

# Kütle Aktarımı Yapan X-ışını Atarcalarının Gözlemsel Zamanlama Özellikleri

Sıtkı Çağdaş İnam<sup>1</sup>\*,

<sup>1</sup> Başkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 06810 Bağlıca, Ankara

## Özet

Bu bildiri kütle aktarımı yapan X-ışını atarcalarının (KAYXA'ların) gözlemsel zamanlama özellikleri konu edilmektedir. Öncelikle KAYXA'lar hakkında temel bilgiler verilmiştir. Daha sonra atım geliş zamanı hesaplaması, zamanlama çözümünün elde edilmesi, atım periyodu ve periyot değişimlerinin elde edilmesi, periyot değişimleriyle akı arasındaki ilişkinin çıkarılması ve güç tayfindan periodikimsi salınımların tespitiyle ilgili yöntemler kısaca anlatılmıştır. Örnek verilen üç KAYXA'nın (SAX J2103.5+4545, SWIFT J1626.6-5156 ve 4U 1907+09) belirtilen yöntemlerle elde edilen sonuçlarından da bahsedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** X-rays: binaries, Sıkı Nesnelere

## 1 Giriş

Kütle aktarımı yapan X-ışını atarcaları (KAYXA'lar) ilk kez 1970'lerin başlarında keşfedilmiştir (Giacconi vd. 1971a). Bu kaynaklar X-ışını çifti olarak adlandırığımız çift yıldız sistemlerinde yer alırlar (bkz. Şekil 1). Bir KAYXA, aslında (genellikle) dejenere olmayan eş yıldızından kütle aktarımı yaptığı ve yüzündeki dipol manyetik alanı yüksek ( $\sim 10^{11}$  Gauss ve üstü) olduğu için bize periyodik atımlar gönderen bir nötron yıldızıdır.

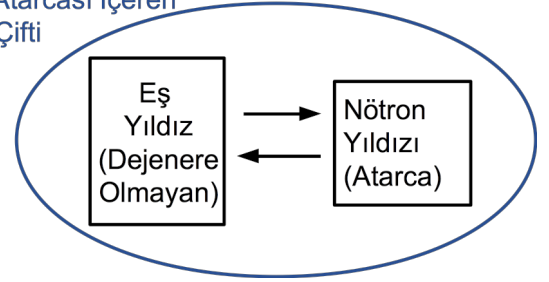
Samanyolu Gökadası'nda yer alan KAYXA'ların önemli bir kısmı gökada düzlemine yakın gökada koordinatlarına sahiptir (?). Nötron yıldızının büyük kütleli bir yıldızın son ürünü olduğu düşünüldüğünde bu normal karşılanabilir. Gökadamızdaki KAYXA nüfusunun yanı sıra çoğu son yıllarda olmak üzere çok sayıda KAYXA da Küçük ve Büyük Macellan Bulutsu'larında keşfedilmiştir (Corbet vd. 2009).

KAYXA'ların X-ışını ışıma güçlerini belirleyen en önemli etkenler yörüngeleri ve eş yıldızlarının türüdür (Corbet 1986; Drave vd. 2012). Eş yıldız küçük kütleliyse, çoğu durumda yıldızların birbirlerine daha yakın olması ve kütle aktarımının daha etkin sürdürülmesi beklenir. Böylece daha etkin bir kütle aktarım süreci etkin bir açıl momentum aktarımına sebep olacak ve nötron yıldızının hem dönüş frekansı hem de dönüş frekansının değişim oranı yüksek olacaktır. Bu tür sistemlerin pek çoğunda kütle aktarımı kalıcı yığılma (ya da kütle aktarım) diski aracılığıyla gerçekleşir, hatta LMC X-4, SMC X-1 ve Her X-1 gibi kaynaklarda kütle aktarım diskinden kaynaklı üst (süper) yörünge periyodları bile gözlenir (Paul ve Kitamoto 2002).

Öte yandan büyük kütleli eş yıldız olduğu durumlarda kütle aktarımının daha az etkin olması beklenir. Böyle bir sistemde nötron yıldızı çoğunlukla eş yıldızın rüzgarından kütle aktarımı yapsa da başta Be tipi eş yıldız olanlar olmak üzere bu tür KAYXA'ların bazılarında (örneğin 4U 1907+09 ve SAX J2103.5+4545) geçici yığılma disklerinin meydana gelebileceği bilinmektedir (Şahiner vd. 2012; Baykal vd. 2007).

