

## X-ışın Çiftlerinde UV Bölgede Görülen Bazı Korelasyonlar

Sacit ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Osman DEMİRCAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan-ANKARA

<sup>2</sup>Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 17100, ÇANAKKALE

e-mail: ozdemir@astro1.science.ankara.edu.tr

**ÖZET:** UV bölgede gösterdikleri özellikleri araştırmak için üç adet X-ışın çifti (Cyg X-1, Her X-1 ve Sco X-1) seçilmiştir. IUE veri bankasından alınan UV tayflar kullanılarak süreklilik ile çizgi akıları arasında herhangi bir korelasyonun olup olmadığı incelenmiştir. Ele alınan tüm sistemlerde bu iki nicelik arasında doğrusal bir bağıntı olduğu görülmektedir. Bu ise X-ışın çiftlerindeki reposes olayının doğruluğunu göstermektedir. Sco X-1'de görülen lineer ilişkinin, Z-diyagramında bulunduğu yer ile orantılı olduğu doğrulanmıştır (Vrtilek vd. 1991). Bu üç kaynağın "çizgi akısı-ışınım gücü" düzleminde verdikleri eğimlerin karşılaştırılması yapılmıştır. X-ışın reposes olayının etkinlik göstergesi olan bu eğimler, yöringe eğim açısıyla ilişkili görünmemektedir.

### 1. Giriş

X-ışın çift yıldızları (XRBs), yaklaşık 35 yıl önce Yer atmosferi dışından yapılan yüksek enerjii gözlemlerinde ilk defa keşfedilmişlerdir (Giacconi vd. 1962). Bu keşiften sonra yüksek enerji bölgesinde çalışan X-ışın teleskoplarının yöringe yerleştirilmesiyle, XRBs üzerindeki araştırmalar büyük bir ivmeyle artmaya başlamıştır. Fırlatılan ilk X-ışın uydularının konum duyarlılığı düşük olduğundan, yüksek enerji bölgesinde keşfedilen bazı kaynakların optik bölgede karşılıkları bulunamamıştır (aynı sorun günümüzde gama ışın patlaması veren gökcisimlerinde yaşanmaktadır). Zamanla geliştirilen ileri teknoloji X-ışın teleskoplarıyla bu kaynakların kesin yerleri belirlenerek, optik bölgede de detaylı çalışmaları yapılmıştır.

Giacconi (1962)'nin yaptığı keşfe kadar, X-ışın bölgesinde evrenden çok yetersiz akı alınacağı ve hiç bir gökcisminin bu bölgede yeteri kadar parlak olamayacağı düşünülüyordu. Oysa durumun böyle olmadığı ve gökyüzünde çok parlak X-ışın kaynaklarının (Sco X-1, Cyg X-1, Crab vs.) olduğu anlaşıldıktan sonra, bu alanda yapılan çalışmalara ağırlık verilmiş ve X-ışın teleskoplarının yapımı hız kazanmıştır. İlk X-ışın teleskobu 1970'de ABD tarafından yöringe yerleştirilen UHURU olmuştur. Daha sonra fırlatılan X-ışın uyduları arasında OSO-7 (1971), Copernicus (1972), ANS (1974), ARIEL-V (1975), SAS-3 (1975), OSO-8 (1975), HEAO-1 (1977), HEAO-2 (Einstein) (1978), ARIEL-VI (1979), Hakucho (1979), Tenma (1983), EXOSAT (1983), ASTRO-C (1987), ROSAT (1990), EUVE (1992), ASCA (ASTRO-D)

(1993), RXTE (1995), Beppo-SAX (1996), AXAF (Chandra) (1999) sayılabilir. Aynı zamanda kronolojik bir sıralamada olan bu uyduların günümüze doğru geldikçe açılal, zaman ve enerji duyarlılığı da giderek artırılmıştır. Bu teleskopların duyarlı oldukları tayf bölgesi yaklaşık 1 ile 100 keV aralığıdır. AXAF ile X-ışın bölgesinde ulaşılacak enerji duyarlılığı, optik bölgede alınan tayflarla kıyaslanabilecek kalitede olacaktır.

