



Nötron Yıldızı Bileşenli X-ışın Çiftlerinin Uzun Dönemli Işık Değişimi

Tuğçe İçli¹, Kadri Yakut¹

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye.

Özet: Bu çalışmada nötron yıldız bileşenli seçilen bazı X-ışın çiftlerinin uzun dönemli ışık değişimleri incelenmiştir. Gözlemler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde (TUG) T60 robotik teleskobu ile V, R, I süzgeçlerinde yapılmıştır. Her X-1, Sco X-1 sistemlerinin uzun ve kısa dönemli ışık değişimleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: X-ışın çiftleri, Nötron yıldızı

Abstract: In this study, we investigated the long-term light variation of some selected X-ray binary systems with neutron star components. Observations were made at the TÜBİTAK National Observatory (TUG) with T60 robotic telescope in V, R, and I filters and T100 telescope in R filter. Long and short-term light variations of Her X-1, Sco X-1 systems were detected.

Key Words: X-ray binaries, Neutron star

1.Giriş

Bir yıldızın evrimi ve onun evrim süreci başlangıç kütlesi, kimyasal bolluk, kütle kaybı ve çift olma durumu gibi temel unsurlara bağlıdır. Genellikle kütleleri $9 M_{\odot}$ den daha büyük olan yıldızlar büyük kütleli yıldızlar olarak adlandırılır. Hidrojen ve helyum yakma evresinden sonra bu yıldızlar daha gelişmiş durgun nükleer yanma evrelerine başlarlar. Bu kütle sınırının altında olan orta kütleli yıldızlar olarak adlandırılan yıldızlar patlayarak karbon yakma ile bir süpernova durumuna doğru gelişirler ve helyum yakma evresinden sonra elektron dejenere CO çekirdeğe doğru evrimleşirler. Yıldız rüzgarlarıyla güçlü bir madde kaybına maruz kalan kütleleri $15M_{\odot}$ 'i aşan yıldızlar bu yüzden evrimleri sırasında kütlece azalır (Loore ve Doom,1992). Kütle kaybı, yıldız rüzgarları yolu ile ve/veya bir çift sistemde bileşenler arası madde transferi yoluyla da gerçekleştirilebilir (Eldridge, 2004). Büyük kütleli yıldızlar süpernova atarlar ve çoğunlukla demir grubu elementlerden oluşan ve hiçbir çekirdek tepkimesi göstermeyen yıldız çekirdeği çökerek bir nötron yıldızı ya da kara delik oluşturur.

Bu yıldız kalıntısı olan sıkışık cisim çift sistem olma durumunda kendi Roche lobunu dolduran bir bileşene sahip ise atılan maddeyi toplama özelliğine sahip olarak X-ışın çifti oluşturabilir. Yüksek hızlarda yüksek sıcaklıklara ısıtılmaya başlayan maddenin toplanma diski ile etkileştiği noktada ışınım salınır. Yakın sıkışık çiftlerin evrimi ve oluşumu üzerine tanımlanan astrofiziksel bilgi (bileşenlerin kütleleri, dönmeleri, manyetik alanlar vb.) ve bu tür sistemlerin gravitasyonel dalga astronomisinin testi için çalışılması oldukça önemli bir yer kaplamaktadır. X-ışın kaynaklarının çoğu içerdikleri nötron yıldızı ya da kara delik bileşenlerinin gözlemlerinden bulunmuştur. Güneş Sistemi dışındaki ilk X-ışın kaynağı yaklaşık 50 yıl önce gözlenen Sco X-1 sistemidir.