Bu bildiri KAYXA'ların gözlemsel zamanlama özellikleri ele alınacaktır. Bölüm 2'de zamanlama için kullanılan yöntemlerden bahsedilecektir. Bölüm 3'de bazı KAYXA örnekleri tartışılacak ve Bölüm 4'de yorumlar yapılacaktır.

## X-ışını Atarcası İçeren X-ışını Çifti



Şekil 1. X-ışını atarcası içeren X-ışını çiftlerinin şematik gösterimi. Çift yönlü oklar iki yönlü etkileşimi göstermektedir. Atarca eş yıldızından kütle alırken sadece kütleçekimsel olarak eş yıldızını etkilemekle kalmaz aynı zamanda eş yıldızın yüzeyini kısmen ısıtmak gibi ikincil etkilere de sebep olabilir.

## 2 Zamanlama Analizi

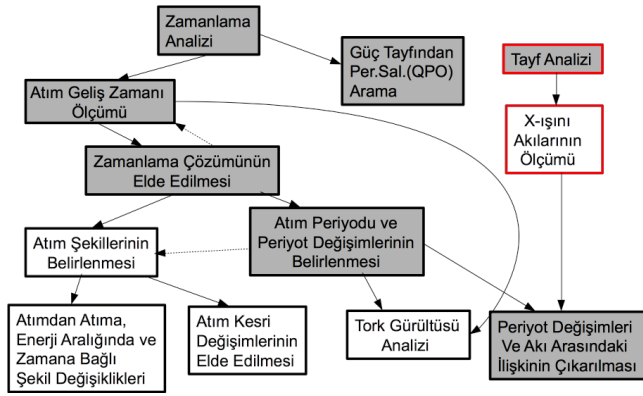
Zamanlama analizinin nasıl yapıldığına dair özet bilgi Şekil 2'de şematik olarak verilmiştir.

Zamanlama analizine başlayabilmek için KAYXA'ların X-ışını uydularından alınan verilerinden ışık eğrilerini elde etmemiz gerekir. Işık eğrilerini elde etmek için HEASOFT ve benzeri paket programlardan yararlanılır. Zamanlama analizinin geliş zamanı çıkarmak gibi bazı temel adımları için gerekli olmasa da atım kesri vb. hesaplamaları yapabilmek için ışık eğrisinden X-ışını uydusunun özelliğine göre gerçek ya da yapay (sentetik) arkaplanın çıkarılması önemlidir. Yine aynı paket programlardan yararlanılarak ışık eğrilerindeki zamanlar Güneş Sistemi kütle merkezine göre düzeltilmeli, böylece Dünya'nın ve uydunun yörüngesinden kaynaklı zamanlama etkileri ortadan kaldırılmalıdır.

Uygun ışık eğrisini elde ettikten sonra KAYXA'nın pek çok zamanlama özelliğini incelememiz mümkündür. Bu özelliklerin temel olanları kısaca şöyle sıralanabilir:

- **Atım Geliş Zamanı Ölçümü:** Deeter Boynton ve Pravdo, (1981) tarafından ortaya konulan yöntemde öncelikle atım geliş zamanlarını ölçmek için makul (örneğin güç tayfindan elde edilmiş) ilk periyot değeriyle ışık eğrisinin bir kısmından şablon atım şekli elde edilmeli ve bu şablon Fourier harmonikleri cinsinden analitik olarak ifade edilmelidir. Daha sonra ışık

\* scinam@gmail.com



Şekil 2. Zamanlama analizinin ana adımları ve tayf analiziyle ilişkisini gösteren blok şema. Siyah çerçeveli gri boyalı kısımlar yazıda ayrıntılı anlatılan kısımları göstermektedir.

eğrisinin farklı zamanlara karşılık gelen kısımlarından da atım şekilleri elde edilip analitik ifade edilir ve şablonla özilintisi hesaplanarak kayma miktarları elde edilir.