XRBs'nin yüksek enerji bölgesinde yayınladıkları bu büyük enerji ( $L_x \sim 10^{36-39}$  erg s<sup>-1</sup>) farkedildikten sonra, bunların yapılarını anlamaya yönelik çalışmalar da hızlanmıştır. Bu kaynakların, bileşenlerinden biri "nötron yıldızı" (ya da "karadelik") olan çift yıldız sistemleri olduğu özellikle optik bölgede yapılan gözlemlerle anlaşılmıştır. Optik bölgedeki gözlemlerden, yoğun bileşenin kütlesi ve kütle aktarım oranı belirlenebilmektedir. Bu parametreler ise sistemin X-ışın ışınım gücü, tayfsal profili ve zaman değişimine etki ettiği için önemlidir. Sistemin diğer üyesi normal bir yıldızdan oluşan "optik" bileşendir. Optik bileşen Roche şişimini doldurarak veya yıldız rüzgarı yoluyla yoğun bileşene madde aktarır. Akan bu madde, açılal momentumun korunumu gereği doğrudan yoğun bileşenin üzerine düşemez; zamanla etrafında birikerek "birikim diski"ni (accretion disk) oluşturur. Bu sistemlerden yayılan büyük miktardaki X-ışınımının oluşumuna katkıda bulunan süreçler; birikim diski ile nötron yıldızı (ya da karadelik) arasında etkileşen madde ("magnetopause"da ya da doğrudan nötron yıldızının yüzeyinde) ve optik bileşenden birikim diskine çarpan madde

sayılabilir. Optik bileşenin tayf türüne bağlı olarak sahip olduğu kütlesi, X-ışın çift yıldızlarının türünü belirler: Büyük kütleli X-ışın çift yıldızları (HMXBs) ve düşük kütleli X-ışın çift yıldızları (LMXBs).

X-ışın çiftlerinin optik bölgede yapılan gözlemleriyle özellikle, optik bileşene ait bilgiler edinilmektedir. Bu konuda sağlanan en önemli bilgi, optik bileşenin radyal (dikine) hız değişiminden kütlesine ait sınırlamalar getirilebilmesidir. Ayrıca tayf türü ve optik bölgedeki renklerinden, sistemin bulunduğu doğrultudaki yıldızlararası kızarıklık (IR) miktarı da belirlenebilmektedir. X-ışın ya da optik bölgede tutulma gösteren sistemlerde ise ayrıca her bir bileşenin kütle değeri çok duyarlı bir şekilde bulunabilmektedir. Burdan bulunan yoğun bileşene ait kütle değerlerinin bazı X-ışın çiftlerinde büyük değerlere ( $M_x > 2.5M_\odot$ ) ulaştığı görülmüştür ki bu kütle sınırını aşan yoğun bileşenler “kara delik”lerdir. Diğer XRBs’deki yoğun bileşene ait kütle değeri,  $1.4M_\odot$ ’lik Chandrasekhar limiti civarındadır. Optik bölgedeki fotometrik gözlemlerle de XRBs’nin düzenli ya da düzensiz ışık değişimi incelenebilmektedir. Periyodik ışık değişimi (elipsoidal veya tutulmadan kaynaklanan) gösterenlerin, ışık eğrileri analiz edilerek yine sistemin yörünge parametrelerine ilişkin bazı sınırlamalar getirilebilmektedir.

X-ışın bölgesinde yapılan gözlemlerini iki kısımda incelemek mümkündür: “tayfsal analiz” ve “zaman analizi”. X-ışın enerji tayflarına yapılan fitlerle sisteme ait bazı fiziksel parametreler (Hidrojen kolon yoğunluğu, ortamın sıcaklığı, salma ölçeği, X-ışın yayılan bölgenin boyutu vs.) belirlenebilmektedir. Son yıllarda geliştirilen zaman duyarlılığı yüksek uydularla (EXOSAT, RXTE gibi) elde edilen veri ise Fast Fourier Transformundan (FFT) geçirilerek zaman analizi yapılmaktadır. Zaman analiziyle sisteme ait yarıperiyodik salınımlar (QPO) belirlenebilmekte ve ayrıca FFT ile elde edilen kuvvet tayfında (power spectrum) oluşan profiller incelenerek, sistemin yapısı anlaşılmasına çalışılmaktadır. Özellikle RXTE uydusuna (zamandaki duyarlılığı  $10\mu s$  mertebesindedir) ait verilerle, bazı X-ışın çiftlerinde kHz mertebesinde QPO’lar olduğu ve bunların çift pikli yapı gösterebildikleri ortaya çıkarılmıştır (van der Klis vd. 1996).

Yoğun bileşene ait manyetik eksen doğrultusu Yer ile çakışan (“deniz feneri” modeli) XRBs ayrıca pulsar olarak da gözlenebilir. Pulsarın görülebilmesi için; i) manyetik eksenle nötron yıldızının dönme eksenini çakışık olmamalı, ii) yoğun bileşen karadelik olmamalı, iii) nötron yıldızı birikim diski tarafından gölgelenmiş

olmamalı, iv) nötron yıldızının manyetik alan şiddeti  $\sim 10^{12}G$  yöresinde olmalıdır. XRBs’de görülen puls profilleriyle ilgili teorik bir çalışma Leahy (1991) tarafından verilmiştir. Puls periyotlarının Yer’e ulaşma süresinde görülen zaman farkları kullanılarak X-ışın bileşenin kütlesi ve sistemin yörünge döneminde meydana gelen değişimler ortaya çıkarılabilmektedir. Bazı sistemlerde yer alan birikim diskleri çok kalındır. Bu diskin geometrisi ve presesyonu sonucu çok karmaşık X-ışın ve optik modülasyonlar oluşabilir.

