerdeki 2-3 saat boşluğuna benzer bir boşluk 1-3 arasında görülebilir.

Benzer bir grafikte, bu kaynakların x-ışın bölgesindeki bütün ışınımından sorumlu olanın yoldaştan aktarılan kütle kaybettiği kütle çekimsel enerji olduğu varsayılırsa çizdirilebilir bu sefer aynı varsayım altında kütle transfer oranı da aşağıdaki formül ile hesaplanır ve yörünge periyoduna karşılık çizilir.

$$L_x = \frac{GM \dot{M}}{r}$$

Formülde M baş yıldızın kütlesi ve r nötron yıldızları için ortalama bir yarıçap sayılabilecek olan 11 km olarak alınmıştır.



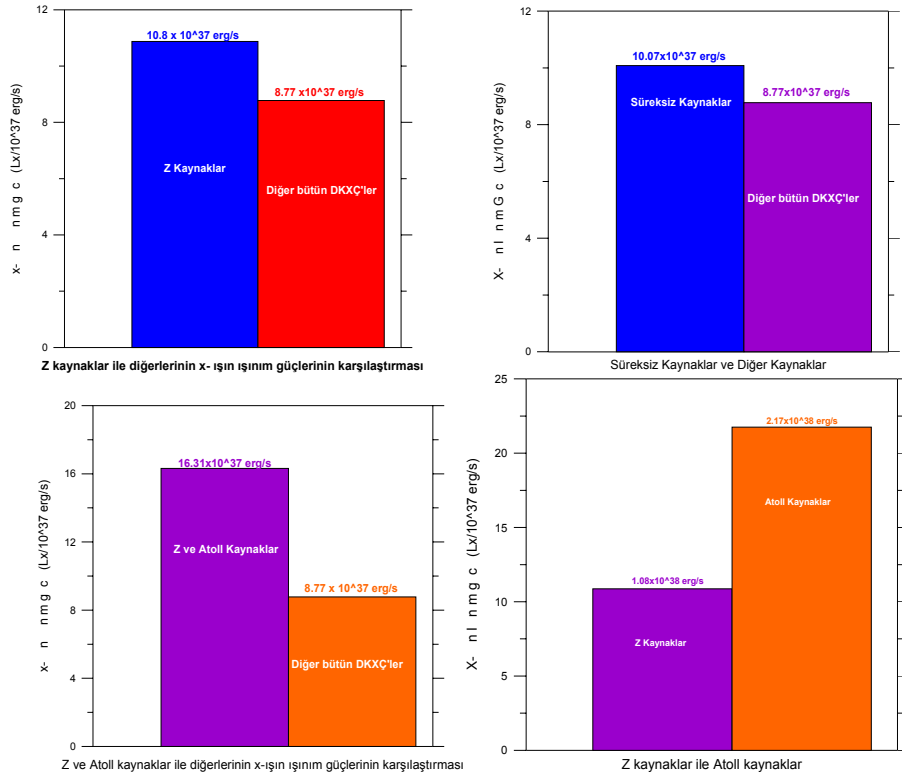
Şekil 5 Kütle transferi ile yörünge periyodu ilişkisi ve baş yıldız evrimi

Bu sefer y ekseninde gr/sn cinsinden kütle transfer oranı vardır. Kütle transferinin bir diğer sonucu, baş yıldızı nötron yıldızı olan sistemlerde eğer nötron yıldızın manyetik alanı da zayıfsa ki düşük kütleli x-ışın çiftlerinin büyük çoğunluğundan atım alınmadığından böyle olduğu düşünülür, yoldaştan gelen maddenin nötron yıldızına çok yaklaşması ve ona açısal momentum kazandırarak kendi eksenini etrafındaki hareketini hızlandırması olacaktır. Sadece 5 DKXÇ atım gösterdiğinden aşağıdaki grafiğin bu özelliği tam olarak yansıtıp yansıtmadığı tartışılabilir ancak böyle bir eğim bir yıldız hariç çok aşıkardır.

Katalogtaki x-ışın çiftlerinin yaklaşık yarısı (80 tane) süreksiz kaynaktır. Bu kaynaklar gökyüzünde zaman zaman görünürler ve bir süre sonra uzun bir süre için kaybolurlar. Bazıları, bu bölgeden uzun bir süre boyunca ışınım alınmadıktan sonra yeniden ışımaya başlar bazılarının ise bir daha ışınım yaptıkları görülmemiştir. Bunun sebebi olarak bu yıldızlarda x-ışın ışınımının yakıtı olan kütle transferinin zaman zaman normal DKXÇ'lerdeki gibi yüksek oranlarda olduğu fakat zaman zaman da bu kütle transferinin durduğu ya da çok azaldığı düşünülür (Lewin ve ark.,1995). Ancak kaynaklara göre bu kaynaklar ışınım yaptıklarında normal düşük kütleli x-ışın çiftlerinden daha yüksek ışınım güçlerine sahiptirler (Lewin ve ark.,1995) ve bu bilgiyi katalogtaki yıldızlarda doğrulamaktadır.

Hem süreksiz kaynakların hem de diğer bütün kaynakların x-ışın ışınım güçlerinin ortalamasını karşılaştıran bu grafik süreksiz kaynakların sürekli olarak ışınım yapan kaynaklardan daha yüksek ışınım güçlerine sahip olduklarını doğrulamıştır.