- **Zamanlama Çözümünün Elde Edilmesi:** Atım geliş zamanı ölçümünden elde edilen kayma miktarları (faz) üzerinde çalışılarak periyot değeri güncellenir ve/veya faz-zaman grafiği  $n$ . dereceden bir polinomla (Taylor açılımıyla) modellenerek periyot ve  $(n-1)$ . periyot türevleri elde edilir. Eğer kaynağın yörünge modeli biliniyorsa, bu model atım geliş zamanlarını düzeltmek için kullanılabilir. Eğer yörünge parametreleri bilinmiyorsa atım geliş zamanları polinom ve yörünge modelinin toplamı olan bir fonksiyona uydurilmaya çalışılarak hem periyot değişimleri hem de yörünge parametrelerinin elde edilmesi hedeflenir. Atım geliş zamanı ölçümü, genellikle dikkatli ve adım adım giderek yürütülmesi gereken zor bir iştir. Özellikle zaman aralıkları arttıkça veya atım zamanlarındaki değişimler büyüdükçe çevrim sayısı belirsizliği ortaya çıkabilir. Bütün bu hesaplar sonucunda kaynağın periyodu ve türevleri ile yörünge parametreleri hassas bir şekilde belirlenebilir.
- **Atım Periyodu ve Periyot Değişimlerinin Belirlenmesi:** KAYXA için elde edilen zamanlama çözümü, çözümün yapıldığı zaman aralığındaki periyot ve periyot türevlerinin hassas bir şekilde ölçümünü mümkün kılmaktadır. Bu ölçümler farklı zaman bölgelerinde tekrarlanarak çok sayıda "anlık" ya da "kısa zaman aralığında geçerli" periyot ve periyot türevini bulmamızı mümkün kılar. "Anlık" periyot ölçümlerini zamana bağlı çizdiğimizde periyodun uzun dönemde zamana göre nasıl değiştiğini hesaplayabilir ve "ortalama" periyot türevini elde etme şansını da bulabiliriz. Ortalama periyot türevi değeri ile anlık periyot türevi değerleri arasındaki farklılıklar ve değişimler bu kaynaklardaki kütle aktarım süreçlerini anlamamız için büyük fırsatlar sağlar (bkz. Bölüm 3).
- **Periyot Değişimleri ve Akı Arasındaki İlişkinin Çıkarılması:** KAYXA'lar için elde edilen anlık ve ortalama periyot türevleri pek çok kaynaktan X-ışını akısıyla ilişkili bulunmuştur. Bu ilişki başta Ghosh ve Lamb (1979) tarafından ortaya konulan yığılma diski modeli olmak üzere pek çok modelce öne sürüldüğü gibi yığılma diskinin varlığının bir göstergesi olabilmektedir. X-ışını akıları, X-ışını enerji tayfları elde edilerek ve XSPEC gibi tayf analizi programlarından yararlanılarak elde edilebilir.
- **Güç Tayfından Periodiğimsi Salınım (QPO) Arama:** X-

ışını ışık eğrisinin farklı bölgelerinden güç tayfı elde ederek hem güç tayflarının süreyindeki (continuum) değişimlerin analiz edilmesi hem de periodiğimsi salınımların aranması mümkündür. Süreydeki değişimler kütle aktarım mekanizmalarındaki değişimlere işaret ederken, periodiğimsi salınımlar bir yığılma diskinin varlığına işaret olabilir (bkz. Bölüm 3).

### 3 Örnek Kaynaklar

#### 3.1 SAX J2103.5+4545

Geçici bir X-ışını kaynağı olan SAX J2103.5+4545, 1997 Şubat ayındaki parlaması sırasında keşfedilmiştir (Hulleman vd. 1998). Kaynağın 360s civarında dönüş periyodu ve 12.68 günlük yörünge periyodlu oldukça dış merkezli ( $e \sim 0,4$ ) bir yörüngesi vardır (Baykal vd. 2000).

Kaynağın en dikkat çekici özelliği X-ışını akısıyla hızlanma oranı arasındaki kuvvetli ilintidir (bkz. Şekil 3 ve Baykal vd. 2007). Bu ilinti Ghosh & Lamb (1979) modeliyle rahatlıkla açıklanmakta ve kaynağın yığılma diskinden kütle aktarımı yaptığı sonucu çıkmaktadır. Dış merkezli yörüngesi ve geçici doğasına rağmen yığılma diski modelinin bu kaynaktan çok iyi çalışıyor olması dikkat çekicidir.