Bu çalışmada ele alınan X-ışın çiftlerinden Cyg X-1, Her X-1, Sco X-1’e ait moröte tayfları incelenmiştir. UV çizgi akı ve sürekliliklerinin evre ile değişimleri incelenmiş, aralarında genel bir bağıntı olup olmadığına bakılmıştır.

## 2. Gözlemsel Veriler

Uluslararası Moröte Keşif Uydusu (IUE)’na ait (*IUE Newsletter* ile birlikte yayınlanan mikrofilmlerden oluşan) veritabanı kullanılarak, XRBs’ne ait UV tayf arşivi oluşturulmuştur. Oluşturulan arşiv içinden gözlemi en çok yapılmış, fiziksel özellikleri farklı üç adet aday seçilerek bunlara ait düşük (low) ve yüksek (high) ayırma güçlü tayflar belirlenmiştir. Bu adaylardan ikisi (Her X-1 ve Sco X-1) LMXB, biri de (Cyg X-1) HMXB sınıfında yer almaktadır. Bu kaynaklara ait IUE veritabanından getirilen tayflar, tüm evreleri tarayacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca bu üç sistemden ikisine ait (Her X-1 ve Sco X-1) EUV (Uç Moröte Bölge) teleskobu ile alınmış  $100-750\text{\AA}$  aralığındaki tayflar da EUV veritabanından ([http://www.cea.berkeley.edu/cgi-bin/archive\\_select](http://www.cea.berkeley.edu/cgi-bin/archive_select)) alınmıştır. EUV veritabanında Cyg X-1’e ilişkin tayf bulunamamıştır. Gerek Her X-1’in gerekse Sco X-1’in EUV’de hiç bir tayf çizgisi görülmemektedir. İlgili tayflar sıfır seviyesinde seyreden bir süreklilikten oluşmaktadır.

Belirlenen tayflar NASA’daki IUE veri bankasından elde edilmiştir. Bu işlem yapılırken NASA’daki geçici kullanım izni alınan bir sunucu (server) kullanılmıştır (IP numarası 128.183.172.58). Belirlenen kaynaklara ait image numarasına sahip tayflar, “request@ncf.gsfc.nasa.gov” adresine istekte bulunularak, kullanılan sunucuya indirilmiştir. Sunucu üzerinde IUE tayflarının indirgenmesinde kullanılan IUE\_IDL paket programı çalıştırılarak, düşük/yüksek ayırma güçlü FITS formatlı tayflardan ASCII kodlu tayflar elde edilmiştir. İndirgenen ASCII kodlu tayflar dalga boyu, mutlak akı, kalite numarası, standart sapma (veya sinyal/gürültü oranı) sütunlarından oluşmaktadır. Bu tayflar Internet/FTP yoluyla bölümdeki

bilgisayarlara indirilmiştir. Tayflar analiz edilmeden önce kalite numarasının verildiği sütunlar kontrol edilerek (0=hatasız nokta), tüm hatalı noktalar elimine edilmiştir. Ayrıca İspanya-Villafranca'daki bir başka IUE veri bankasından (<http://iuearc.vilspa.esa.es>) da aynı image numaralı bir kaç adet tayf getirilerek, NASA arşivlerinden alınanlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada aynı tayfların birbiriyle tam çakiştiği görülmüştür.

Alınan tayfların image numaralarının başında bulunan SWP, LWR ya da LWP kısaltması, IUE uydusunun tayfi alırken kullandığı kameranın adını göstermektedir. SWP kısaltması, uydunun kısa dalgaboyu tarafına (1000-2000Å) duyarlı olan kamerasını göstermekte; LWR/LWP kısaltması ise uydunun uzun dalgaboyu tarafına (2000-3200Å) duyarlı olan kameralarını göstermektedir.

## 2.1. Cyg X-1'in UV Tayfları

IUE arşivinden Cyg X-1'e ait 26 adet düşük, 3 adet yüksek ayırma gücünde UV tayfi alınmıştır. IUE tayflarına ait mikrofilm listesinden "yüksek ayırma güçlü" olarak belirlenen SWP01445 nolu tayf daha sonra analiz dışında bırakılmıştır. Çünkü NASA arşivinden istenen bu tayfin açıklama satırlarında "düşük ayırma güçlü" tayf olduğu belirtilmesine rağmen, içerdiği veriler "yüksek ayırma güçlü" tayflara karşılık gelmektedir. Ayrıca aynı numaralı tayf Villafranca'daki veri bankasından getirildiğinde "düşük ayırma güçlü" tayf olarak görünmektedir.

