TÜBİTAK

Genç Nötron Yıldızı Sistemlerinin Fiziksel Özellikleri ve Evrim İlişkileri

Program Kodu: 1001

Proje No: 113T166

Proje Yürütücüsü:
Doç.Dr. Ünal Ertan

Araştırmacılar:
Doç.Dr. M. Hakan Erkut
Prof. Dr. M. Ali Alpar

Bursiyerler:
Onur Benli
Onur Çatmabacak
Abdullah Güneydaş

Kasım 2016
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Bu projede genç nötron yıldızı sistemlerinden sönük izole nötron yıldızlarının (XDIN), anormal X-ışını kaynaklarının (AXP) ve gama ışını tekrarlayıcılarının (SGR) kaynak bazında uzun süreli evrimleri incelenmiştir. Tipik bir SGR kaynağının (SGR 0501+4516) uzun süreli dönme ve X-ışını ışıma evrimiyle birlikte kızılötesi tayfı ve kısa süreli X-ışını parlaması modellenmiştir. AXP ve SGR kaynaklarının karakteristik yüksek enerji tayfları üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bunlara ek olarak, bu genç nötron yıldızı sistemlerinin kütle aktarım ve perva fazları arası geçişlerini belirleyen kritik koşuların fiziği analitik olarak çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları çift yıldız sistemlerinde ince diskten kütle aktaran nötron yıldızlarına ve diğer manyetik yıldızlara genelleştirilebilir. Bu çalışmalarımız dört ayrı makale olarak uluslararası dergilerde yayınlanmış, aktarım-pervane geçişiyle ilgili çalışmamız ise tamamlanmış, şu anda hakem incelemesi aşamasındadır. Proje çalışmalarımızın bir bölümü üzerine araştırmalar bir bursiyer öğrencimiz doktora tezini başarıyla tamamlayıp mezun olmuştur. Çalışmalarımızda elde ettiğimiz sonuçlar, daha kapsamlı yeni proje çalışmalarımız için önemli bir katkı sağlayacak niteliktedir. Projemize maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a projede yer alan yönetici ve araştırmacılar olarak teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, projeyle ilgili yardımlarından dolayı Sabancı Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi çalışanlarına ve sağladığı olanaklar için Sabancı Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

TÜBİTAK

İÇİNDEKİLER

Önsöz i

Tablo ve şekiller.....iii

Özet.....iv

Abstract.....v

1. GİRİŞ.....1

2. YÖNTEM

2.1 Nötron Yıldızının Kalıntı Diskle Uzun Süreli Evrimi.....4

2.2 AXP ve SGR'lerin Yüksek Enerji Tayfları…….....6

2.3 Kütle Aktarım ve Pervane Fazı Kritik Geçiş Koşulları……7

3. SONUÇLAR 8

3.1 Sönük İzole Nötron Yıldızlarının (XDIN) Uzun Süreli Evrimi……....8

3.2 AXP ve SGR Kaynaklarının Uzun Süreli Evrimi.....9

3.3 AXP ve SGR Kaynaklarının Yüksek Enerji Tayfları**…….**.....12

3.4 PSR J1846-0258'in Uzun Süreli Evrimi ve Yüksek Enerji Tayfı……..13

3.5 SGR 0501+4516'nın Uzun Süreli Evrimi, X-ışını Parlama Fazı ve Kızılötesi tayfı.....15

3.6 Kütle Aktarım ve Pervane Fazı Kritik Geçiş Koşulları …….16

Proje Çıktıları…….21

Atıflar……..23

TABLO VE ŞEKİLLER

Tablo 1. XDIN kaynaklarının özelliklerini üretebilen model parametreleri.....10

Tablo 2. Özellikleri iyi bilinen AXP/SGR kaynağı için model parametreleri……11

Şekil 1. XDIN kaynağının evrimini temsil edebilecek örnek model eğrileri.....10

Şekil 2. AXP ve SGR grubu yıldızların uzun süreli evrimlerini temsil edebilecek örnek model eğrileri ……...11

Şekil 3. AXPve SGR kaynakları için yükssek enerji model tayfı.....13

Şekil 4. PSR J1846-0258'in periyot , periyot türevi ve X-ışını ışıması evrimini temsil edebilecek örnek model eğrileri .....,.....16

Şekil 5. PSR J1846-0258 kaynağının P - $\dot{P}$ diyagramında evrimi.....17

Şekil 6. SGR 0501+4516 kaynağının uzun süreli evrimini temsil edebilecek örnek model eğrileri 19

Şekil 7. SGR 0501+4516 kaynağının optik ve kızılötesi tayfı.....20

Şekil 8. SGR 0501+4516 kaynağının X-ışını parlama ışık eğrisi.....20

ÖZET

Bu projede gerçekleştirilen detaylı analizlerle: (1) sönük izole nötron yıldızlarına (XDIN) kaynak bazında çalışarak, gözlenen dönme ve X-ışını ışıma özelliklerine, etraflarında bir yayılma diskiyle ve yıldız yüzeyinde 10^{11} – 10^{12} G şiddetinde manyetik dipol alanla evrimleşen nötron yıldızlarının eş zamanlı olarak ulaşabileceğini gösterdik. Buna izin veren ilk koşul aralıklarını belirledik. (2) XDIN kaynaklarına uyguladığımız uzun evrim modelini tutarlı kalarak, aynı temel disk parametreleriyle, tek tek anormal X-ışını kaynaklarına (AXP) ve gama ışını tekrarlayıcılarına da (SGR) uyguladık. Bu kaynakların özelliklerinin de aynı uzun evrim modeli içinde açıklanabileceğini gösterdik. XDIN ve AXP/SGR popülasyonlarının izin verilen ilk koşullarındaki farklılıkları araştırdık. AXP/SGR kaynaklarının manyetik dipol alanlarının (10^{12} – 10^{13} G) sistematik olarak XDIN manyetik dipol alanlarından daha güçlü olması gerektiği sonucuna ulaştık. (3) Tipik bir gama ışını tekrarlayıcısı olan SGR 0501+4516 kaynağının uzun evrimini, gözlenen kısa süreli X-ışını parlama ışık eğrisini ve optik-kızılötesi tayfını birlikte tutarlı olarak açıkladık. (4) AXP ve SGR kaynaklarının tipik yüksek enerji tayfının düşük X-ışını ışıma şiddetine sahip nötron yıldızlarının kütle aktarım kolonunda üretilebileceğini gösterdik. (5) Yayılma diskleriyle evrimleşen genç nötron yıldızlarının kütle aktarımı fazından pervane fazına geçişleri için gereken kritik şartları analitik hesaplamalarla inceledik. Pervane fazında iç disk yarıçapını ve faz geçişine denk gelen kritik kütle aktarım oranını belirledik. Bu sonuçlar geometrik olarak ince aktarım disklerinden kütle aktarımı yapan diğer manyetik sistemlere de genelleştirilebilir.

ABSTRACT

Through detailed analyses, in this project: (1) we have shown that the long-term X-ray luminosity and the rotational properties of dim isolated neutron stars (XDIN) can be achieved by the neutron stars evolving with fallback disks and surface magnetic dipole fields of 10^{11} – 10^{12} G. We applied the same model as used for XDINs to AXPs and SGRs with the same basic disk parameters. We have shown that the properties of AXPs and SGRs can also be explained in the frame of the same model. We have investigated the differences in the allowed initial conditions between AXP/SGR and XDIN sources. We have concluded that the dipole fields of AXP/SGRs are stronger (10^{12} – 10^{13} G) than those of XDINs. (3) We have explained, through detailed calculations, the long-term evolution, optical-infrared spectrum and the X-ray outburst light curve of a typical soft gamma repeater, SGR 0501+4516. (4) We have shown that characteristic high-energy spectra of AXPs and SGRs can be produced in the accretion columns of neutron stars with relatively low X-ray luminosities. (5) With analytical calculations, we have determined the critical condition for the transition between the mass accretion and the propeller phases of the young neutron stars evolving with fallback disks. We have determined the inner disk radius in the propeller phase and the critical accretion rate for the accretion-propeller transition. These results can be extended to other magnetized systems accreting from geometrically thin accretion disks.

1. GİRİŞ

Nötron yıldızları yüksek kütleli yıldızların evrimleri sonunda, yakıtlarının bitmesi nedeniyle çökmeleri sonucunda, bir süpernova patlaması eşliğinde oluşan ölü yıldızlardır. Bu yıldızlar evrendeki en yoğun cisimlerdir. Süpernova patlamasıyla normal yıldızın sahip olduğu kütlenin büyük bölümü uzaya atılırken, merkezdeki çökme sonucunda 10 km yarıçapında yaklaşık bir güneş kütlesine sahip ölü bir yıldız meydana gelir. Çökme sırasında açısal momentum ve yüzeyden geçen manyetik akı korunur. Bunun sonucunda dönme ekseni etrafında saniyede birkaç yüz kere dönebilen, yüzeydeki dipol alan şiddeti 10^{12} G mertebesinde bir ölü yıldız doğar. Bu yıldızların, gözlemlerinden elde edilen kütle değerlerine bakıldığında 1.4 güneş kütlesi etrafında dar bir aralıkta kümelendikleri görülmektedir. Bu kütleyi yerçekimine karşı dengeleyen basınç nötron dejenere basıncıdır. Bu basınçla çökmesi engellenebilecek en büyük kütlenin 3 Güneş kütlesinin biraz altında olduğu tahmin edilmektedir. Bunun üzerindeki kütlenin çökmesi nötron dejenere basıncıyla da engellenemez ve bir kara delik oluşması beklenir.

Bu şekilde oluşmuş nötron yıldızlarının üyesi olduğu birçok çift yıldız sistemi gözlenmiştir. Bu sistemler eş normal yıldızın kütlesine göre büyük kütleli çift yıldız sistemleri ve küçük kütleli çift yıldız sistemleri olarak adlandırılır. Bu çift yıldız sistemlerinde kütle aktaran nötron yıldızları hemen bütün dalga boylarında, özellikle X-ışınlarında çok parlak cisimler olarak gözlenmektedir. Eş yıldızların tipine, yörünge özelliklerine, eş yıldızdan aktarılan madde miktarına ve nötron yıldızının sahip olduğu manyetik dipol alan şiddetine bağlı olarak, bu sistemler birbirinden çok farklı özellikler gösterebilirler. Bir kısmı sürekli parlak X ışını kaynakları olarak gözlenirken, daha büyük kısmı uzun yıllar düşük ışıma gücü seviyelerinde (durgun faz) kalıp, ani X ışını ve optik parlamalar gösterirler. Dönme periyotları, manyetik alan şiddetleri ve kütle aktarım oranlarına bağlı olarak bazılarının dönme hızı artmakta bazılarının ise azalmaktadır. Bu farklılıkların çoğunun nedenleri yukarıda sayılan sistem özelliklerinin farklılıklarıyla anlaşılabilmektedir. Çift yıldız sistemlerinde olmayan tek ve genç nötron yıldızlarında durum farklıdır. Benzer kütle ve dipol alan özelliklerine sahip bu sistemlerin evrimlerini etkileyebilecek sınırlı fiziksel parametrelerle, özellikle genç yaşlarında birbirlerine benzer özellikler sergilemeleri beklenebilir. Fakat, son 20 - 30 yıl içinde yapılan gözlemler, çok ilginç bir şekilde, birbirinden çok farklı karakteristik özelliklere sahip genç nötron yıldızı popülasyonları ortaya çıkarmıştır.