Yüksek enerjili çift sistemler, sıkışık cisim bileşeni nötron yıldızı ya da kara delik olan ve bu sıkışık cisim yörüngesinde dolanan bir bileşen yıldız içerir. Bileşen yıldızın kütlesi tipik olarak $1 M_{\odot}$ ya da daha düşük kütleli ve geri tayf türüne sahip ise LMXB (Low Mass X-ray Binaries, düşük kütleli X-ışın çiftleri) olarak adlandırılmaktadır. Diğer yandan X-ışın çifti OB tipi ön tayf türüne sahip büyük kütleli bir bileşen yıldızı (tipik olarak $10 M_{\odot}$ 'den büyük) sahip ise sistem HMXB (Büyük kütleli X-ışın Çiftleri) olarak adlandırılır (Gonzalez- Galan, 2014). HMXB kendi içinde üç gruba ayrılmaktadır: Be yıldızları barındıran sistemler (BeHMXBs), süperdev yıldızların toplanan yıldız rüzgarlarının oluşturduğu sistemler (SgHMXBs) ve Roche lobundan madde atan süperdevler. Kısa yörünge dönemleri ile bir anakol bileşeni ve bir karbon-oksijen ya da bir helyum yıldızı içeren kendi içinde doğrudan madde aktarımı gerçekleştiren sistemlerdir. Bu nokta da madde aktarımı aşamasındaki çift katakлизмik değişen (CVs) olarak adlandırılır. Oluşturdukları yığılma diski beyaz cüce bileşenin etrafında bulunmaktadır. Madde aktarımı nedeniyle beyaz cücenin kütlesi artar ve bu zamanla farklı evrimsel süreçler gerçekleşir (Kalomeni ve ark. 2016). Bu madde aktarımı elektron yakalayan çökmeye ve sonuç olarak nötron yıldızlarının oluşumuna yol açar. Bu durumda sistem düşük kütleli bir X-ışın çifti olmaya başlayabilir (Loore ve Doom,1992). Bir LMXB'nin evrimi süresince kütleli önemli bir miktarı bileşenden kaybolmuştur (Podsiadlowski ve ark., 2002, Kalomeni ve ark. 2016). Toplanma diskleri ve/veya bileşen yıldızları yeterince parlak ısıtılabilir salma yayarlar (Wang ve ark., 2014). Buna ek olarak LMXB sistemleri optik/infrared/radyo dalgaboylarında sinkrotron ışınımı üreten bir jet fırlatabilmektedirler (Fender, 2006; Russell ve ark., 2006, 2007; Gallo, 2010). HMXB'ler büyük ölçeklerdeki madde aktarımları sonucu oluşan X-ışın çiftleridir (van den Heuvel ve Heise, 1972; Tutukov ve Yugel'son, 1973). Bu madde aktarımı sayesinde daha çok büyüyen bileşen (başlangıçta çok daha büyük kütleli olan) bir SN olarak patlamadan önce hidrojen zengin zarfını sistemin daha düşük kütleli bileşenine aktarabilir (Gonzalez-Galan, 2014).

Yakın çift evresi süresince, daha büyük kütleli olan yıldız daha düşük kütleli yıldız madde transfer eder. Sonuç olarak, izole olmuş ve daha zengin bolluklara sahip bu yıldızlar HMXB'ler de süperdev bileşenler olarak görünebilir (Gonzalez- Galan, 2014). HMXB'ler SN patlaması sebebiyle evrimlerini bir nötron yıldızı (NY) oluşumuyla sonuçlandırır.

*Sorumlu Yazar E-Posta: icli.tugce@gmail.com



HMXB'ler de nötron yıldızı bileşen yıldızın sahip olduğu güçlü-hızlı yıldız rüzgarı ve /veya Roche lobu taşması yoluyla madde alabilir. Bileşenler $10-30 R_{\odot}$ aralığında yarıçaplara sahip ve neredeyse Roche loblarını doldurmuşlardır. Atma gösteren NY bileşenli sistemlerin çoğunda (örneğin, X 0115+63 ve Her X-1) X-ışın tayfında soğurma/ salma özellikleri mevcuttur ve bunların büyük oranının $B \approx 5 \times 10^{12} \text{ G}$ 'luk manyetik alan kuvvetleri ile sonuçlanan siklotron çizgileri olduğu düşünülmektedir (Kirk ve Trümper, 1983). Bu tür sistemlerin incelenmesi hem sahip olduğu sıkışık cismin hem de astrofiziksel süreçlerin (madde etkileşiminin evrime etkisi, yakınlık etkisi, açısal momentum kaybı vb.) anlaşılması bağlamında oldukça önem taşımaktadır.