Moröte tayflarda en göze çarpıcı özellik 2200Å yöresindeki derin soğurmanın oluşturduğu çöküntüdür. Düşük ayırma güçlü tayfların (LWR veya LWP kamerasıyla alınmış) 2000-3200Å aralığındaki bölümünde bu derin soğurma özelliğinden başka herhangi bir belirgin çizgi görülmemektedir. Mg h ve k (2800Å) rezonans çizgileri soğurma halinde olup, oldukça zayıftır. Süreklilik seviyesi gerek LWR/LWP gerekse SWP tayflarda, çiftin yörüngesiyle birlikte küçük genlikli sinuzoidal bir değişim (tıpkı optiktekin benzeyen) göstermektedir. Ancak bu değişimde bazı noktalar (muhtemelen X-ışın bölgesinde sistemin gösterdiği değişime bağlı olarak) sapmaktadır.

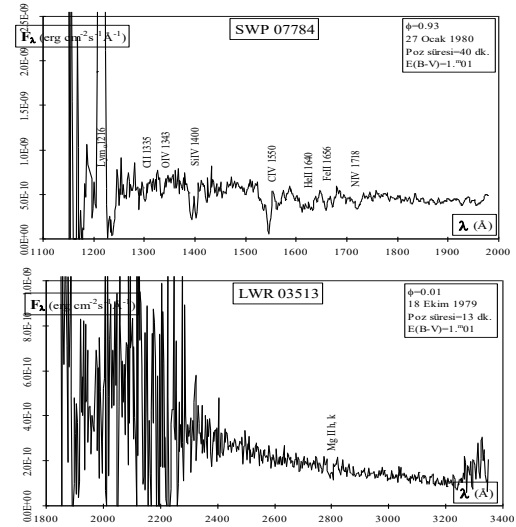
Düşük ayırma güçlü tayflar incelenmeden önce 2200Å'deki yıldızlararası kızarıklık etkisi ortadan kaldırılmıştır. Bu işlem yapılırken Cyg X-1 doğrultusundaki renk artışı  $E(B-V)=1.06$  (literatürde verilen değerlerin bir ortalamasıdır) alınarak ve Seaton (1979)'un UV bölgedeki sönümleme katsayısı için verdiği eğri kullanılarak;

$$\text{Log } f_{\text{düzeltilmiş}}(\lambda) = \text{log } f_{\text{gözlenen}}(\lambda) + 0.4k_{\lambda}E(B-V) \quad (2.1)$$

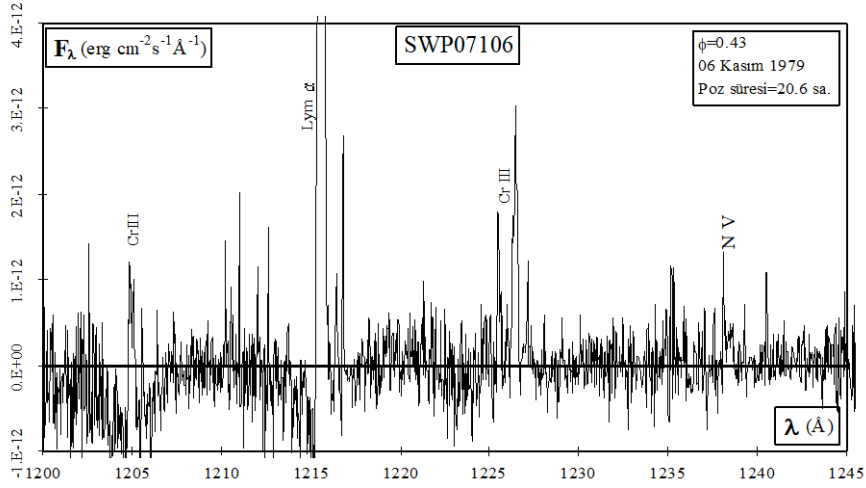
formülü (Jamar vd. 1976) yardımıyla yıldızlararası kızarma (IR) etkisinden arındırılmış akılar hesaplanmıştır. Burada  $k_{\lambda}$ , Seaton (1979)'un verdiği sönümleme katsayısıdır.

Tayfların SWP tarafında özellikle N III, IV, Si II, IV, O I, III, C II, IV, Fe II, III, He II ve Al II'ye ait olmak üzere bir çok soğurma çizgisi görülmektedir. Geocoronal katkının bulunduğu Ly $\alpha$  ise, çok güçlü bir salma çizgisi olarak görülmektedir. IR'dan kurtarılmış SWP ve LWR/LWP bölgede alınmış iki örnek tayf Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Optik ışınımında da baskın olan başyıldızın (optik bileşen) katkısıyla süreklilik şekillenmekte ve O9.5 Iab olan tayf türüne uygun bir seviye vermektedir (van Paradijs ve McClintock 1995).