Bu genç ve tek nötron yıldızı popülasyonları Anormal X-ışını kaynakları (AXP), gama ışını tekrarlayıcıları (SGR), sönük X-ışını kaynakları (XDIN), merkezi yoğun cisimler (CCO),

yüksek manyetik alanlı pulsarlar (HBP) olarak bilinen radyo pulsarları ve dönen geçici radyo kaynaklarıdır (RRAT). Bunlar içinde en yaygın olanları XDIN kaynakları, en ilginç ve değişik özellikler sergileyenleri ise, isimlerinde de anlaşıldığı gibi AXP ve SGR kaynaklarıdır. Projemizde XDIN, AXP ve SGR kaynaklarına ek olarak bir HBP kaynağı üzerine çalışmalar gerçekleştirdik. Çalışmalarımızın temeli, Alpar (2001) çalışmasında önerildiği gibi, bu farklı sınıfların özelliklerinin ilk koşullarındaki dipol manyetik alan ve ilk periyotla birlikte, disk özelliklerindeki farklılıklarla açılanabileceği fikrine dayanmaktadır.

Modeller açısından bu kaynakların genel özelliklerinin üretilebilmesi yanında, toplam X-ışını ışıma gücü (L_x), dönme periyodu (P), periyot türevi (dP/dt) ve gözlenmiş ise frenleme indeksi (n) değerinin uzun dönemli evrim sonucunda eş zamanlı olarak üretebilmesi beklenir. Bu sistemlerin açıklanması için önerilen modellerde iki faklı yaklaşım vardır: (1) Bu kaynaklar boşlukta manyetik dipol torklarıyla yavaşlamakta, bu sırada iç soğuması ve manyetik alan bozunumunun katkısıyla X-ışını ışıma gücü üretilmektedir. (2) Bu yıldızlar çevrelerinde süpernova patlaması sonrası kalan maddenin oluşturduğu diskle evrimleşmekte, dönme ve ışıma evrimi bu diskle etkileşimle belirlenmektedir. İlk yaklaşım için, AXP ve SGR kaynaklarında gözlenen kısa süreli ve Eddington seviyesi üzerine çıkan sert X-ışını parlamalarının ancak yüksek manyetik manyetik alanla açıklanabileceği fikri bir destekleyici özellik olarak alınmıştır. İkinci yaklaşım ani parlamaları açıklamak için yüksek manyetik alanların olması gerektiği fikrine karşı değildir, ancak bu alanların dipol bileşende olmasının gerekli olmadığı, küçük ölçekli yüzeye yakın çok kutuplu alanların da parlamaları açıklayabileceğini önerir. Diskin varlığı durumunda iç diskteki madde büyük ölçekli dipol alanla etkileştiği için, küçük ölçekli ve güçlü (magnetar) alanların varlığı kaynakların diskle evrimini etkilemez. Bu farklı iki modelde, aynı kaynağın özellikleri açıklanmaya çalışıldığında, elde edilen dipol manyetik alan şiddetleri arasında iki mertebe veya daha fazla oranda fark olabilmektedir. Bununla birlikte, magnetar bir dipol alanın etrafında kalıntı diskin olduğu hibrit bir model ise gözlemlerle uyumlu sonuçlar üretmemektedir.

Boşlukta dönen bir nötron yıldızı manyetik dipol toklarıyla yavaşlar. Yıldızın kutbu üzerindeki dipol alan şiddeti dipol torku formülünden elde edilen, $B = 3.1 \times 10^{19} (P\, dP/dt)^{1/2}$ G eşitliğiyle, gözlenen periyot ve periyot türevi değerleriyle tahmin edilebilir. AXP ve SGR kaynakları için bu varsayım 10^{14} G seviyesi üzerinde dipol alanlar verir. Yakın zamanda gözlenen, tipik SGR parlamaları gösteren iki kaynağın, SGR 0418+5729 (Rea vd. 2010) ve Swift J1822.3-1606 (Scholz vd. 2012), ölçülen periyot ve periyot türevleri bu kaynakların boşlukta dönüyor olmaları durumunda dahi dipol alanlarının konvansiyonel ($B < 10^{13}$ G) değere sahip olduğunu göstermektedir. Bu gözlemsel sonuçlarla, bu kaynakların keşfine kadar öne

sürülen, SGR parlamaları için magnetar dipol alanlar olması gerektiği fikrinin yanlış olduğu açıkça görülmüştür. Bu yeni keşfedilen kaynaklar literatürde "düşük manyetik alanlı magnetarlar" olarak bilinmektedir.

Bir nötron yıldızının çevresindeki diskle etkileşmesi durumunda, dipol alan şiddeti dipol tork formülünden elde edilemez. Kaynağın içinde bulunduğu evrim fazına (kütle aktarım veya pervane fazı) göre disk yıldız üzerine etki eden disk torku hesaplanmalı, dipol alan değeri bu torka göre tahmin edilmelidir. Daha önce belirttiğimiz gibi, yayılma (kalıntı) diski modelinde (Chatterjee vd. 2000, Alpar 2001) elde edilen dipol alan şiddeti ile magnetar modelinde (Thompson ve Duncan 1995) tahmin edilen alan şiddetleri arasında yine evrim aşamasına bağlı olarak iki mertebe fark olabilmektedir. Kalıntı disk modelinde, normal AXP ve SGR kaynaklarının genel özellikleri yanı sıra düşük manyetik alanlı magnetarların özelliklerinin de açıklanabileceğini göstermiştik (Ertan vd. 2009, Alpar vd. 2011). Bunlara ek olarak, yine yakın zamanda gözlenen anormal frenlenme indeksine (n = 0.9) sahip ve dipol tork varsayımıyla tahmin edilen B değeri 10^{14} G'a yakın olan bir radyo pulsar PSR 1734-3333 keşfedildi. Magnetar modeli içinde bu "yüksek manyetik alanlı radyo pulsarını" ve "düşük manyetik alanlı magnetarları" açıklayabilmek için yeni birtakım varsayımlara ihtiyaç vardır. Diğer taraftan bu varsayımlarda bir tutarlık olmadığı da görülmektedir. Örneğin, PSR 1734-333 kaynağını açıklayabilmek için dipol alan şiddetinin zamanla arttığı varsayımına gerek duyulmakta, diğer taraftan, zayıf magnetarları açıklamak için (örneğin SGR 0418+5729) manyetik alanın hızlı bir şekilde bozunumu gerekmektedir. Bunlarla birlikte, magnetar modelinin farklı nötron sınıflarının özelliklerini kaynak bazında tutarlı (eşzamanlı) olarak üretmesinde zorluklar vardır (Mereghetti 2015, Vigano vd. 2013). Yayılma diski modelinde, nötron yıldızlarının, bu ekstrem sayılan kaynakların özelliklerine evrimlerinin farklı aşamalarında ulaşabileceği, yeni varsayımlara gerek kalmadan, gösterilmiştir (Alpar vd. 2011, Calışkan vd. 2013, Benli vd. 2013).

X-ışını parlama fazları, kısa süreli ışık eğrileri, yüksek enerji tayf analizleri, uzun süreli dönme ve ışıma evrimi birbirini tamamlayıcı ve tutarlı kaldığı sürece birbirlerini destekleyen nitelikte çalışmalardır. Bu projemizde, 3 ana grupta (XDIN, AXP/SGR ve HBP) özellikleri iyi bilinen kaynakların sistematik olarak ve kaynak bazında olası uzun evrim süreçlerini ve bunları üretebilecek ilk koşulları yayılma diski modeli çerçevesinde araştırdık. Bunlara ek olarak, AXP ve SGR'lerin (genel özellikleri için Mereghetti 2008) yüksek enerji bandında tayf özelliklerinin aktarım kolonundaki fiziksel parametrelere (şok sıcaklığı, kütle aktarım oranı optik ve geometrik kalınlık) bağımlılığını araştırdık. Bunları gözlenen ışıma ve dönme özellikleriyle tahmin edilen kolon yapısıyla karşılaştırdık. Sadece X-ışınlarında gözlenen bir

HBP kaynağının yüksek enerji tayfını, atma profillerini ve uzun evrimini birlikte incelediğimiz çalışmanın uzun evrimiyle ilgili simülasyonları tamamladık. Tipik bir SGR sisteminin uzun süreli evrimini, tüksek enerji tayfını ve kısa süreli X-ışını parlama ışık eğrisi üzerine çalışmamızı tamamladık. Son olarak, uzun evrim programında radyo ve aktarım fazı arası geçişleri belirleyen kritik koşulların anlaşılması üzerine yaptığımız analitik çalışmayı tamamladık. Bu çalışmalarda kullandığımız hesaplama yöntemlerini Bölüm 2'de, sonuçlarımızı ise Bölüm 3'de özetlemekteyiz.

2. YÖNTEM

Proje çalışmalarımızda analitik ve sayısal hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Modeller ve yapılan hesaplamalar bu bölümde anlatılmıştır. Modellerle ilgili daha detaylı bilgilerin görülebileceği makaleler rapor ekinde sunulmuştur.

2.1 Nötron Yıldızının Kalıntı Diskle Uzun Süreli Evrimi

Kaynakların uzun evrimini incelemek için geometrik olarak ince bir disk için difüzyon denklemini çözmekteyiz,

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial x} = \frac{3}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r^{1/2}\,\frac{\partial}{\partial r}\left(\nu\,\Sigma\,r^{1/2}\right)\right] \qquad (1)$$

(Frank vd. 2002). Burada, Σ ince diskin yüzey yoğunluğu, *r* diskte yıldızın merkezinden olan radyal uzaklık, $\nu = \alpha\, c_s h$ kinematik viskozite, c_s ses hızı ve h diskin yarı kalınlığıdır. Disk viskoz enerji yitimi ve yıldız yüzeyinden yayılan X-ışınlarıyla ısıtılmaktadır. Bu denklem diskte kütle ve açısal momentumun korunumuyla elde edilir. Diskte kütle sadece iç diskten, kütle aktarım fazında yıldız yüzeyine, pervane fazında ise iç diskten sistem dışına kaçış yoluyla kaybedilir. X-ışını ısıtma akısı

$$\sigma\, {T_{irr}}^4 = C\ \frac{\dot{M}\, c}{4\,\pi\, r^2} \qquad (2)$$

denklemiyle ifade edilebilir (Shakura ve Sunyaev 1973). Bu denklemde, σ Stefan-Boltzmann sabiti, C ısıtma verimliliği parametresi ve $\dot{M}$ yıldız yüzeyine kütle akış oranıdır. İnce diskler için diskteki lokal ısıtma aynı oranda kara cisim ışımasıyla kaybedilir. Bu enerji korunumu

$$\sigma\,({T_{irr}}^4 + {T_{diss}}^4) = \sigma\, T^4 \qquad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Verilen bir zamanda, iç diskte yaklaşık 10^9 cm'ye kadar olan bölgede viskoz ısıtma bu yarıçapın üzerinde ise X-ışını ısıtması baskındır. Çalıştığımız nötron yıldızı sistemlerinde, iç disk yarıçapı da yaklaşık 10^9 cm olduğundan, uzun evrim sırasında çoğunlukla yaklaşık 10^{12} -10^{14} cm yarıçapına kadar aktif olan diskin büyük bölümünde X-ışını ısıtması baskındır. İnce diskin iç disk yarıçapını Alfven yarı çapı

$$r_A = (GM)^{-\frac{1}{7}}\, \dot{M}^{-2/7}\, \mu^{4/7} \qquad (4)$$

olarak almaktayız (Lamb vd. 1973, Davidson ve Ostriker 1973). Burada, μ yıldızın manyetik dipol momenti, G kütle çekim sabiti ve M yıldızın kütlesidir. Yıldız üzerine etkiyen torku bulmak için, manyetik torkların Alfven yarıçapından manyetik alan çizgilerinin Kepler hızlarıyla döndüğü eş dönme yarıçapına (co-rotation radius) kadar olan bölgede integralini almaktayız (detaylar Ertan ve Erkut 2008'de görülebilir). Bu integralden elde edilen toplam yavaşlama torku

$$N \approx\ M\,(GM\,r_c)^{\frac{1}{2}}\,\dot{M}_{in}\,(1 - \omega^2) \qquad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Tork ifadesinde, $\dot{M}_{in}$ iç diske ulaşan kütle akış oranını, r_c eş dönme yarıçapı, $\omega = \Omega/\Omega_{in}$ hızlılık parametresi, Ω yıldızın açısal dönme hızı ve Ω_{in} iç disk yarıçapında Kepler açısal hızıdır. Yavaşlama fazında ($r_A > r_c$), iç disk yarıçapını, Alfven yarıçapının ışık silindiri yarıçapından küçük olması durumunda $r_{in} = r_A$, hesaplanan r_A ışık silindiri yarıçapından büyük bulunduğunda ise $r_{in} = r_{lc}$ almaktayız. Modelde, $r_{in} = r_{lc}$ olduğu durum, yıldız yüzeyine kütle akışının kesildiği pervane fazına denk gelmektedir.