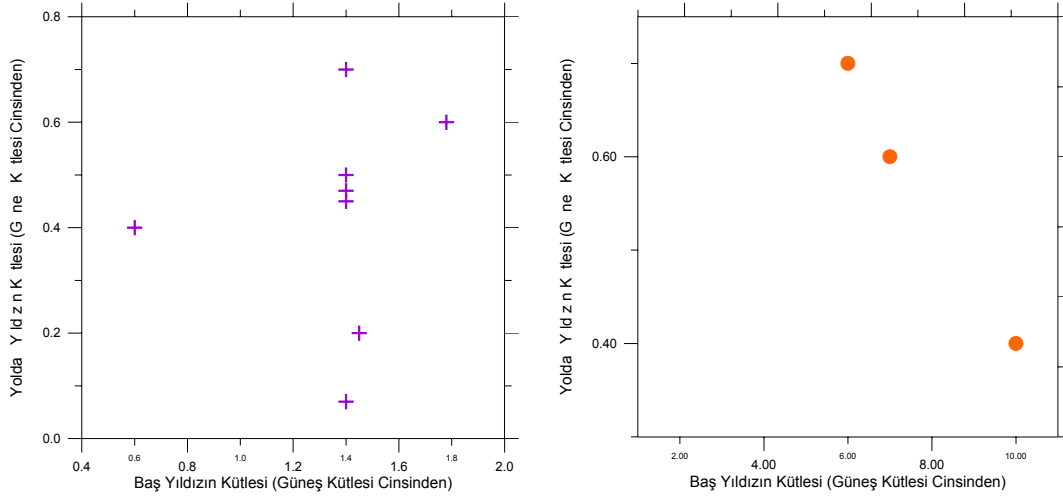
Işınım güçleri diğer kaynaklardan daha yüksek olan diğer iki sınıf ise Z ve atoll kaynaklardır bu kaynaklara böyle isimler verilmesinin sebebi, Z kaynakların x-ışın renk-renk diyagramlarında zamanla Z harfine benzer bir şekil çizmesi ve atoll kaynakların ise aynı grafikte bir adaya ya da bir muza benzer bir şekil çizmesidir. Bu iki kaynak sınıfı beraber en parlak DKXÇ'leri oluşturur (Lewin ve ark.,1995).



Şekil 6 Kaynakların tipleri ile ışınım güçlerinin karşılaştırılması

Bu grafiklerden en ilginç olanı en son verilen Z ve atoll kaynakların karşılaştırılmasıdır çünkü kaynaklarda atoll kaynakların ışınım güçlerinin Z kaynaklara göre daha az olduğu söylenir (Lewin ve ark.,1995) ancak burada alınan ortalamalar ile yazılan değerler sonucu atoll kaynaklar yaklaşık iki kat daha parlak olarak görülmüştür. Bunun sebebi kataloglarda 10³⁹ erg/sn ışınım gücüne sahip bir atoll kaynak olması (J1811-171) olabilir bu kaynak ortalamayı çok yukarı çeker.

T. Güver: Düşük Kütleli X-Işın Çiftlerinin İstatistiği



Şekil 7 Patlayıcı ve ultrasoft kaynaklar için kütle karşılaştırması

DKXÇ'lerin bir diğer alt sınıfı patlayıcılardır. Bu kaynaklar yaklaşık 3 saatlik periyotlarla ışık eğrilerinde tepeler gösterirler. Bu patlamaların sebebi olarak bu kaynakların baş yıldızlarının nötron yıldızı olduğu ve nötron yıldızı üzerine yığılan maddenin zamanla ısınarak yanması olduğu düşünülür. Yığılan hidrojen yanarak helyuma dönüşür ancak bir süre sonra helyumda yanabilecek ısıya ulaştığında helyum yanmasındaki kararsızlıklar bu ani patlamaları oluşturur (P. A. Charles, 1995). Baş ve yoldaş yıldızın kütlelerinin karşılaştırıldığı aşağıdaki grafikte bu tipten DKXÇ'lerin baş yıldızlarının bir nötron yıldızı olduğunu doğrular niteliktedir.

DKXÇ'lerin bir diğer türü de ultrasoft kaynaklardır. Bu kaynakların diğerlerine göre daha yumuşak tayfları vardır bunun sebebinin bu yıldızların baş yıldızlarının bir kara delik olduğu ve alınan x-ışınımının sebebinin yığılma diskindeki viskoz etkileşme olduğu düşünülür. Kataloglarda da çok azının kütlesi belirlenebilmişse de, bu düşünceleri doğrular şekilde ultrasoft kaynakların baş yıldızları için belirlenen kütleler bir nötron yıldızı olamayacak büyüklüktedir.

Kaynaklar

- B. Paczynski, 1967, Acta. Astron, **17**, 287
- C. Hellier, 2001, Cataclysmic Variable Stars, Springer Praxis
- F. Verbunt, C. Zwaan, 1981, A&A, **100**, L7
- N. S. Schulz, G. Hasinger, J. Trümper, 1989, A&A, **225**, 48
- O. H. Guseinov et al., Astronomy Letters 2000 Vol : 26 No :11 p :725,**729**
- P. A. Charles, 1995, Exploring the X- Ray Universe, Cambridge Univ. Press
- P. C. Joss, S. Rappaport, 1979, A&A, **71**, 217
- Q. Z. Liu, J. van Paradijs, E. P. J. van den Heuvel A&A 2001, **368**, 1021
- W. H. G. Lewin, J. van Paradijs, E. P. J. van den Heuvel, 1995, X-Ray Binaries, Cambridge Univ. Press