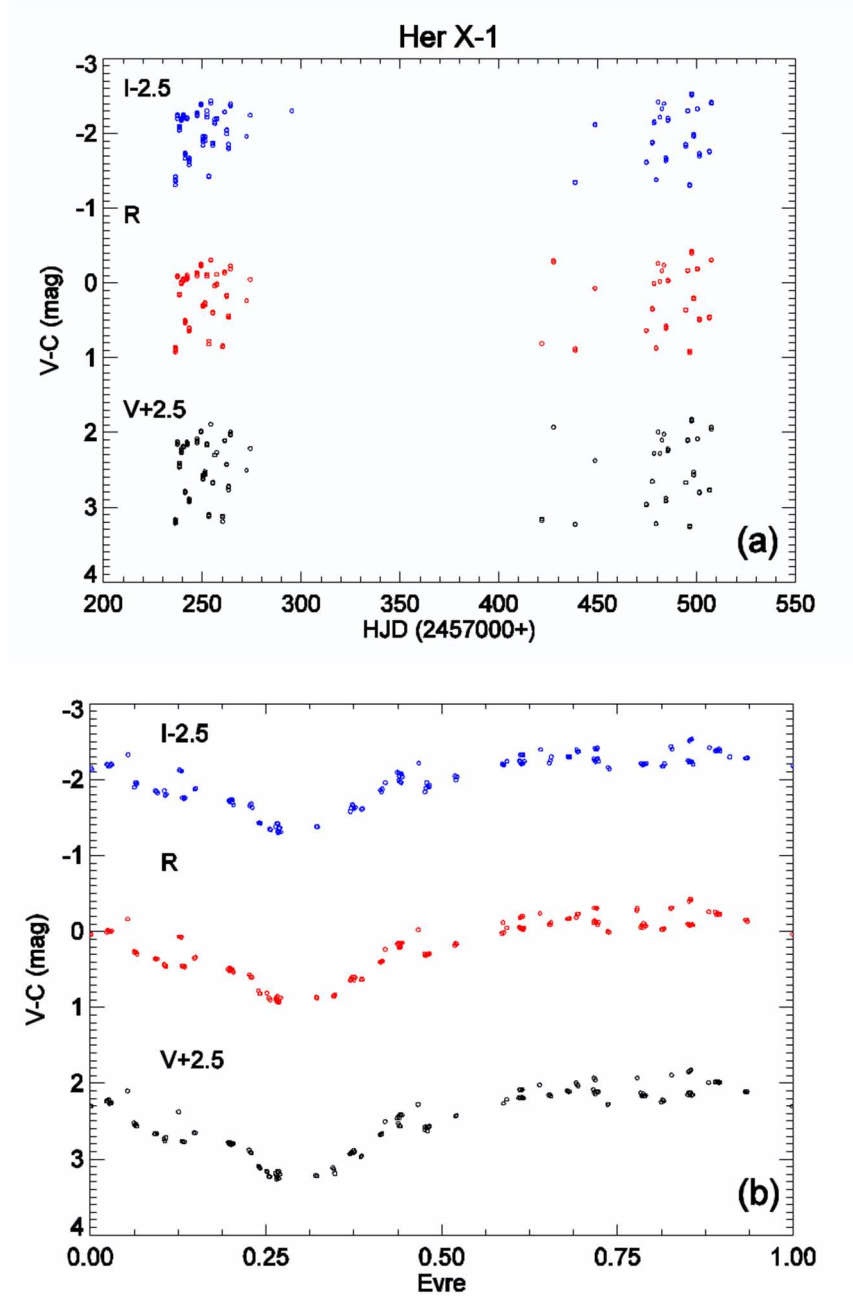
Bu çalışmada yukarıda evrim süreci özetlenen sistemlerden olan Her X-1 ve Sco X-1 çift sistemleri ele alınmıştır. Her iki sistemin uzun dönemli optik değişimi yeni gözlemler yapılarak ele alınmıştır. Bilinen iki sistem, Her X-1 ve Sco X-1 WISE taraması sonucunda saptanmıştır. Bu iki nötron yıldız bileşenli sistem çok yüksek parlaklıklı X-ışın kaynaklarıdır ve toplama aktivitesi ve yörünge değişimi nedeniyle son derece değişkendirler (Wang ve ark., 2014).