Aktif diskin dinamik dış disk yarıçapı (r_{out}), diskin viskoz olarak pasif olduğu kritik sıcaklığın sıcaklığın (T_p) altına düştüğü yarıçaptır. Önceki çalışmalarımızda, T_p'nin 100 K civarındaki değerleriyle gözlemlerle uyumlu sonuçlar elde etmiştik (Ertan vd. 2009). Azalan X-ışını ışıma gücü ve X-ışını ısıtması nedeniyle r_{out} zamanla küçülmeye başlar. Bu durum, pasifleşen dış

disk bölgelerinden iç diske kütle aktarımını kestiğinden ve zamanla bu pasif bölge içe doğru büyüdüğünden, ilk disk kütlesine ve kritik sıcaklığın değerine de bağlı olarak, belli bir dönemden sonra $\dot{M}_{in}$ seviyesindeki düşüş hızlanır. X-ışını ışıma gücü daha da hızlanarak azalır, r_{out} içeriye daha hızlı ilerlemeye başlar. Bu son evrim sürecinde, kütle aktarımı yapmakta olan kaynaklar Alfven yarıçapının ışık silindiri yarıçapını yakalamasıyla, önce pervane fazına geçerler. Bu fazda, disk torklarının verimliliği azaldığı için, kütle aktarım fazında sabit kalan periyot türevi azalırken, periyottaki artış yavaşlayarak sabit bir değere yakınsar. Kütle aktarım evresinde, çoğu durumda kütle aktarımıyla üretilen X-ışını ışıma gücü yıldızın iç soğumasıyla üretilen ışıma gücüne baskındır. Kütle aktarım ışıma gücü

$$L_x = \frac{GM\dot{M}}{R} \qquad (6)$$

ilişkisiyle hesaplanır. Kütle aktarımına izin verilmeyen koşullarda X-ışını ışımasının kaynağı yıldızın iç soğumasıdır. Toplam ışıma gücüne soğumanın etkisini katmak için, kuramsal olarak hesaplanmış soğuma eğrilerini (Page 2009) kullanmaktayız. Modelde uyguladığımız pervane – kütle aktarım geçiş koşulu basitleştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu konuda detaylı hesaplamalara dayalı sonuçlar olmadığından ve test edilen sistemler için kaynak özellikleriyle uyumlu sonuçlar verdiği için, bu yaklaşımı kullanmaktayız. Proje çalışmalarımızda bu geçiş koşuluyla ilgili analitik çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmanın özeti aşağıda Bölüm 2.3'de sunulmuştur

Modelimizde kullanılan temel disk parametrelerinin (T_p, C, α) bütün sistemlerde benzer olması beklenir. Sonuçların tutarlı olması bakımından bu önemli bir kriterdir. İlk koşulları tanımladığımız yıldız yüzeyinde dipol alan büyüklüğü B_0, disk kütlesi M_d ve ilk periyot P_0 değerleri kaynaktan kaynağa değişebilir. Sistemlerin uzun evrimleri sürecinde farklı popülasyonları ortaya çıkartan temel nedenin de bu ilk koşullardaki farklılıklar olduğunu düşünmekteyiz. Bir kaynak için, öncelikle diskle uzun süreli evrimin kaynak özelliklerini eşzamanlı olarak üretip üretemediğini test edip, sonrasında tekrar edilen simülasyonlarla bu kaynak için izin verilen ilk parametre aralıklarını (M_d, P_0 ve B_0) belirlemekteyiz.

2.2. AXP ve SGR'lerin Yüksek Enerji Tayfları: Kütle Aktarım Kolonunda Tayf Oluşumu

Bu çalışmamızın detayları Kylafis vd. (2014) makalesinde sunulmuştur. Daha önceki çalışmalarımızda, basit yaklaşımlarla, tipik AXP ve SGR yüksek enerji (>10 keV) tayflarının kütle aktarım kolonunda toplu ters Compton saçılması ve kolonda akan maddenin şoklandığı

bölgeden üretilen termal bremsstrahlung ışımasıyla üretilebileceğini ve bu açıklamanın dönme fazına bağlı tayfsal değişimlerle de tutarlı olduğu gösterilmişti (Trümper vd. 2010, Trümper vd. 2013). Bu projedeki çalışmamızda ise, Monte Carlo simülasyonlarıyla kolonda üretilen tayfın AXP ve SGR yüksek enerji tayfını üretebilecek parametre aralıklarını (sıcaklık, optik ve geometrik kalınlık ve kütle aktarım oranı) çalışarak önceki kuramsal çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçlarla karşılaştırdık. Modelde, yumuşak ve sert X-ışınları temel olarak yıldız üzerine aktarım kolonundan akan maddenin kinetik enerjisidir. Kolon tabanında bu enerji ısı enerjisine ve nihai olarak şoklandığı bölgeden ışımaya dönüşür. Çoğunlukla bu kolon tabanında üretilen fotonlar kolon içinde akan maddeyle etkileşir ve ters Compton saçılmasıyla enerjileri artar. Kolon buyunca (z-yönünde) madde optik olarak kalındır. Birkaç çarpışma sonucunda enerjileri artan fotonlar kolonun yan yüzeyinden kaçarlar. Bu fotonların bir bölümü geometriye bağlı olarak doğrudan gözlemciye ulaşırken, bir kısmı kolon çevresindeki yıldız yüzeyini ısıtır. Kolon çevresinde ısıtılan alan kara cisim ışımasıyla yumuşak X-ışınlarını, kolondan doğrudan kaçan fotonlar ise sert X-ışını tayfını üretirler. Bu çalışmanın sonuçları Bölüm 3'te özetlenmiştir.

2.3. Kütle Aktarım ve Pervane Fazı Kritik Geçiş Koşulları

Pervane fazı iç disk yarıçapının manyetik alan tarafından eş dönme yarıçapının dışında kesildiği ve iç diske gelen maddenin sistemden atıldığı dönemdir. Sistemin dönme periyodu, dipol alan şiddeti ve kütle aktarım oranı değerlerine bağlı olarak sürekli veya geçici bir dönem olabilir. Pervane etkisi ilk olarak Illarianov ne Sunyaev (1975) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada iç disk yarıçapı konvansiyonel Alfven yarıçapına yakın olarak tahmin edilmekte ve iç disk yarı çapı eş döneme yarıçapı dışında bulunduğunda sistemin dönmesinin yavaşlama fazına gireceği ve bu evrede iç diske akan maddenin sistemden pervane etkisiyle atılacağı fikri önerilmiştir. Bu çalışmadan sonra, genel olarak yavaşlama fazı aynı zamanda pervane fazı olarak da adlandırılmıştır. Bu süreçte, düşük kütleli X-ışını çift yıldızlarının ve özellikle yakın zamanda gözlenen geçişken milisaniye pulsarlarının pervane fazı geçişlerine denk gelen kütle aktarım oranı ve X-ışını ışıma gücünün klasik modellerden beklenen değerlerden çok büyük farklılık gösterdiği gözlenmiştir (örneğin Papitto vd. 2015). Bu gözlemlerin ve bu konudaki kuramsal çalışmaların, bu projede çalıştığımız uzun evrim modeliyle doğrudan ilişkisi vardır. Bu modelde, sistem yavaşlama fazındayken geniş bir kütle aktarım oranı aralığı için maddenin, an azından bir bölümünün, yıldız yüzeyine aktarılabildiğini varsaymaktayız. Bu varsayım üzerinde çalıştığımız sistemlerin gözlemsel özellikleriyle uyumlu sonuçlar vermekle birlikte klasik modellerde önerilen resimle çelişmektedir. Bu nedenle, ilk prensiplerden yola çıkarak kütle aktarım fazından sürekli bir pervane fazına geçiş için

gereken kritik koşullar üzerine analitik hesaplamalara dayalı bir çalışma başlattık. İlk olarak bir yıldan daha fazla süre önce sunulan bu çalışmanın hakemlerle yazışma süreci çok uzun sürdü. Hakemlerden gelen itirazların haklı olmadığını anlatmak da çok vakit aldı. En sonunda, makalede ayrıntılarıyla ele aldığımız manyetik ısıtma gibi yan etkileri, çalışmayı ilk aşamada iyice basitleştirmek ve asıl fikri berraklaştırmak için, makaleden çıkartıp tekrar gönderdik. Hakem görüşüne sunduğumuz en versiyona yanıtı yaklaşık üç aydır beklemekteyiz. Çok ilginçtir ki, tam bu satırlar yazılırken hakem raporu geldi. Raporda, bazı bölümlerde küçük ekleme ve açıklamalar istenmekte, bunlar yapıldığında makalenin yayına kabul edileceği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar Bölüm 3.6'da özetlenmektedir.

3. SONUÇLAR

3.1 Sönük İzole Nötron Yıldızlarının (XDIN) Uzun Süreli Evrimi

Bilinen yedi XDIN kaynağı vardır. Bu gruptaki nötron yıldızlarının tamamı yaklaşık 400 pc mesafe içinde yer almaktadır (XDIN'lerin genel özellikleri için Haberl 2007). Diğer bir değişle, gözlenmiş sayıları az olmakla birlikte galaksimizde çok sayıda olduğu ve radyo pulsarlarına yakın bir doğum oranına sahip oldukları düşünülmektedir (Popov vd. 2006). Gözlenmiş olan AXP, SGR ve XDIN kaynakları çarpıcı bir şekilde aynı aralıkta periyot değerlerine (2 -12 s) sahiptirler. AXP ve SGR'ler yaş olarak daha gençtir. Doğal olarak XDIN, SGR ve AXP'lerin evrimlerinin farklı aşamalarında aynı grupta kaynaklar oldukları düşünülebilir. Ancak, gözlenmiş olan AXP ve SGR sayısı istatistiksel olarak XDIN yaşlarını açıklamak için yeterli değil, gerekli sayıdan yaklaşık 10 kat daha düşüktür. XDIN kaynaklarının dipol tork varsayımıyla tahmin edilen manyetik alan şiddetleri de AXP ve SGR grubu yıldızların alanlarına yakın fakat daha zayıftır (birkaç 10^{13} G). AXP ve SGR'lerin hepsi XDIN özelliklerine mi evrimleşiyor, genç XDIN kaynaklarını, bu kadar güçlü alanları varsa, neden radyo pulsarı özelliği göstermiyorlar gibi sorular yanıt beklemektedir. Bu bilinmeyenlerin anlaşılması için, kaynakların ilk koşulları arasındaki farklılıkların anlaşılması önemlidir.