Kaynağın yığılma diskinden kütle aktarımı yaptığına dair diğer bir delil kaynaktan gözlenen geçici periodiğimsi salınımdır (İnam vd. 2004). 22,7s civarında periyoda sahip bu salınım daha önce Baykal vd. (2002) tarafından ölçülen yüzey manyetik alan şiddeti ölçümleriyle tutarlıdır ve yine  $1.67 \times 10^9$  cm yarıçaplı bir iç disk yarıçapına delil olarak gösterilebilir.

#### 3.2 SWIFT J1626.6-5156

SWIFT J1626.6-5156 kaynağı da geçici bir X-ışını kaynağıdır. Dönüş periyodu 15s civarında olan bu kaynak 2005 Aralık'ta keşfedilmiştir (Palmer vd. 2005). Kaynağın yörünge periyodu 132,89 gün olarak belirlenmiştir (Baykal vd. 2010). Kaynak geçici doğasıyla SAX J2103.5+4545 kaynağına benzer de dış merkezliliğinin daha küçük (0,08) oluşu sebebiyle farklılaşmaktadır.

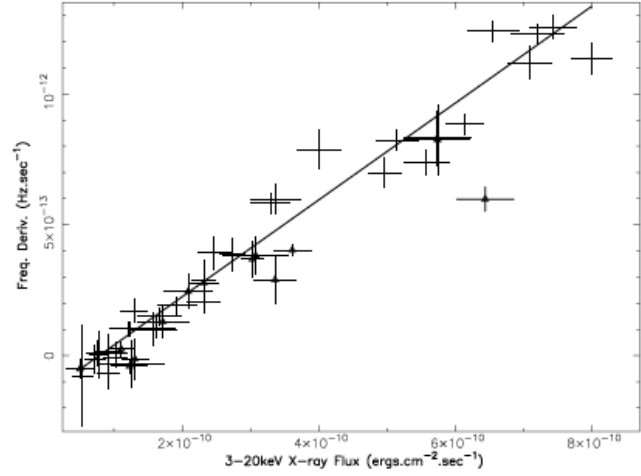
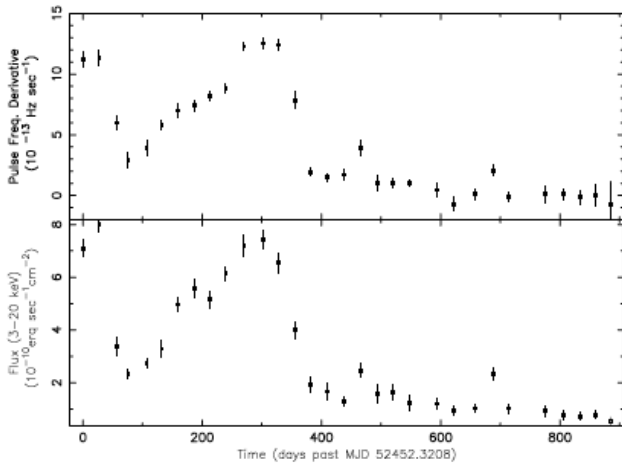
Kaynak uzun dönemli hızlanma göstermiş ve X-ışını akısıyla frekans türevi arasında gösterdiği ilintiyse Ghosh & Lamb (1979) modeliyle tutarlı görülmektedir (bkz. Şekil 4 ve İçdem vd. 2011).