Sadece SWP bölgede alınmış olan yüksek ayırma güçlü tayflarda ise, düşük ayırma güçlü tayflarda çoğu görülemeyen oldukça dar ve şiddetli salma çizgilerine rastlanmaktadır. Süreklilik anlamlı bir değer vermeyecek kadar "sıfır" seviyesinden geçmektedir. Hatta sürekliliğe ait mutlak akı değerlerinin yarısı (fiziksel olarak anlamsız olan) negatif sayılar vermektedir. Bunun nedeni gözlenen "akı sayısından" (flux number), mutlak akıya geçerken kullanılan uyduya ait kalibrasyon katsayılarının hatalı olmasıdır. Nitekim IUE uydusunda kullanılan tayfçeker teknolojisinin oldukça kötü olduğu ve özellikle yüksek ayırma güçlü tayflarda mutlak akıya geçerken hatalı dönüşümler yapıldığı bildirilmektedir (Massa 1999; *e-posta* haberleşmesi). Buna rağmen yüksek ayırma güçlü tayflar, görülen salma çizgilerinin profil ve



Şekil.2.1. IUE uydusuyla alınmış Cyg X-1'e ait (IR'dan kurtarılmış) düşük ayırma güçlü UV tayflar. En belirgin çizgiler tayflar üzerinde gösterilmiştir.



Şekil.2.2. Cyg X-1'in 1200-1245Å aralığındaki yüksek ayırma güçlü UV tayfı. Süreklilik seviyesine ve dar yapıdaki bir çok salma çizgisine dikkat ediniz.

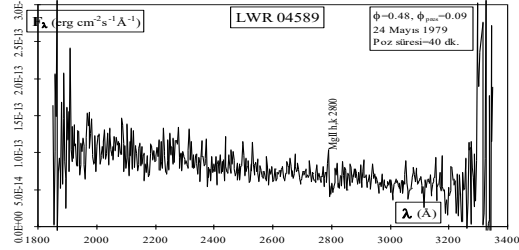
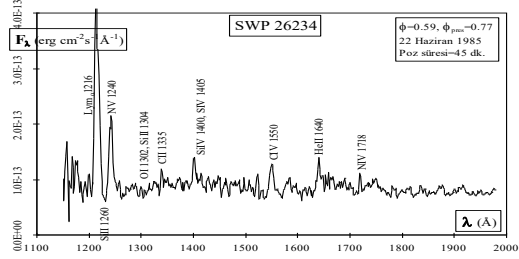
dalgaboylarını belirlemede yine de faydalı bir araçtır. Yüksek ayırma gücünde alınmış 1200-1245Å aralığındaki UV tayf Şekil 2.2'de sunulmuştur. Cyg X-1'in LWP/LWR bölgede alınmış yüksek ayırma güçlü tayfı bulunmamaktadır.

## 2.2. Her X-1'in UV Tayfları

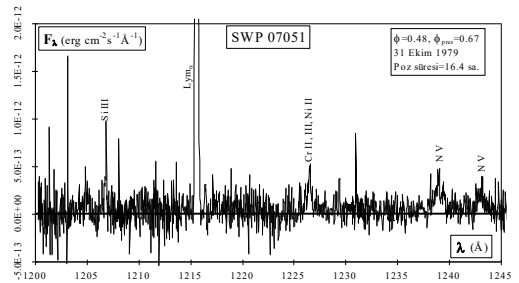
Her X-1'e ait 113 adet düşük ayırma güçlü, 6 adet yüksek ayırma güçlü UV tayf incelenmiştir. Yüksek ayırma güçlü tayfların tamamı SWP bölgesinde (1100-2000Å) alınmıştır.

Her X-1 galaktik düzlemde oldukça uzakta (haloda) yeralan bir kaynak ( $b_{II}=37.05$ ) olduğundan, yıldızlararası sönmülemeye hemen hemen hiç uğramaz ( $E[B-V]<0.005$ ). Bu nedenle tayfların hiç birine IR düzeltmesi uygulanmamıştır.

Düşük ayırma güçlü tayflarda LWR/LWP bölgede belirgin soğurma veya salma çizgisine rastlanmamakta, esasen X-ışın represiyle meydana gelen güçlü bir süreklilik görülmektedir. SWP kamerasının duyarlı olduğu 1100-2000Å bölgesinde alınan tayflarda ise N IV, V, C IV, He II ve Si IV'e ait çizgiler, güçlü salma çizgileri olarak görülmektedir. Bunların dışında bazı zayıf salma ve soğurma çizgilerine de rastlanmaktadır. Hem süreklilik hem de çizgi akıları, gerek yörüngesel evreyle ( $1.87$ ) gerekse birikim diskinin presesyon evresiyle ( $\sim 35^{\circ}$ ) değişim göstermektedir. Her X-1'e ait iki adet örnek UV tayf Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2.4'de de Her X-1'in yüksek ayırma güçlü tayflarından birisi görülmektedir.



Şekil.2.3. Her X-1'in IUE uydusuyla alınmış düşük ayırma güçlü UV tayfları. En belirgin çizgiler şekil üzerinde işaretlenmiştir.