Yayılma modeli çerçevesinde bu soruya yanıt bulmak veya en azından bazı ipuçları elde edebilmek için bu projemiz kapsamında detaylı bir çalışmaya giriştik. İlk olarak yedi XDIN kaynağından X-ışını ışıma gücü, periyot ve periyot türevi bilinen altı yıldızı kaynak bazında, tek tek çalışmaya karar verdik. Geliştirmiş olduğumuz, Bölüm 2.1'de anlatılan hesaplama yöntemlerini içeren uzun evrim kodunu kullanarak, bu modelin kaynak özelliklerini üretmede yeterli olup olmadığını araştırdık. Bütün kaynaklar için olumlu sonuçlar elde edince, her bir

kaynak için periyot, periyot türevi ve X-ışını ışıma gücünü aynı anda üretebilecek dipol alan şiddeti, disk kütlesi ve ilk periyot aralıklarını belirlemeye çalıştık. Bu kaynakların özellikleriyle tutarlı, örnek model eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Elde ettiğimiz kaynak özelliklerini üretebilecek dipol alan ve disk kütlesi aralıkları da Tablo 1'de sunulmuştur.

XDIN'ler için sonuçların ilk koşullar arasında yer alan ilk periyoda önemli bir bağımlılığı yoktur. Bulunan sonuçların AXP ve SGR'lerle karşılaştırılması bir sonraki bölümde yapılacaktır. Şekil 1'de görüldüğü gibi gözlenen periyot, periyot türevi ve ışıma gücü her bir kaynak için eş zamanlı olarak elde edilebilmektedir. Sonuçlarımız, çalışılan XDIN kaynaklarının, kütle aktarım fazından geçtiğini, bu fazı bitirdiğini ve şu anda pervane fazında evrimlerine devam ettiklerine işaret etmektedir. Bu çalışmamız MNRAS dergisinde yayınlanmıştır (Ertan vd. 2014). Bu makale rapor ekinde de sunulmuştur (Ek 1).

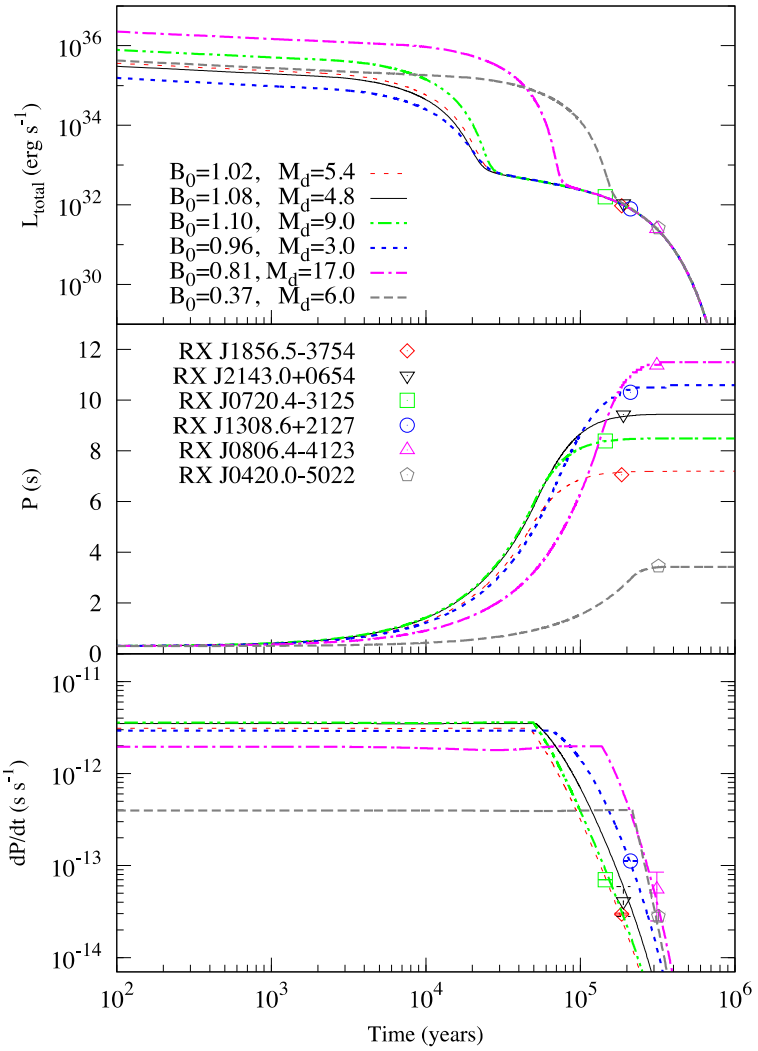
3.2 AXP ve SGR Kaynaklarının Uzun Süreli Evrimi

Farklı nötron yıldızı popülasyonlarının ilk koşullarındaki sistematik farklılıkları belirleyebilmek için, karşılaştırılan gruplardaki yıldızları kaynak bazında çalışmak zorunludur. Kaynakların tek tek çalışılması zor olmakla beraber bir yandan belli bir grubu diğerinden ayıran özellikler belirlenir, diğer yandan modelinin tutarlı olduğunu göstermenin bir yoludur. Bunlara ek olarak, daha sonra gerçekleştirilecek kapsamlı bir popülasyon analizi için de önemli bir veri sağlar.
Bu nedenle, XDIN kaynakları için yaptığımız detaylı analizi AXP ve SGR grubunda dönme ve ışıma özellikleri iyi bilinen kaynaklar için de yaptık. Şekil 2'de sunulmuş olan model eğrileri kaynakların uzun süreli evrimlerini temsil edebilecek örnek model eğrileridir. Simülasyonlar defalarca tekrar edilerek bulunan ilk koşul aralıkları da Tablo 2'de verilmiştir.

Sonuçlarımız çalışmış olduğumuz AXP ve SGR kaynaklarını kütle aktarım fazında göstermektedir. Kaynakların çoğunun XDIN özelliklerine evrimleşmediği, daha yüksek periyotlara çıkabilecekleri Şekil 2'de görülmektedir. Bununla birlikte, kaynaklar gözlenenlerin üzerinde periyot değerlerine ulaştıklarında, çok yakında olmadıkları sürece gözlem limitlerinin altında kalmaktadırlar.

Hesaplamalarımız XDIN kaynaklarının disk kütlelerine önemli bir kısıt getirmemekte, benzer sonuçlar geniş aralıkta farklı disk kütleleriyle elde edilebilmektedir. Bununla birlikte XDIN, AXP ve SGR kaynaklarının hemen hepsi için manyetik alanlar dar aralıklara kısıtlanmaktadır. Bu iki çalışmanın önemli bir sonucu XDIN ve AXP/SGR grupları arasındaki manyetik alan farklılığıdır. Bütün XDIN'ler yaklaşık 1×10^{12} G altında B değerlerine sahipken,

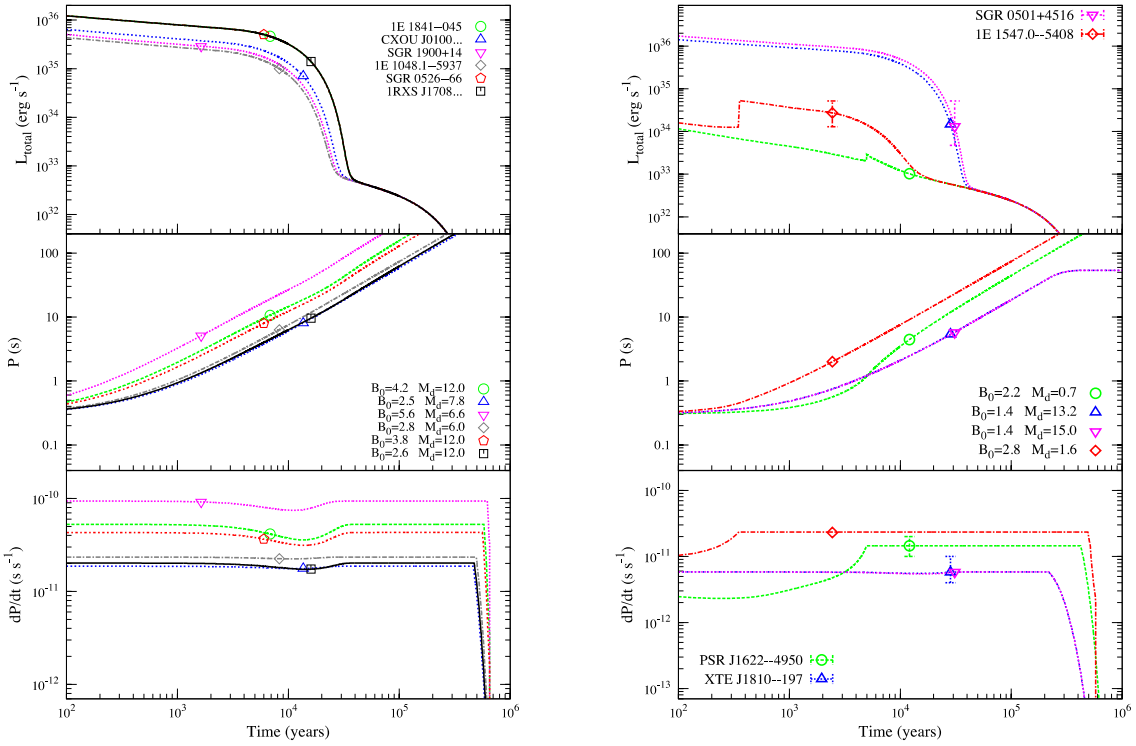
Bütün AXP/SGR'lerin B değerleri bu seviyenin üzerindedir. Bütün kaynaklara bakıldığında en yüksek



Şekil 1: XDIN kaynağının evrimini (Periyot, periyot türevi ve X-ışını ışıma gücü) temsil edebilecek örnek model eğrileri (Ertan vd. 2014). AXP/SGR kaynakları için olduğu gibi (Şekil 2) modelin, XDIN sistemleri için, kaynak özelliklerini eş zamanlı olarak üretebildiği görülmektedir.

	B_0 (10^{12} G)	M_d (10^{-6} $M_\odot$)	T_p (K)	C (10^{-4})	age (10^5 y)
RX J0720.4–3125	1.1–1.3	0.8–12.0	106	1	1.45
RX J1856.5–3754	0.9–1.1	0.8–18.0	100	1	1.85
RX J2143.0+0654	1.0–1.2	1.0–11.6	100	1	1.9
RX J1308.6+2127	0.9–1.0	0.8–18.0	100	1.5	2.1
RX J0806.4–4123	0.8–0.9	0.5–18.0	100	2.3	3.1
RX J0420.0–5022	0.35–0.38	4.8–18.0	82	7	3.2

Tablo 1. XDIN kaynağının özelliklerini üretebilen model parametreleri. (L_x: X-ışını ışıma gücü, P: periyot ve dP/dt: periyot türevi) Bu tabloda görülen temel disk parametrelerinden X-ışını ısıtma verimliliği parametresi (C) AXP/SGR kaynaklarının tamamı için 10^{-4} alınmıştır. Bir diğer temel disk parametresi olan kinematik viskozite parametresi de iki gruptaki tüm kaynaklar için aynıdır (Detaylar için Ertan vd. 2014 ve Benli ve Ertan 2016). Bu parametrelerle elde edilen model eğrileri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 2: AXP ve SGR grubu yıldızların uzun süreli evrimlerini temsil edebilecek örnek model eğrileri. Model parametreleri ve kaynakların özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Yukarıdan aşağıya paneller sırasıyla X-ışını ışıma gücü, periyot ve periyot türevi evrimlerini göstermektedir. Aynı kaynak için gözlenen özellikler aynı sembolle gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, bütün model kaynaklar için gözlenen kaynak özellikleri eş zamanlı olarak üretebilmektedir (Benli ve Ertan 2016).