HZ Her iyi çalışılmış bir X-ışın çift pulsarıdır (Leahy ve Abdallah, 2014) ve 1972 yılında UHURU uydusu gözlemleri ile keşfedilmiştir. Sistemin nötron yıldızı bileşeni $P \sim 1.24 \text{ s}$ 'lik bir dönme dönemine sahiptir. Neredeyse dairesel bir yörüngede optik bileşenin çevresinde 1.7 gün de dolanır (Tananbaum ve ark., 1972). Nötron yıldızının ve optik bileşenin kütleleri sırasıyla $\sim 1.5 M_{\odot}$ ve $\sim 2.2 M_{\odot}$ olarak verilmiştir (Leahy ve Abdallah, 2014). Sistem tutulma gösteren bir LMXB'dir. Bileşenin tayf türü A7 SG (Gursky ve Schreier, 1975) ve sistemin uzaklığı yaklaşık olarak 6.6 kpc olarak saptanmıştır (Leahy ve Abdallah, 2014). 35 günlük çevrim ile X-ışın atmalarının değişimi Her X-1'in iyi bilinen bir özelliğidir ve değişik uydular tarafından gözlenmiştir (Leahy ve Abdallah, 2014; Postnov ve ark., 2013). Bu sistemde görülen 35 günlük çevrim, aktivitenin etkin olduğu zamanların ölçümü ile nötron yıldızının dönme dönemi ile ilişkilendirilmiştir (Postnov ve ark., 2013). Bu durum, diskten nötron yıldızına açısal momentum transferinin evrimini belirtmektedir (Leahy ve Abdallah, 2014). Sco X-1 Giacconi et al. (1962) tarafından, optik karşılığı V818 Sco ise Sandage et al. (1966) tarafından keşfedilmiştir. Teorik olarak $1.4 M_{\odot}$ 'lik bir nötron yıldızı varsayımıyla ($i \sim 38$; Steeghs ve Casares, 2002) bileşenin kütlesi $0.42 M_{\odot}$ olarak verilmiştir. Sco X-1 sisteminin bir radyo jet'e sahip olduğu bilinmektedir (Steeghs ve Casares, 2002). Sistem bilinen LMXB'ler arasında optik band da en parlaktır ($V \sim 12.5$). Yörünge dönemi, fotometrik bir değişimin keşfine ve tayfsal onaya dayalı olarak 18.9 saat (0.78 gün) olarak kabul edilmiştir (Steeghs ve Casares, 2002).

2. Yeni Gözlemler

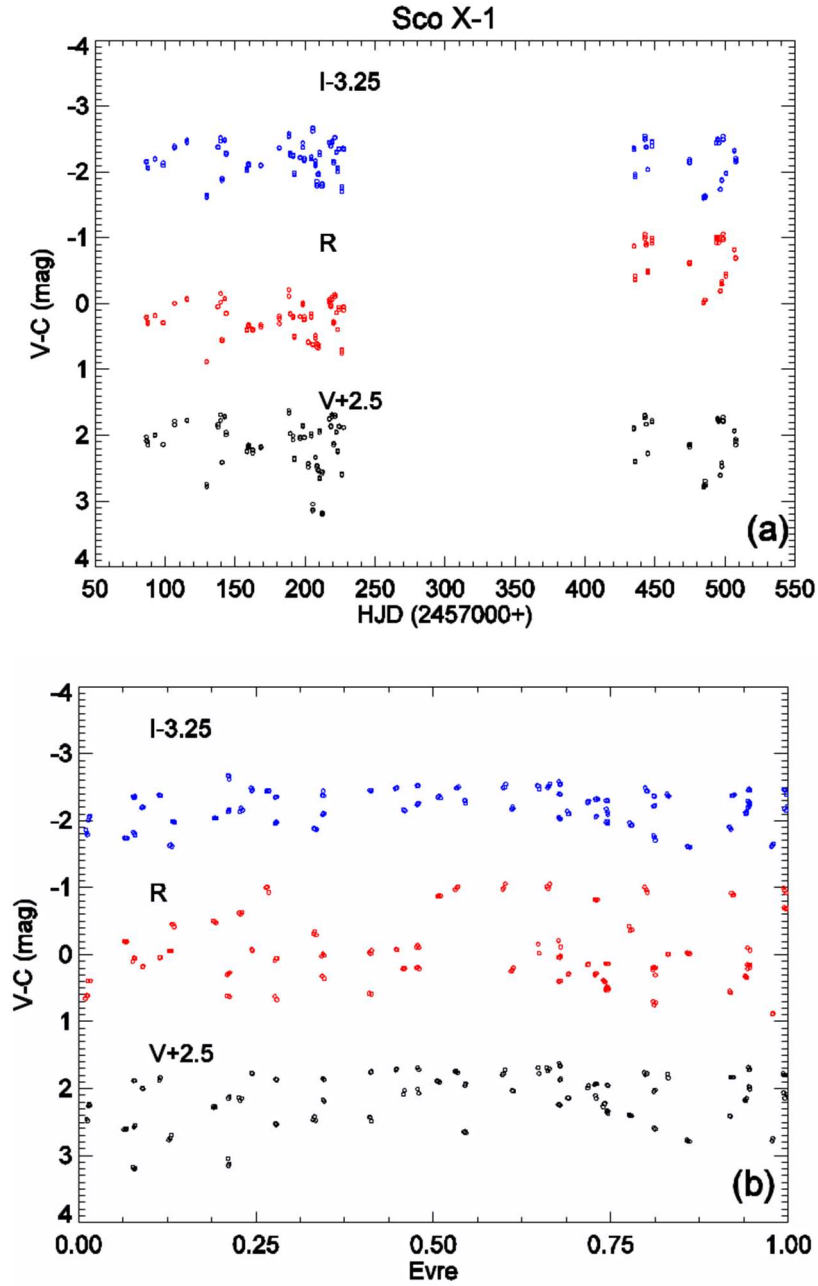
X-ışın çiftlerinin uzun dönemli ışık değişimleri bize bileşenlerin aktivite süreçleri hakkında bilgi sunar. Bu değişimler, bileşen yıldızın sahip olduğu yıldız aktivitesinin yanısıra sıcak yıldız rüzgarları ve bileşenin bozulmuş yapısı nedeni ile meydana gelmiş olabilir. Çalışmanın bu kısmında ön tür ya da geri tür bir bileşenden ve bir nötron yıldızından oluşan seçilmiş çift sistemlerin V, R ve I süzgeçlerindeki uzun dönemli ışık değişimleri ele alınmıştır. Yeni gözlemler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) yerleşkesinde bulunan 60cm çapındaki (T60) robotik teleskop ile yapılmıştır. İncelenen çift sistemler, hem X-ışın bölgede hem de optik bölgede değişimler göstermektedir. Bu nedenle olabildiğince uzun dönemli gözlemleri yörünge, aktivite değişimleri kaynaklı olası ışık değişimlerinin incelenmesi açısından oldukça önemlidir.