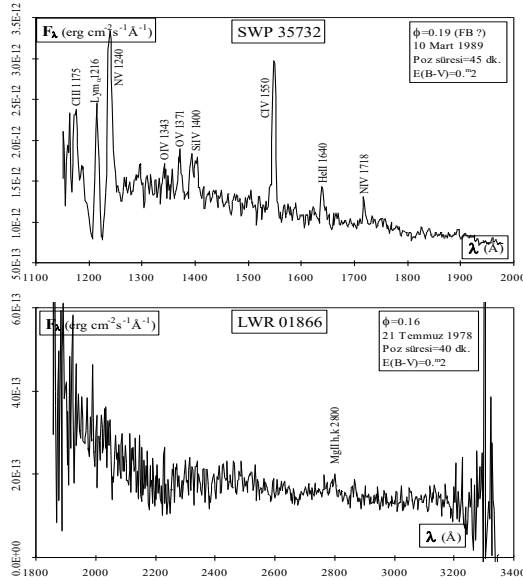


Şekil.2.4. Her X-1'in yüksek ayırma güçlü UV tayfı. Belirgin bir kaç çizginin oluşumuna neden olan iyonlar şekilde gösterilmiştir.

### 2.3. Sco X-1'in UV Tayfları

Sco X-1'e ait IUE veri bankasından 41 adet düşük ayırma güçlü 1 adet yüksek ayırma güçlü tayf getirilerek incelenmiştir. Bu tayflardan bazılarının literatürde eşzamanlı X-ışın gözlemlerinin olduğu belirlenmiş ve IUE tayflarından bazılarının, sistemin hangi X-ışın durumundayken alındığı belirlenmiştir. Bu eşzamanlı X-ışın gözlemlerinde (Vrtilek vd. 1991) sistemin normal kol (NB) ya da parlama kolunda (FB) bulunduğu anlaşılmaktadır. Sistem yatay koldayken (HB) eşzamanlı X-ışın gözlemi yapılmamıştır. Sco X-1'e ait incelenen tek yüksek ayırma güçlü tayf, IUE arşivinde de tek olan SWP 09417 tayfidir. Bundan başka IUE uydusuyla Sco X-1'in yüksek ayırma güçlü tayfı alınmamıştır.

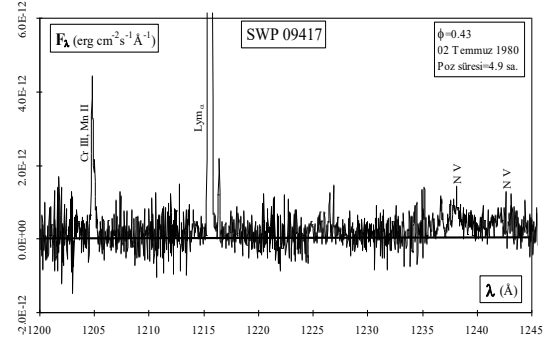
Sco X-1 doğrultusundaki yıldızlararası sönmüleden kaynaklanan renk artışını belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Verilen çeşitli renk artışı değerlerinin bir ortalaması alınarak  $E(B-V) \sim 0.2$  değeri kullanılmıştır. Seaton (1979)'un verdiği sönmüleme ( $k_\lambda$ ) eğrisi kullanılarak ve (2.1) nolu formül izlenerek Sco X-1'in IR'dan kurtarılmış akısı hesaplanmıştır. İncelemeler bu tayflardan yapılmıştır. IR'dan kurtarıldıktan sonra elde edilen Sco X-1'e ait iki adet örnek tayf Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil.2.5. Sco X-1'in IR'dan kurtarılmış UV tayfları. Bazı salma çizgilerine ilişkin iyonlar şekilde gösterilmiştir.

X-ışın represi sonucu birikim diskinin oluşturduğu süreklilik ve salma çizgilerinin akısı, sistemin X-ışın bölgesinde bulunduğu durum (FB/NB/HB) ile yakından ilişkilidir. Ne süreklilik ne de salma çizgileri yörünge dönemiyle

korelasyonlu bir değişim göstermez. Yukardaki X-ışın çiftlerinde de görüldüğü gibi LWR/LWP bölgesinde hemen hemen hiç bir çizgiye rastlanmazken, SWP bölgesinde bir çok salma çizgisi görülmektedir. Yüksek ayırma gücünde alınmış tek tayf olan SWP09417'de de süreklilik seviyesi hemen hemen sıfırdan geçmektedir. Bu tayfta salma çizgilerinin konumu ve profili görülebilmektedir (Şekil 2.6).