Name	M_d (10^{-6} $M_\odot$)	B_0 (10^{12} G)	T_p (K)	age (yr)	L_x (10^{33} erg s^{-1})	P (s)	$\dot{P}$ (10^{-13} s s^{-1})
SGR 0526–66	12.0	3.8	100	6×10^3	500	8	380
XTE J1810–197	6.0–24.0	1.2–1.8	100	2–4 $\times 10^4$	16	5.5	40–100
1E 1841–045	12.0	4.2	100	7×10^3	$\sim$ 500	11.8	410
1E 1048.1–5937	6.0	2.8	100	8×10^3	100	6.5	225
PSR J1622–4950	0.7–1.2	1.8–2.2	100	$\sim 1 \times 10^4$	0.9	4.3	100–200
SGR 1900+14	6.6	5.6	100	1.6×10^3	300	5.2	920
SGR 0501+4516	12.0–18.0	1.4	100	3×10^4	4.7–52	5.76	58
CXOU J0100...	7.8	2.5	100	1.3×10^4	65	8	190
1RXS J1708...	12.0	2.6	100	1.4×10^4	150	11	190
1E 1547.0-5408	1.0-2.1	4.0	100	2×10^3	13–52	2	230
4U 0142+61	47.5–570.0	2.4–2.6	54	$\sim$ 0.3–2 $\times 10^5$	460	8.7	20
1E 2259+586	28.5–570.0	1.2	30	$\sim$ 1–4 $\times 10^5$	$\sim$ 200	7	4.8

Tablo 2. Özellikleri iyi bilinen AXP/SGR kaynağı için model parametreleri (M_d: disk kütlesi, B_0 :Yıldızın kutbunda dipol alan şiddeti ve T_p: disk pasifleşme sıcaklığı), kaynakların gözlenen özellikleri (L_x: X-ışını ışıma gücü, P: periyot ve dP/dt: periyot türevi) ve bu özelliklerin ulaşıldığı kaynak yaşları (Benli ve Ertan 2016).

B değeri 10^{13} G seviyesinin altındadır. Kaynak bazında bakıldığında, B değerleri magnetar modelinde beklenen değerlerin çok altında kalmaktadır.

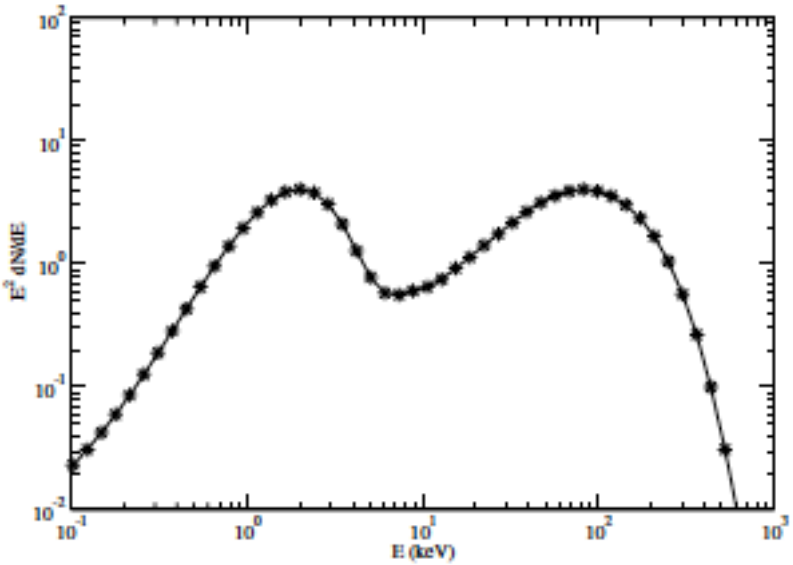
İlk koşullara ek olarak modelde kullanılan parametreler Tablo 1 ve 2'de verilen temel disk parametreleridir (viskozite parametresi, disk pasifleşme sıcaklığı ve X-ışını ısıtma verimliliği). Bu parametrelerin, model basitleştirmeleri içerisinde bütün kaynaklar için benzer olması beklenir. Bu modelin tutarlılığı açısından önemlidir. Tablolarda bu parametrelerin bütün kaynaklar için, basit model yaklaşımları içinde, benzer olduğu görülmektedir. AXP ve SGR kaynaklarının uzun evrimiyle ve XDIN özellikleriyle karşılaştırdığımız bu çalışmamız MNRAS dergisinde yayınlanmıştır (Benli ve Ertan 2016; ekte sunulmuştur)

3.3 AXP ve SGR Kaynaklarının Yüksek Enerji Tayfları: Kütle Aktarım Kolonunda Tayf Oluşumu

AXP ve SGR kaynaklarının X-ışını tayfları karakteristik bir tayf olup iki bileşenden oluşmaktadır (örneğin Enoto vd. 2010). Bu iki bileşenin de kütle aktarım kolonunda üretebileceğini daha önceki çalışmalarımızda göstermiştik (Trümper vd. 2010; Trümper 2013). Bu çalışmalardan elde edilen sonuçları, bu yeni çalışmalarımızda Monte Carlo simülasyonlarıyla test edip, spektrum özelliklerinin fiziksel parametrelere bağımlılığını inceledik. Bu çalışma proje başlangıcından önce başlamış olmakla birlikte ilk hakem değerlendirmesi sonrası yapılan değişiklik ve yeni çalışmalar projemiz kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda Thomson optik kalınlığının ve kütle aktarım kolonunda şok sonucu oluşan sıcaklığın tayf özelliklerinin belirlenmesinde önemli parametreler olduğu sonucuna varmaktayız. Basit analitik yaklaşımlarla elde ettiğimiz kolon yarıçapı ve AXP/SGR gözlemlerinden tahmin edilen kütle aktarım oranlarıyla oluşması beklenen kolon yapısının simülasyonlarda AXP/SGR tayfını üretebilen parametrelerle tutarlı olduğunu gösterdik. Sekil 3'de örnekleme amaçlı olarak, AXP ve SGR'ler için beklediğimiz düşük kütle aktarım oranına ve yaklaşık B = 10^{12} G yüzey dipol alanına sahip yıldızların aktarım kolonunda kütle akışının üretmesi beklenen tipik yüksek enerji tayfı sunulmuştur. Düşük enerji kara cisim bileşkesi gösterim amaçlı olarak eklenmiştir. Çalışmanın ayrıntılarının görülebileceği Kylafis vd. (2014) makalesi ekte sunulmuştur.

3.4 PSR J1846-0258'in Uzun Süreli Evrimi ve Yüksek Enerji Tayfı

PSR J1846-0258 X-ışınlarında atma gösteren bir pulsardır (HBP). Kaynak, radyo bandında tespit edilememiştir. Radyo atması yapmıyor olabilir veya radyo konisinin taradığı katı açı dünya yönünü içermiyor olabilir. Kaynağın ölçülmüş periyot ve periyot türevinden dipol



Şekil 3: AXPve SGR kaynakları için yüksek enerji model tayfı. Düşük ışıma gücüne karşılık gelen kütle aktarım oranlarıyla (AXP ve SGR ışıma güçleri seviyesinde), yüzeyinde yaklaşık B = 10^{12} G dipol alana sahip bir yıldıza kütle akışının üretmesi beklenen karakteristik spektrum. Bu simülasyon için, Thomson optik kalınlığı $\tau = 5$ (kolona dik doğrultuda) , ve bremsstrahlung sıcaklığı kT = 50 keV alınmıştır. Yumuşak X-ışını bileşkesi, örneklemek amaçlı olarak eklenmiştir. Bu ışımanın, yüksek enerji tayfının oluşumunda önemli bir etkisi yoktur (Kylafis vd. 2014).

torkuyla yavaşladığı varsayımıyla tahmin edilen B değeri yaklaşık 5 x 10^{13} G mertebesinde, aynı varsayımla elde edilen AXP/SGR alanlarına yakındır. Bu kaynağın gözlenen yüksek enerji tayfı AXP ve SGR'lerden gözlenen yüksek enerji tayfına benzerlik göstermektedir.

Daha önce AXP, SGR ve XDIN kaynakları için yıldız üzerinde dipol alan şiddetlerinin 10^{13} G değerinin altında bulduğumuzu belirtmiştik. Tüm genç nötron yıldızı sistemleri için bu bizi söyle bir sonuca götürmektedir: (1) Bütün sistemlerin manyetik dipol alanları sürekli bir dağılımla ifade edilebiliyorsa (aksini düşünmek için makul fiziksel bir neden

görülmemektedir), dağılımın en kuvvetli alan kuyruğunda olan sistemlerin ancak birkaç 10^{13} G değerine sahip olabilir. (2) Her sistemin etrafında tork üzerinde baskın etkisi olan bir kalıntı disk olması gerekmez (örneğin radyo pulsarların bir kısmı böyle kaynaklar olabilir); disksiz veya az kütleli diski olan sistemlerin de alan değerleri sürekli dağım fonksiyonu içinde kalmalıdır. (3) Bu durumda, dipol torku varsayımıyla bir nötron yıldızının dipol alan şiddeti birkaç 10^{13} G üzerinde bulunuyorsa, o sistemin etrafında bir kalıntı disk olabileceğinden, gerçek alanın bundan çok daha zayıf olabileceğinden şüphelenmeliyiz.

PSR J1846-0258 de böyle bir yıldızdır, üstelik kaynak radyo pulsar özelliği göstermemektedir. Radyo ışımasını kesen yıldız üzerine kütle aktarımı olabilir mi? Öyleyse, sistemin bir kalıntı diski olmalıdır, uzun evrim modelimiz bu kaynak için test edilebilir. Bu nötron yıldızını ilginç hale getiren, aynı zamanda iyi çalışılmış bir yüksek enerji tayfı olmasıdır. Kütle aktarım yapan düşük kütle aktarım oranına sahip nötron yıldızlarının gözlenen tayflarının aktarım kolonunda nasıl üretilebileceğini Bölüm 3.3'de anlatmıştık. Bu sistemin gözlenen özellikleri modeller için bir test imkanı sunmaktadır: Yüksek enerji tayfı ve uzun süreli evrimi tutarlı olarak açıklamak mümkün müdür?

Bu yıldızın uzun süreli evrimini, yüksek enerji tayfı ve atma profillerini de modelimiz içinde açıklamak amacıyla tüm proje ekibimiz ve Avrupa'daki enstitülerden araştırmacılar J. Trümper, K. Dennerl (Max Planck Institute) ve N. Kylafis (University of Crete) ile birlikte çalışmalarımız sürmektedir. Kaynağın olası uzun evrim yollarının araştırılmasını büyük ölçüde tamamladık. Bu çalışmalardan, kaynağın şu anda pervane fazında, yani radyo ışıması yapabileceği bir dönemde, olabileceği çözümler elde edemedik. Buradan, kaynaktan radyo ışıması gözlenmemesinin nedeninin uygun olmayan ışıma geometrisi değil, kaynağın üzerine şu anda devem eden kütle aktarımı olduğunu düşünmekteyiz. Gerçekten de, modelimizde, bu pulsarın dönme ve ışıma özellikleri eş zamanlı olarak ancak kütle aktarım evresinde üretilebilmektedir. Örnek model eğrileri Şekil 4'de sunulmuştur. Bu sonuca göre, kaynağın kütle aktarım kolonundan yüksek enerji ışıması üretiliyor olmalıdır.

Kaynak özelliklerinin üretilebileceği B değeri aralığını çok dar ve yaklaşık 1.5 x 10^{12} G civarında bulmaktayız. Bu dipol alan şiddeti, geniş bir aralıktaki farklı disk kütleleriyle (10^{-6} – 10^{-5} $M_{\odot}$) gözlemlerle uyumlu sonuçlar üretebilmektedir. Kaynağın şimdiki özelliklerine ulaşabileceği ilk periyot değerlerini de 150 - 200 ms alığında bulmaktayız. İzin verilen aralıklardaki başlangıç koşullarına bağlı olarak, model kaynak yaşları 800 yıl ile 1500 yıl arasında olabilir. Bu yaş aralığı kaynağın ilintili olduğu düşünülen süpernova kalıntısı yaş tahminleriyle de uyumludur.