HZ Her sisteminin TUG T60 robotik teleskobu ile 5 Şubat 2015 tarihinde başlanan gözlemleri 2016'nın sonuna kadar sürdürülmüştür. Sistem V, R ve I süzgeçlerinde 5, 20 ve 60 saniye poz sürelerinde incelenmiştir. Elde edilen gözlemlerin uygun bias, dark ve flat görüntüleri kullanılarak fark fotometrisi yöntemi ile indirgemeleri ve zaman düzeltmesi yapılmıştır. V, R ve I süzgeçlerinde elde edilen gözlemlerin indirgemeleri sırasında IRAF paket programı kullanılmıştır. Bunun için her gözlem dönemi kendi içerisinde incelenmiştir. CCD alanında belirlenen mukayese yıldızları seçilerek her bir yıldız sistemi için fark fotometrisi elde edilmiştir. İndirgemeler sırasında 000-BBY-249 (AAVSO- 135, C1), 000-BBY-231 (AAVSO-132, C2), 000-BBY-232 (AAVSO-150, C3), 000-BBY-246 (AAVSO-136, C4) yıldızları görüntü alanında daha önce literatürde kullanılan seçtiğimiz mukayese yıldızlarıdır. Sistemin TUG T60 teleskobuyla elde edilmiş gözlemleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1a'da sistemin parlaklık değişimi HJD ye göre Şekil 1b'de ise evreye göre çizilmiştir. Bu şekilde sistemin 1.7 günlük döneminde meydana gelen değişim açıkça görülmektedir.



Şekil 1: Her X-1 sisteminin TUG- T60 teleskobuyla elde edilmiş V, R ve I süzgeçlerindeki zamana (a) ve evreye (b) göre parlaklık değişimi.

V818 Sco sisteminin TUG T60 Robotik teleskobuyla gözlemleri HZ Her'e benzer dönemlerde yapılmıştır. Sistem V, R, I filtrelerinde 5 ve 20 saniye poz sürelerinde gözlenmiştir. Elde edilen gözlemler uygun bias, dark, flat görüntüleri kullanılarak indirgenmiş, görüntü ve zaman düzeltilmesi yapılarak fark fotometrisi elde edilmiştir. İndirgeme sırasında her gözlem dönemi kendi içerisinde incelenmiştir. Fark fotometrisi sırasında kullanılan mukayse yıldızları sırası ile; 000-BBX-352 (AAVSO- 115, C1), 000-BBX-347 (AAVSO-126, C2), ve 000-BBX-346 (AAVSO-113, C3) olarak alınmıştır. Sistemin elde edilen VRI renklerindeki ışık değişimi (V-C) Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Sco X-1 sisteminin TUG- T60 teleskobuyla elde edilmiş V, R, ve I süzgeçlerindeki zamana (a) ve evreye (b) göre parlaklık değişimi.