#### 3.3 4U 1907+09

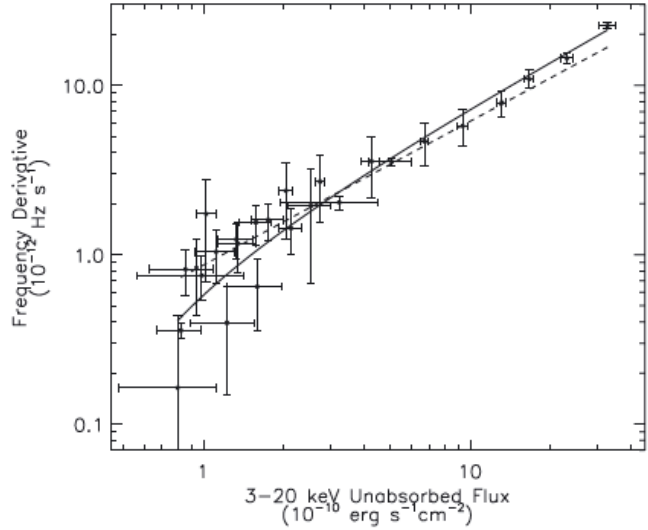
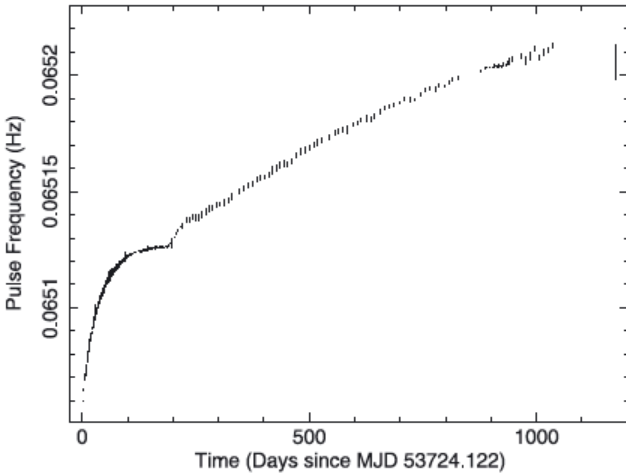
4U 1907+09, 1970'li yılların başlarında keşfedilmiştir (Giacconi vd. 1971b). Kaynağın ilk dönüş periyodu ölçümü ( $\sim 437,5$ s) Makishima vd. (1999) tarafından yapılmıştır. Kaynağın büyük dış merkezliliğe ( $\sim 0,28$ ) sahip yörüngesindeki periyodu  $\sim 8,38$  gün kadardır (In't Zand vd. 1998). Yörünge profiline bakılınca büyük olanı enberi civarında, küçük olanı da enöte civarında iki parlamanın olduğu göze çarpmaktadır (Marshall & Ricketts 1980; in't Zand vd. 1998).

Kaynak SAX J 2103.5+4545 ve SWIFT J1626.6-5156 kaynaklarının aksine uzun dönemde yavaşlayan bir kaynaktır (Şahiner vd. 2012). Yine de kaynağın belli dönemlerde hızlandığı da gözlenmektedir. Hızlanma ve yavaşlanma oranlarıyla X-ışını akısı arasında belirgin bir ilinti görülmemesi dikkat çekicidir.

4U 1907+09 kaynağının X-ışını ışık eğrisinde görülen kısa dönemli çukur yapıları da Şahiner vd. (2012) tarafından detaylı çalışılmıştır. Çukur yapıların varlığı homojen olmayan eş yalız rüzgarından kütle aktarımı olduğuna dair bir işaret olarak düşünülebilir. Kaynağın çukur yapıları kısa dönemli pervane fazına geçiş sebebiyle de meydana geliyor olabilir.



Şekil 3. (sol) SAX J2103.5+4545 kaynağının frekans türevi ve X-ışını akısı zaman serileri. (sağ) Kaynağın frekans türevi ve X-ışını akısı arasındaki güçlü ilişti (Baykal vd. 2007).



Şekil 4. (sol) SWIFT J1626.6-5156 kaynağının frekans zaman serisi. (sağ) Kaynağın frekans türevi ve X-ışını akısı arasındaki güçlü ilişti (İçdem vd. 2011).

#### 4 Tartışma

KAYXA'ların fiziksel yapısını anlamak ve çevrelerindeki fiziksel süreçleri kavrayabilmek için zamanlama analizi önemlidir. Zamanlama analizi sayesinde kaynağın diskten mi yoksa rüzgardan mı kütle aktarımı yaptığı, yığılma diskinin ve/veya eş yıldızın rüzgarının nasıl bir yapıda olduğu, kütle aktarımının yörünge fazına bağımlılığı ve kaynağın manyetik alanının şiddetinin ne kadar olduğu gibi pek çok soruya yanıt bulmamız mümkün olabilir.