PSR J1846-0258'in periyot – periyot türevi diyagramında beklenen evrimi de Şekil 5'de verilmiştir. Evrim eğrisinden görüldüğü gibi kaynak AXP ve SGR kaynaklarının bulunduğu sağ üst bölgeye ilerlemektedir. Kaynağın, yaklaşık 10^4 yıl gibi bir süre sonra dipol tork formülünden tahmin edilen manyetik alanı 10^{14} G üzerine çıkacağı ve tipik bir AXP/SGR özelliğine ulaşacağı görülmektedir. Buradan, PSR J1846-0258 ve benzeri kaynakların AXP ve SGR'lerin en azından bir kısmının erken evrim fazlarındaki görüntüsü olduğu sonucuna varabiliriz. Bu kaynağın X-ışını atma profilleri ve faza bağlı tayf özellikleri üzerine yürüttüğümüz çalışmalar devam etmektedir.

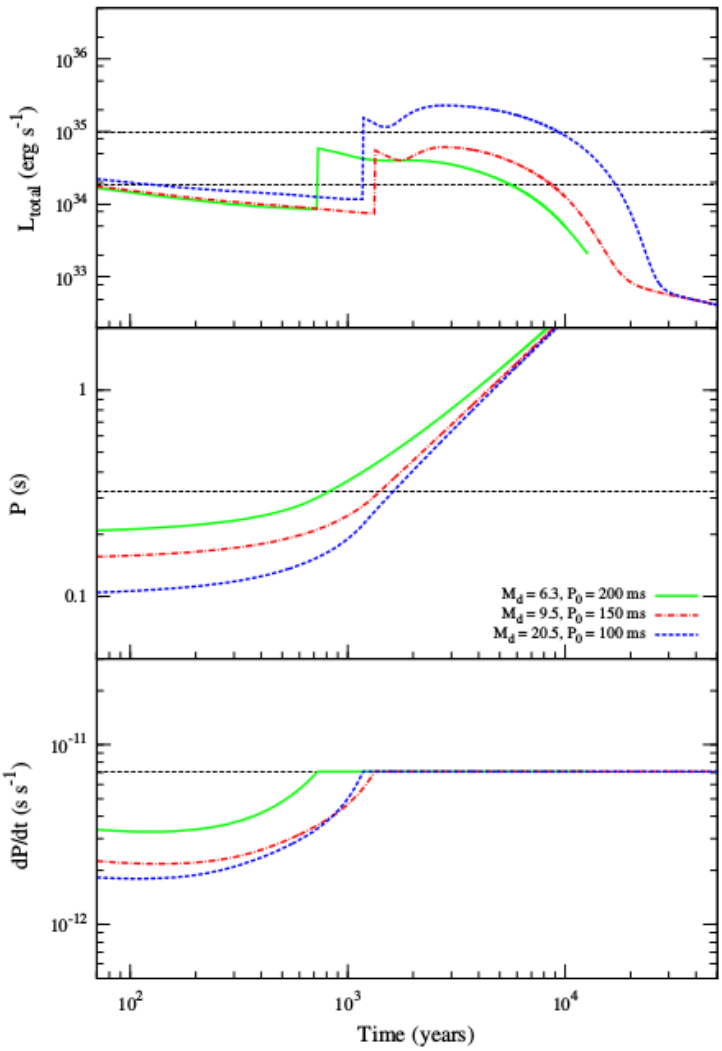
3.5 SGR 0501+4516'nın Uzun Süreli Evrimi, X-ışını Parlama Fazı ve Kızılötesi tayfı

Bu tipik SGR kaynağının uzun evrimini, yakın zamanda gözlenen kısa süreli X-ışını parlamasını ve kızılötesi tayfını birlikte açıklamak için bir çalışma gerçekleştirdik. X-ışını parlamaları, kısa süreli tipik SGR yumuşak gama ışını parlamalarını takip eden dönemde ortaya çıkmaktadır. İniş fazları aylar ve yıllar ölçeğinde devam eden X-ışını parlamaları için önerdiğimiz ve daha önce başka kaynaklara da uygulanan açıklama (Ertan ve Alpar 2003; Ertan vd. 2006; Ertan ve Erkut 2008, Çalışkan ve Ertan 2012) şöyle özetlenebilir: Yıldız yüzeyi kaynaklı gama ışını parlamalarının radyasyon basıncı iç diski dışarı doğru iterek en iç diskte bir kütle birikmesine ve yoğunlukların artmasına neden olur. Böyle bir ilk koşulla evrimleşen iç disk çok kısa sürede yıldıza kütle akışının artmasına ve böylece X-ışını ışıma gücünün de artmasına (ışık eğrisinin yükseliş fazı) neden olur. Diskin sonraki viskoz rahatlama sürecinde ise yıldıza kütle akış oranı zamanla azalıp parlama öncesi evredeki değerine yakınsar (ışık eğrisinin iniş fazı). Bu modelde iç diskte geriye itilen kütle birikimini bir Gauss dağılımıyla temsil ederek, yine Bölüm 2'de uzun evrim için anlatıldığı şekilde disk difüzyon denklemini çözmekteyiz. Burada önemli olan nokta, kısa süreli X-ışını parlamasını açıklayan modelin yine uzun evrim sürecinden elde edilen sonuçlarla (disk özellikleriyle) tutarlı olmasıdır. Ayrıca, kaynağın bazı yakın kızılötesi dalga boylarında ışıma özellikleri de bilinmektedir. Bu da, modellere ayrıca bir kısıt daha getirmektedir.

Diskten herhangi bir kızılötesi veya optik enerji bandında yapılan ışıma, bütün yarıçaplarda farklı sıcaklıklarda üretilen kara cisim ışımasının o banda katkısının integrali ile bulunur. Verilen bir yarıçapta kara cisim sıcaklığının hesaplanması Bölüm 2'de anlatılmıştır.

SGR 0501+4516'nın mesafesindeki belirsizlik bizim hesaplamalarımızı da etkilemektedir. Şekil 6'da tahmin edilen maksimum ve minimum mesafelere denk gelen örnek evrim çizgileri

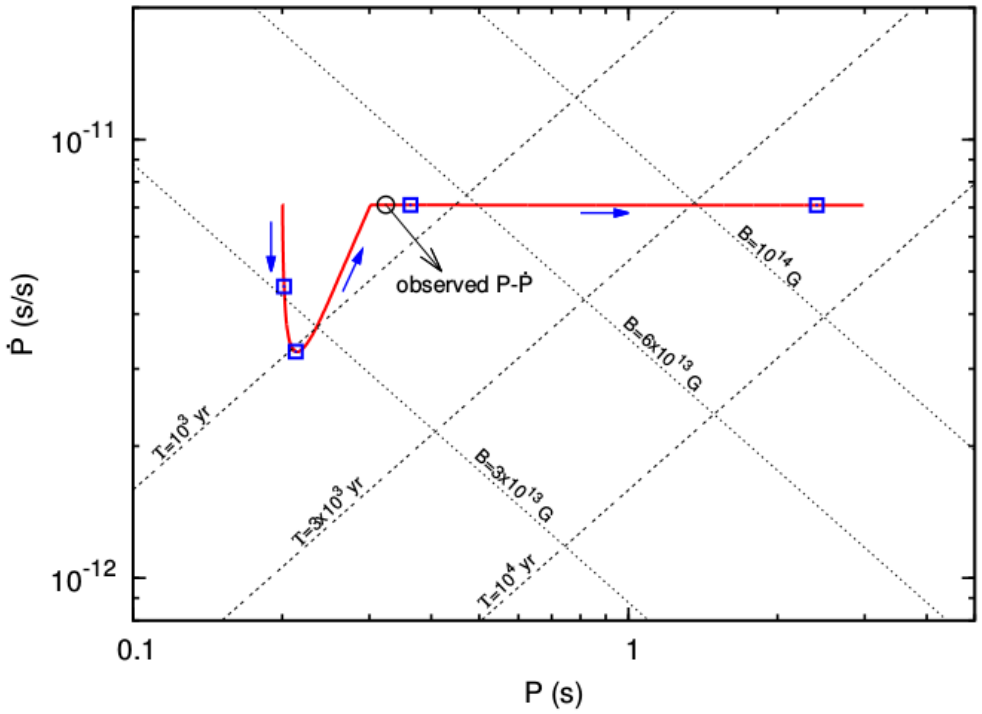
görülmektedir. Kaynağın özellikleri yaklaşık 3 x 10^4 yaşında ve 10^{12} G mertebesinde bir dipol alanla yakalanabilmektedir. Disk modelinden beklenen optik – kızılötesi ışımanın gözlemlerle karşılaştırılması Şekil 7'de sunulmuştur. Aynı kaynağın X-ışını parlama ışık eğrisi ve buna en iyi uyumu sağlayan model eğrisi Şekil 8'de gösterilmiştir. Özetle, bu kaynağın uzun süreli evrimini, optik - kızılötesi ışıma özelliklerini ve X-ışını parlama ışık eğrisini tutarlı olarak açıklayabilmekteyiz. Modellerin daha detaylı açıklamaları ve hesaplamaları MNRAS dergisinde yayınlanmış olan Benli vd. (2015) makalesinde anlatılmıştır (makale rapor ekinde sunulmuştur).



Şekil 4. PSR J1846-0258'in X-ışını ışıması (üst panel), periyot (orta panel) ve periyot türevi (alt panel) evrimini temsil edebilecek örnek model eğrileri. Tüm eğriler için B_0 = 1.5 x 10^{12} G alınmıştır. P_0 ve M_d (10^{-6} $M_\odot$) değerleri orta panelde verilmiştir. Yatay çizgiler kaynağın gözlenen özelliğini göstermektedir. Model eğrilerinin, kaynağın gözlemsel özelliklerine, eş zamanlı olarak $t \sim 10^3$ yıl civarında, kütle aktarım fazının başlamasından birkaç 100 yıl sonra ulaştığı görülmektedir.

3.6 Kütle Aktarım ve Pervane Fazı Kritik Geçiş Koşulları

Bu çalışmada ilk koşullardan başlayarak verilen bir yarıçapta dipol alan çizgilerinin iç diskteki maddeyi ivmelendirebileceği en yüksek hızı tahmin etmeye çalışmaktayız. Sürekli bir pervane fazının oluşabilmesi iç diske gelen maddenin tamamının diskten atılabilmesi ve atış hızının lokal kaçış hızından büyük olması gerekir. Diskteki madde disk–dipol alan etkileşim katmanının hemen dışında Kepler hızıyla dönmektedir. Kaçış hızı ise Kepler hızının sadece 1.4 katıdır. En basit yaklaşımla, dipol alan çizgilerinin maddenin Kepler hızını %40 oranında arttırması



Şekil 5. PSR J1846-0258'in P - $\dot{P}$ diyagramında evrimi. Evrim okların gösterdiği yöndedir. Eğri üzerindeki kare semboller sırası ile 10, 10^2, 10^3 ve 10^4 yıl yaşlarını, daire şeklindeki sembol ise kaynağın şu anki yaşını temsil etmektedir. Bu model eğrisi için kaynağın yaşı 800 yıl olarak bulunmuştur. Sabit manyetik alan (dipol tork modelinden bulunan) ve karakteristik yaşlar çapraz çizgilerle gösterilmiştir. Model kaynak AXP ve SGR bölgesine (sağ üst bölgeye) doğru evrimleşmektedir. Bu model eğrisi M_d = 6.3 x 10^{-6} $M_\odot$ B_0 = 1.5 x 10^{12} G değerleriyle elde edilmiştir.

pervane etkisi için yeterlidir. Bu koşulun da genel olarak iç disk yarıçapı, eş dönme yarıçapının (alan çizgilerinin ve Kepler hızının eşitlendiği yarıçap) dışına çıktığında sağlandığı varsayılır. Basit analitik hesaplamalarla, bu varsayımın doğru olmadığını, maddeyi sistemden atmanın varsayıldığı kadar kolay olmadığı ve pervane fazında iç disk yarıçapının

genel kabul görmüş yarıçaptan en az bir mertebe daha düşük olması gerektiğini göstermekteyiz. Bu sonucun önerdiği pervane fazına geçişe denk gelen kritik kütle aktarım oranı ise klasik yaklaşımla bulunan orandan 3 - 4 mertebe daha düşüktür.