3. Sonuçlar ve Tartışmalar

-Bu çalışma kapsamında LMXB sistemlerinden Her X-1 ve Sco X-1 çift sistemlerinin uzun dönemli fotometrik çalışması yapılmıştır. Bu sistemlere ilişkin gözlemler devam etmektedir. Yapılan gözlemlerden Her X-1 sisteminin gözlemlerinden (Şekil 1) yörünge dönemindeki değişim belirgin bir şekilde elde edilmiştir. Buna karşın uzun dönemdeki değişimine ilişkin değişimi ortaya koymak için devam eden yeni gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Sco X-1 sistemi Her X-1 sistemi gibi belirgin dönemsel değişim göstermiyor olsa bile gözlemlerden küçük değişimlerin olduğu görülmektedir (Şekil 2).

-Nötron yıldız bileşenli LMXB ve HMXB çiftlerine ilişkin çalışma İçli (2016) tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada optik gözlemlere ek olarak bilinen bu tür sistemlerin evrimi ve açısal momentum kayıp mekanizmaları ele alınmıştır. Düşük kütleli X-ışın çiftinin evriminde, yörünge açısal momentumun taşınması için manyetik yıldız rüzgarları (MSW) ve çekimsel ışıma önemli rol oynar. Geri tür yıldızlar özellikle kısa dönemli olanların madde atımı ve aktarımı ile önemli ölçüde açısal momentum transferi yaparlar (yakut ve Eggleton, 2005) buna karşın farklı süreçler ile ön tayf türündeki büyük kütleli yıldızlarda madde aktarımı daha şiddetli ve etkindir (Nathan 2014). Çekimsel ışıma ile momentum kaybı özellikle kısa dönemli X-ışın çiftlerinde daha önemlidir (bknz. İçli, 2016).

Bu çalışmada TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan T60 ve T100 teleskopları kullanılmıştır. Gözlem projelerine verilen destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz (Proje no:15CT100-916, 15AT60-776).

4. Kaynaklar

- Eldridge, J. J., 2004, PhD thesis Institute of Astronomy & Fitzwilliam College, University of Cambridge, 183p
Fender, R., 2006, 381–419, AIPC, 856, 23p
Gallo, E., 2010, Radio Emission and Jets from Microquasars, in Lecture Notes in Physics, 794, 85p
Giacconi, R., Gursky, H., Paolini, F. R. ve Rossi, B. B., 1962, Physical Review Letters, 9, 439-443p
Gonzalez-Galan, A., 2014, Universidad de Alicante, PhD Thesis Alicante, 283p
Gursky, H. & Schreier, E., 1975, The binary X-ray stars - The observational picture, 413-463 p
İçli, T., 2016, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi.
Kalomeni, B., Nelson, L., Rappaport, S., Molnar, M., Quintin, J. and Yakut, K., 2016, eprint arXiv:1610.03051.
Kirk, J. G. & Trümper, J. E., 1983, Cambridge University Press, 261-285p
Leahy, D. A. & Abdallah, M. H., 2014, ApJ, 793,79, 10pp
Loore, C.W.H.DE & Doom C., 1992, ISBN 0-7923-1768-8, Belgium, 472p
Podsiadlowski, P., Rappaport, S. ve Pfahl, E. D., 2002, ApJ, 565, 1107p
Postnov, K., Shakura, N., Staubert, R., Kochetkova, A., Klochkov, D. ve Wilms, J., 2013, MNRAS, 435, 1147-1164p
Russell, D. M., Fender, R. P., Hynes, R. I., Brocksopp, C., Homan, J., ve ark., 2006, MNRAS, 371, 1334p
Russell, D. M., Fender, R. P. ve Jonker, P. G., 2007, MNRAS, 379, 1108p
Sandage, A., Osmer, P., Giacconi, R., ve ark., 1966, ApJ, 146, 316p
Steeeghs, D. & Casares, J., 2002, ApJ, 568, 273-278p
Tananbaum, H., Gursky, H., Kellogg, E. M., Levinson, R., Schreier, E. ve Giacconi, R., 1972, ApJ, 174, L143p
Tutukov, A. & Yungelson, L., 1973, Nauchnye Informatsii, 27, 58p
van den Heuvel, E. P. J. & Heise, J., 1972, Nature Physical Science, 239, 67–69p
Wang, X. & Wang, Z., 2014, ApJ, 788, 184p
Nathan, S., 2014, ARA&A, 52, 487
Yakut, K., Eggleton, P. P., 2005, ApJ, 629, 1055