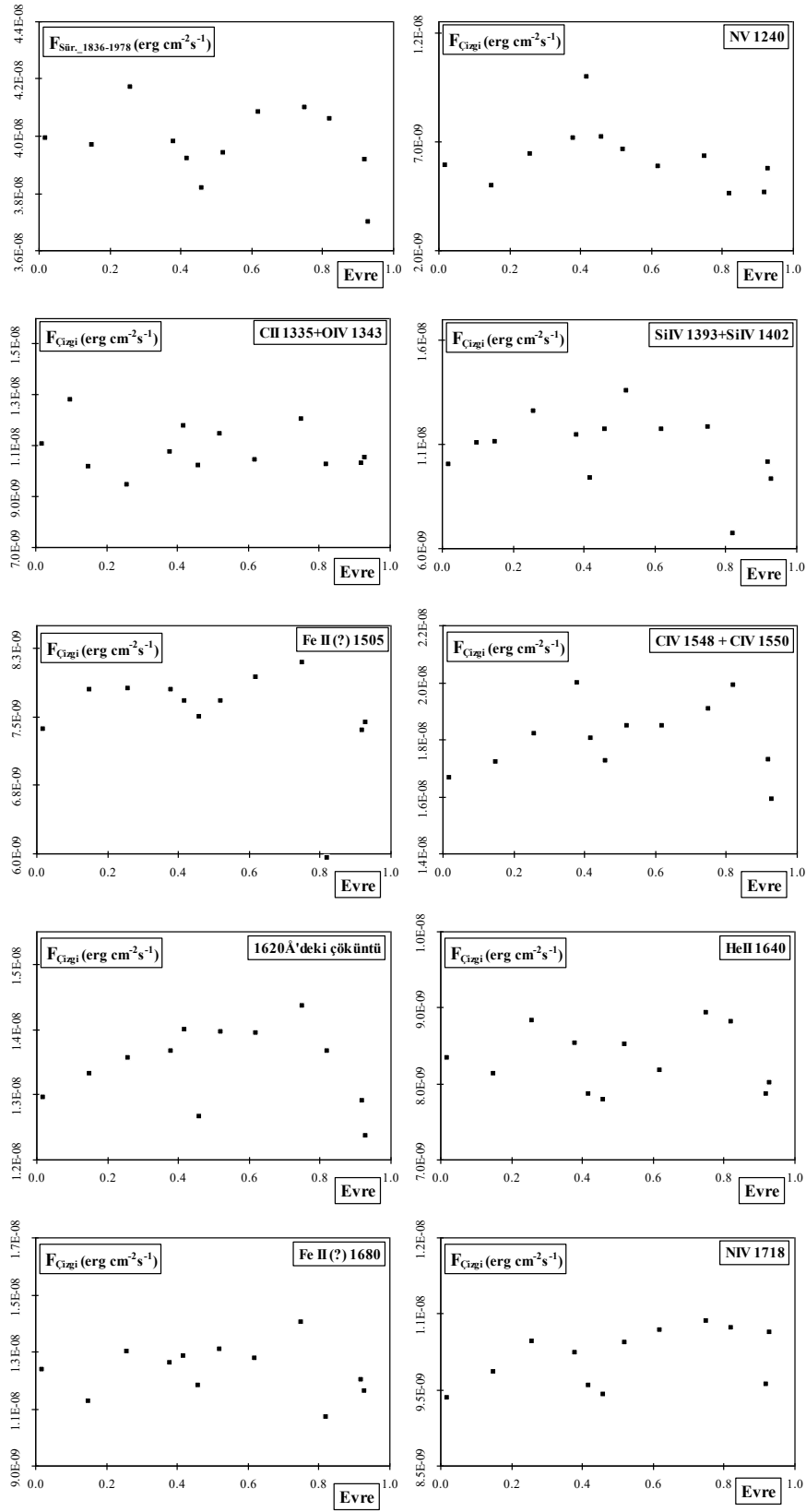


Şekil-2.6. Sco X-1'in 1200-1245Å aralığındaki yüksek ayırma güçlü UV tayfı. Süreklilik seviyesine dikkat ediniz.

### 3. Gözlemsel Verilerin Analizi

#### 3.1. Cyg X-1

Cyg X-1'e ait UV tayflar düşük ve yüksek ayırma güçlüler olmak üzere iki ayrı grup altında incelenmiştir. Düşük ayırma güçlü tayflarda, tanısı yapılmış güçlü soğurma çizgileri kullanılarak bunların verdiği çizgi akılarının süreklilikle olan değişimi incelenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi Cyg X-1'in düşük ayırma güçlü UV tayflarında, optik bileşenin baskın ışınımıyla oluşmuş bir süreklilik ve yine bu bileşenin fotosferinde oluşmuş soğurma çizgileri görülür. Sadece Geocoronal katkıyla oluşmuş Lyman-alpha çizgisi salma halindedir. En belirgin soğurma çizgileri N III, IV, Si II, IV, O I, III, C II, IV, Fe II, III, He II, Al II'ye ait çizgilerdir ve tamamıyla SWP bölgede görülürler. LWP bölgede görülebilen tek belirgin çizgi Mg II'nin h ve k rezonans çizgileridir. Her bir soğurma çizgisine ait toplam akı, ilgili çizginin karşılık geldiği dalga boyu aralığındaki toplam akı hesaplanarak elde edilmiştir. Süreklilik seviyesini belirlemek için ise, belirgin hiç bir çizginin olmadığı ve hata barlarının en küçük olduğu ~1800-1980Å aralığındaki tayf bölgesi seçilmiştir. Her bir tayfa ait süreklilik bu bölgeden hesaplanmış ve aynı tayftaki çizgilere ait akılar belirlenmiştir. Bu aşamadayken öncelikle, gerek sürekliliğin gerekse çizgi akılarının sistemin evresiyle olan değişimine