Geleneksel yaklaşımla, pervane fazında iç disk yarıçapı yaklaşık 2 faktörü içinde konvansiyonel (küresel kütle aktarım için bulunan) Alfven yarıçapı,

$$r_{\rm A} \simeq (GM)^{-1/7}\ \mu^{4/7}\ \dot{M}_{\rm s}^{-2/7} \qquad (7)$$

(Davidson, ve Ostriker 1973; Lamb vd. 1973) civarında tahmin edilmektedir. Burada G kütle çekim sabiti, M yıldızın kütlesi, $\dot{M}$ küresel kütle akış oranı ve μ yıldızın manyetik dipol momentidir. Diskteki maddenin manyetik alan çizgileriyle atılmadan önce ne kadar süre etkileşebildiği, bu sırada uygulayabileceği maksimum torku ilk prensiplerden hesaplayıp, bu sonuçtan maddenin kaçış hızının üzerinde hızlara ivmelendirilebileceği maksimum yarıçapı verecek denklemi

$$r_{\rm in} \simeq 3.8\times10^{-2}\ \alpha_{-1}^{2/7}\ (\omega-1)^{-4/7}\ \left(\frac{h}{r}\right)_{-2}^{4/7} r_{\rm A} \qquad (8)$$

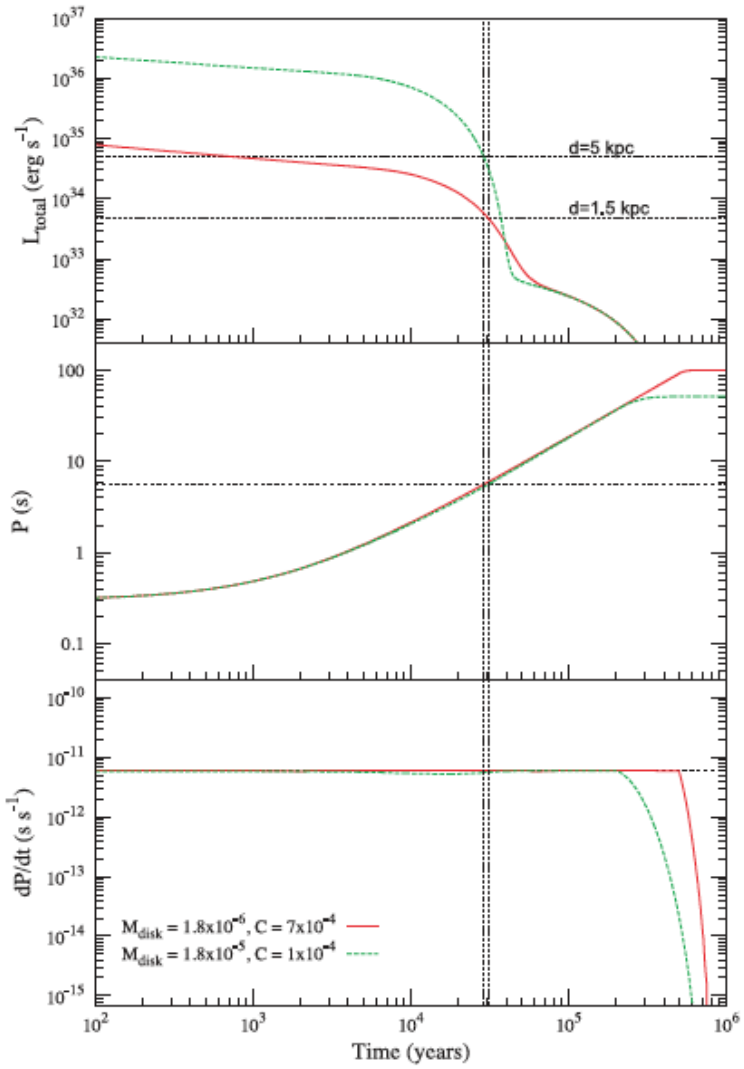
şeklinde elde etmekteyiz. Bu eşitlikte viskozite parametresi α, hızlılık parametresi ω ve disk kalınlığı (h) radyal uzaklık oranı değerleri, tipik ince diskler için 1 değerine yakın olacak şekilde birimlerle ifade edilmiştir. Denklem (8) pervane fazında olabilecek maksimum iç disk yarıçapının dahi Alfven yarıçapından çok daha küçük olması gerektiğini göstermektedir. Bu denklemden kütle aktarım ve pervane fazları arası geçişe denk gelen kritik kütle aktarım oranı için

$$\dot{M}_{\rm crit} \simeq 4\times10^{12}\ gs^{-1}\ \alpha_{-1}\ P_{-3}^{-7/3}\ \mu_{26}^{2}\left(\frac{h}{r}\right)_{-2}^{2} \qquad (9)$$

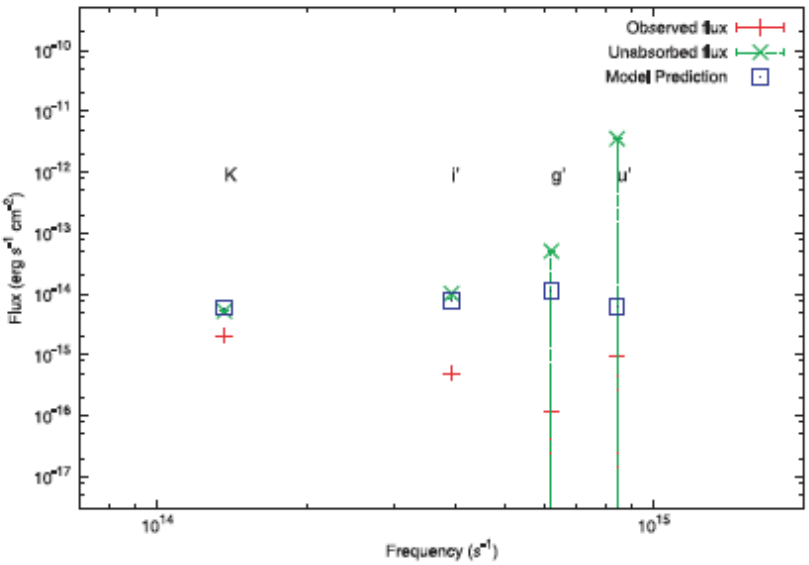
eşitliğini elde etmekteyiz. Geçişken milisaniye pulsarların özellikleriyle karşılaştırabilmek için kaynağın dönme periyodu ms birimiyle, manyetik moment ise 10^{26} G cm^3 cinsinden ifade edilmiştir. Birkaç 10^{12} g s^{-1} civarında kütle aktarım oranı geçişken ms-pulsarların radyo ve X-ışını pulsarı özellikleri arasında geçiş yaptığı orana denk gelmektedir. Diğer bir değişle, bu kaynaklar bu seviyenin biraz üzerinde dahi kütle aktarım yapabilmektedir. Klasik modellere göre bu sistemlerde hangi kütle aktarım oranının altında kütle aktarımı kesilmeli? En muhafazakar yaklaşımlarla (en zayıf alan varsayımlarıyla) dahi birkaç 10^{16} g s^{-1} civarında bulunur ki gözlemlerle tutarlı değildir. Geçişken ms-pulsarları özellikle önemlidir çünkü

gözlemleri çok nettir ve bağımsız gruplar düşük X-ışını ışıma evresinde atmalı ışımanın ancak kütle aktarımıyla açıklanabileceği sonucuna varmıştır.

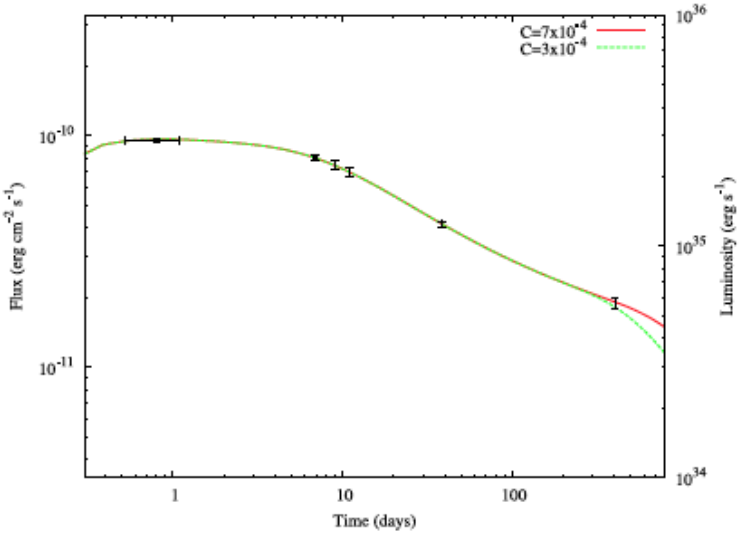
Bu çalışmamızın hakeme görüşüne sunulan son versiyonu için yanıt kısa süre önce elimize ulaştı. Hakem raporundan, bazı küçük ekleme ve açıklamalar eklenerek makalenin yayına kabul edileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. SGR 0501+4516 kaynağının uzun süreli evrimini temsil edebilecek örnek model eğrileri. Periyot türevinin yaklaşık sabit kaldığı evre kütle aktarım evresidir. Kaynağın şu anda kütle aktarım fazında olduğunu tahmin etmekteyiz. İlk panelde paralel çizgiler kaynak mesafesindeki belirsizliğe karşılık gelen ışıma gücü aralığını vermektedir. Diğer yatay çizgiler de kaynağın gözlemsel özelliklerini göstermektedir. Bu model eğrileri B = 1.4 x 10^{12} G değeriyle elde edilmiştir. Disk kütleleri Güneş kütlesi cinsinden en alttaki panelde verilmiştir.



Şekil 7. SGR 0501+4516 kaynağının optik ve kızılötesi tayfı. Kare semboller X-ışınlarıyla ısıtılan bir diskten beklenen akıları göstermektedir. g' ve u' bantlarındaki veri 3 sigma üst limitleri vermektedir. Modelde kullanılan kütle aktarım oranı 1.4 x 10^{14} g s^{-1}, ve disk eğiklik açısı (diskin normaliyle görüş yönü arasındaki açı) yaklaşık 70^{o} dir. (Benli vd. 2015).



Şekil 8. SGR 0501+4516 kaynağının X-ışını parlama ışık eğrisi. Rea vd. (2009) ve Camero vd. (2014) çalışmalarında elde edilmiş XMM- Newton verileri kullanılmıştır. En iyi uyumu gösteren model eğrileri görülmektedir (Benli vd. 2015) .