Zamanlama analizi teknikleri, eğer üst düzeyde ve ses getirebilecek işler yapılmak isteniyorsa istatistik ve bilgisayar programlama gibi bilgi ve beceriler gerektirir. Ancak unutulmamalıdır ki temel fizik ve astronomi bilgisi olmadan sonuçları yorumlamak bir yana neye ve neden bakılacağına karar vermek bile mümkün olamaz.

Bu bildiride, zamanlama analizinin temel konularından bahsedildi ve üç örnek kaynaktaki zamanlama analizinin bu temel

konularından yararlanarak neler elde edildiği tartışıldı. Bildiride, tork gürültüsü hesabı ve atım şekli analizi gibi zamanlamayla doğrudan ilişkili diğer konulara değinilmedi. Bunun yanında KAYXA'ları daha da iyi anlayabilmek için gerekli olan enerji tayfı analizleri de bildirinin kapsamı dışındaydı, ancak bu analizler sonucunda elde edilen X-ışını akıları örnek şekillerde (Şekil 3 ve 4) yer aldı.

Yeni nesil X-ışını uydusu teleskopları ve yeni keşfedilecek kaynaklarla bu alanda gelecekte de büyük keşiflerin yapılacağı ve KAYXA'larının doğasını anlama yolunda daha büyük adımların atılacağına öngörebiliriz. X-ışını astronomisinin bu ilgi çekici kaynakları daha uzun yıllar astronomlara yenilikler sunmaya devam edeceklerdir.

#### Teşekkür

Yazar, toplantı organizasyonunda emeği geçen başta Doç. Dr. Sınan Kaan Yerli olmak üzere herkese teşekkür eder. Bu çalışma,

TÜBİTAK tarafından TBAG 109T748 and MFAG 114F345 numaralı projeler aracılığıyla desteklenmiştir. Bu projelerin yürütücüsü Prof. Dr. Altan Baykal ve projelerde yer alan tüm bursiyer arkadaşlarıma da meydana getirdikleri ve sürdürmeye devam ettikleri verimli bilimsel atmosfer için teşekkürlerimi sunarım.

#### **Kaynaklar**

- Baykal, A., Stark, M., Swank, J. 2000, ApJL, 544, 129  
Baykal, A., Stark, M., Swank, J. 2002, ApJ, 569, 903  
Baykal, A., İnam, S.Ç., Stark, M.J. vd. 2007, MNRAS, 374, 1108  
Baykal, A., Göğüş, E., İnam, S.Ç. 2010, ApJ, 711, 1306  
Corbet, R.H.D. 1986, MNRAS, 220, 1047  
Corbet, R.H.D., Coe, M.J., McGowan, K.E. vd. 2009, IAUS, 256, 361  
Deeter, J.E., Boynton, P.E., Pravdo, S.H. 1981, ApJ, 247, 1003  
Drave, S.P., Bird, A.J., Townsend L.J. vd. 2012, A& A, 539, 21  
Ghosh, P., Lamb, F.K. 1979, ApJ, 234, 296  
Giacconi, R., Gursky, H., Kellogg, E., Schreier, E., & Tananbaum, H. 1971a, ApJL, 167, 67  
Giacconi, R., Kellogg, E., Gorenstein, P., Gursky, H., Tananbaum, H. 1971b, ApJL, 165, 27  
Grimm, H., Gilfanov, M., Sunyaev R. 2003, ChJAS, 3, 257  
Hulleman, F., in't Zand, J.J.M., Heise J. 1998, ApJL, 337, 25  
İçdem, B., İnam, S.Ç., Baykal, A. 2011, MNRAS, 415, 1523  
İnam, S.Ç., Baykal, A., Swank, J., Stark, M.J. 2004, ApJ, 616, 463  
In't Zand, J.J.M., Baykal, A., Strohmayer, T.E. 1998, ApJ, 496, 386  
Makishima, K., Mihara, T., Nagase, F., Tanaka, Y. 1999, ApJ, 525, 978  
Marshall, N., Ricketts, M.J. 1980, MNRAS, 193, 7  
Palmer, D., Barthelmy, S., Cummings, J. vd. 2005, Astron. Telegram, 678  
Paul, B., Kitamoto, S. 2002, J. Astrophys. Astr., 23, 33  
Şahiner, Ş., İnam, S.Ç., Baykal, A. 2012, MNRAS, 421, 2079

#### **Erişim:**

O44-1615: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A](#).