PROJE ÇIKTILARI

Makaleler

Kylafis, N. D., Trümper, J. E., and Ertan, Ü, 2014, Spectral formation in a radiative shock: application to anomalous X-ray pulsars and soft gamma-ray repeaters, Astronomy & Astrophysics, 562, 62 - 69

Ertan, Ü., Çaliskan, S., Benli, O., and Alpar, M. A, 2014, Long-term evolution of dim isolated neutron stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 444, 1559-1565

Benli, O., Çalışkan, S. and Ertan, Ü., 2015, Long-term evolution, X-ray outburst and optical/infrared emission of SGR 0501+4516, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 447, 2282-2286

Benli, O., and Ertan, Ü., 2016, Long-term evolution of anomalous X-ray pulsars and soft gamma repeaters, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 457, 4114-4122

Ertan, Ü., 2016, The inner disk radius in the propeller phase and accretion-propeller transition of neutron stars, submitted to Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, moderate revision (10.11.2016).

Bildiriler

Nötron Yıldızlarının Kütle Aktarım-Pervane Fazı Geçişi Kritik Koşulları, 20. Ulusal Astronomi Kongresi, 5 – 9 Eylül 2016

The Quiescent X-Ray Emission of Axps and Sgrs -- Powered by Accretion from a Fallback Disk, Trümper, J.; Dennerl, K.; Kylafis, N; Zezas, A.; Ertan, Ü., The Thirteenth Marcel Grossmann Meeting: On Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theories - Proceedings of the MG13 Meeting on General Relativity (in 3 Volumes). Edited by ROSQUIST KJELL ET AL. Published by World Scientific Publishing, March 2015, 2292-2294 (Confernce Proceeding)

Long-term Evolution of Young Neutron Star Populations, Ünal Ertan (invited speaker), collaborators: Onur Benli, M. Ali Alpar, Şirin Çalışkan,

Joachim Trümper, and Nick Kylafis
MIAPP - 24 August – 18 September 2015, Garching
The Munich Institute for Astro- and Particle Physics (MIAPP)

"Low-B Magnetars", "High-B Radio Pulsars" and Dim Isolated Neutron Stars, Ertan, Ü., Çalışkan, S., Alpar, M. A., Trümper, J. E., and Kylafis, N. D., contributed talk, European Week of Astronomy and Space Science (EWASS) - 30 June – 4 July 2014, Geneva, Switzerland.

Doktora Tezi

Onur Benli, "On the Evolution of Young Neutron Star Systems in the Fallback Disk Model", Tez danışmanı: Ünal Ertan, Temmuz 2016'da tamamlanmıştır.

ATIFLAR

Alpar, M. A. 2001. "On Young Neutron Stars as Propellers and Accretors with Conventional Magnetic Fields", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 554, 1245-1254.

Alpar, M. A., Ertan, Ü. ve Çalışkan, Ş, 2011, "SGR 0418+5729—How does a Young Neutron Star Spin Down to a 9 s Period with a Dipole Field Less Than 10^{13} G?", The Astrophysical Journal, 732, L4- L8

Benli, O., ve Ertan, Ü., 2016, Long-term evolution of anomalous X-ray pulsars and soft gamma repeaters, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 457, 4114-4122

Benli, O., Çalışkan, S. ve Ertan, Ü., 2015, Long-term evolution, X-ray outburst and optical/infrared emission of SGR 0501+4516, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 447, 2282-2286

Benli, O, Çalışkan, Ş. Ertan, Ü., Alpar, M. A., Trümper ve J. E., Kylafis, N. D., 2013, X-Ray Enhancement and Long-term Evolution of Swift J1822.3-1606, The Astrophysical Journal, 778, 119 – 126

Chatterjee, P., Hernquist, L. Ve Narayan, R., 2000, “An Accretion Model for Anomalous X-Ray Pulsars”, The Astrophysical Journal, 534, 373 - 379

Çalışkan, Ş., Ertan, Ü., Alpar, M. A., Trümper, J. E. ve Kylafis, N. D., 2013, “On the evolution of the radio pulsar PSR J1734-3333”, MNRAS, 431, 1136 – 1142

Çalışkan, Ş., Ertan, Ü., Alpar, M. A., Trümper, J. E. ve Kylafis, N. D. 2013. “On the evolution of the radio pulsar PSR J1734-3333”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 431(2), 1136-1141.

Çalışkan, Şirin ve Ertan, Ünal, 2012, “On the X-Ray Outbursts of Transient Anomalous X-Ray Pulsars and Soft Gamma-Ray Repeaters”, The Astrophysical Journal, 759, 98 - 109

Davidson, K. ve Ostriker, J. P. 1973. “Neutron-Star Accretion in a Stellar Wind: Model for a Pulsed X-Ray Source”, The Astrophysical Journal, 179, 585-598.

Ertan, Ü., Çalışkan, Ş., Benli, O. ve Alpar, M. A. 2014. “Long-term evolution of dim isolated neutron stars”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 444(2), 1559-1565.

Ertan, Ü., Ekşi, K. Y., Erkut, M. H. ve Alpar M. A. 2009. “On the Evolution of Anomalous X-ray Pulsars and Soft Gamma-ray Repeaters with Fall Back Disks”, The Astrophysical Journal, 702(2), 1309-1320.

Ertan, Ü. ve Erkut, M. H. 2008. “On the X-Ray Light Curve, Pulsed-Radio Emission, and Spin Frequency Evolution of the Transient Anomalous X-Ray Pulsar XTE J1810-197 during Its X-Ray Outburst”, The Astrophysical Journal, 673(2), 1062-1066.

Ertan, Ü., Erkut, M. H., Ekşi, K. Y. ve Alpar, M. A., 2007, “The Anomalous X-Ray Pulsar 4U 0142+61: A Neutron Star with a Gaseous Fallback Disk”, The Astrophysical Journal, 657, 441 – 447

Ertan, Ü. ve, Çalışkan, Ş., 2006, “Optical and Infrared Emission from the Anomalous X-Ray Pulsars and Soft Gamma-Ray Repeaters”, The Astrophysical Journal, 649, L87 – L90

Ertan, Ü. ve Alpar, M. A., 2003, “On the Enhanced X-Ray Emission from SGR 1900+14 after the August 27 Giant Flare”, The Astrophysical Journal, 593, L93 – L96

Frank, J., King, A. R. ve Raine, D., 2002, Accretion Power in Astrophysics (Cambridge: Cambridge University Press)

Illarionov, A. F. ve Sunyaev, R. A. 1975. “Why the Number of Galactic X-ray Stars Is so Small?”, Astronomy & Astrophysics, 39, 185.

Haberl, F., 2007, “The magnificent seven: magnetic fields and surface temperature distributions”, Astrophysics and Space Science, 308, 181-190

Keane, E. F. ve Kramer, M., 2008, “On the birthrates of Galactic neutron stars”, MNRAS, 391, 2009 – 2016

Kylafis, N. D., Trümper, J. E. ve Ertan, Ü, 2014, Spectral formation in a radiative shock: application to anomalous X-ray pulsars and soft gamma-ray repeaters, Astronomy & Astrophysics, 562, 62 – 69

Lamb, F. K., Pethick, C. J. ve Pines, D. 1973, “A Model for Compact X-Ray Sources: Accretion by Rotating Magnetic Stars”, The Astrophysical Journal, 184, 271-290.

Mereghetti, S., 2008, “The strongest cosmic magnets: soft gamma-ray repeaters and anomalous X-ray pulsars”, The Astronomy and Astrophysics Review, 15, .225 – 287

Mereghetti, S., Pons, J. A. ve Melatos, A. 2015. “Magnetars: Properties, Origin and Evolution”, Space Science Reviews, 191(1-4), 315-338.

Page, D., Lattimer, J. M., Prakash, M., ve Steiner, A. W. 2009. “Neutrino Emission from Cooper Pairs and Minimal Cooling of Neutron Stars”, The Astrophysical Journal, 707(2), 1131-1140.

Papitto, A., de Martino, D., Belloni, T. M., vd. 2015. “X-ray coherent pulsations during a sub-luminous accretion disc state of the transitional millisecond pulsar XSS J12270-4859”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449(1), L26-L30.

Rea, N., Esposito, P., Turolla, R. vd., 2010, “A Low-Magnetic-Field Soft Gamma Repeater”, MNRAS, 405, 2206 – 2214

Scholz, P., Ng, C.-Y., Livingstone, M. A., Kaspi, V. M., Cumming, A. ve Archibald, R. F., 2012, “Post-outburst X-Ray Flux and Timing Evolution of Swift J1822.3-1606”, The Astrophysical Journal, 761, 66 - 77

Shakura, N.I. ve Sunyaev, R.A., 1973, “Black holes in binary systems. Observational appearance”, Astronomy and Astrophysics, 24, 337 – 355

Thompson C. ve Duncan, R. C., 1995, “The soft gamma repeaters as very strongly magnetized neutron stars”, MNRAS, 275, 255 – 300

Trümper, j. E., Dennerl, K., Kylafis, D.D., Ertan, Ü. ve Zezas, A. 2013, “An accretion model hor the anomalouus X-ray pulsar 4U 0142+61”, The Astrophysical Journal, 764, 49 - 58

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. ÜNAL ERTAN
Proje No:	113F166
Proje Başlığı:	Genç Nötron Yıldızı Sistemlerinin Fiziksel Özellikleri Ve Evrim İlişkileri
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	MEHMET HAKAN ERKUT, MEHMET ALİ ALPAR
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	SABANCI Ü. MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ F. FİZİK B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/09/2013 - 15/09/2016
Onaylanan Bütçe:	246310.0
Harcanan Bütçe:	192147.8
Öz:	Bu projede gerçekleştirilen detaylı analizlerle: (1) sönük izole nötron yıldızlarına (XDIN) kaynak bazında çalışarak, gözlenen dönme ve X-ışını ışıma özelliklerine, etraflarında bir yayılma diskiyle ve yıldız yüzeyinde 1011 ? 1012 G şiddetinde manyetik dipol alanla evrimleşen nötron yıldızlarının eş zamanlı olarak ulaşabileceğini gösterdik. Buna izin veren ilk koşul aralıklarını belirledik. (2) XDIN kaynaklarına uyguladığımız uzun evrim modelini tutarlı kalarak, aynı temel disk parametreleriyle, tek tek anormal X-ışını kaynaklarına (AXP) ve gama ışını tekrarlayıcılarına da (SGR) uyguladık. Bu kaynakların özelliklerinin de aynı uzun evrim modeli içinde açıklanabileceğini gösterdik. XDIN ve AXP/SGR popülasyonlarının izin verilen ilk koşullarındaki farklılıkları araştırdık. AXP/SGR kaynaklarının manyetik dipol alanlarının (1012 ? 1013 G) sistematik olarak XDIN manyetik dipol alanlarından daha güçlü olması gerektiği sonucuna ulaştık. (3) Tipik bir gama ışını tekrarlayıcısı olan SGR 0501+4516 kaynağının uzun evrimini, gözlenen kısa süreli X-ışını parlama ışık eğrisini ve optik-kızılötesi tayfını birlikte tutarlı olarak açıkladık. (4) AXP ve SGR kaynaklarının tipik yüksek enerji tayfının düşük X-ışını ışıma şiddetine sahip nötron yıldızlarının kütle aktarım kolonunda üretilebileceğini gösterdik. (5) Yayılma diskleriyle evrimleşen genç nötron yıldızlarının kütle aktarımı fazından pervane fazına geçişleri için gereken kritik şartları analitik hesaplamalarla inceledik. Pervane fazında iç disk yarıçapını ve faz geçişine denk gelen kritik kütle aktarım oranını belirledik. Bu sonuçlar geometrik olarak ince aktarım disklerinden kütle aktarımı yapan diğer manyetik sistemlere de genelleştirilebilir.
Anahtar Kelimeler:	Nötron Yıldızı, Manyetik Alan, Kütle Aktarım Diski
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

TÜBİTAK