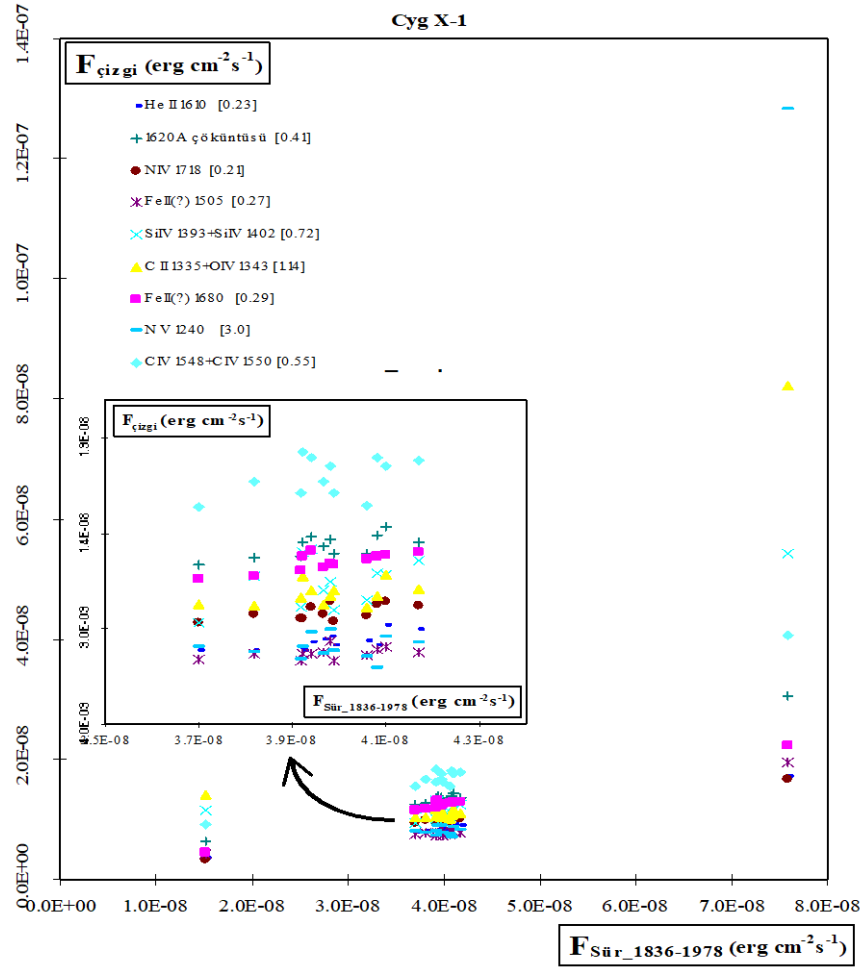
**Şekil 3.1.** Cyg X-1'in UV bölgede görülen bazı soğurma çizgilerinin, sistemin yörünge evresiyle değişimi. İlk panelde 1840-1980Å aralığındaki süreklilik akısının, diğer panellerde de (her panelin içinde belirtilen) ilgili çizginin evreyle değişimi gösterilmektedir. Hata çubuklarından daha küçüktür. 0.82 evresine rastlayan SWP09364, 0.10 evresine rastlayan SWP09420 tayfları *panellerin bazılarında* “düşük akı” verdikleri için; 0.002 evresine rastlayan SWP23357 tayfı da “yüksek akı” verdiğinden *panellerin tamamında* ölçek dışında kalmıştır.

bakılmıştır. Her bir tayfin alındığı tarihteki JD kullanılarak ve GCVS (1985)'de verilen HJD I = 2441561.22 + 5.5998224 fotometrik ışık elemanı kullanılarak evrendirmeler yapılmıştır. Elde edilen “süreklilik-evre” ve “çizgi akısı-evre” grafikleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Evreyle en belirgin değişimi süreklilik akısı göstermektedir. Bu değişim optikte de görülen sinuzoidal ışık eğrisine benzemektedir. O halde bu bölgedeki sürekliliğin oluşumuna en büyük katkı optik bileşenden gelmektedir. Genelde çizgi akılarının evreyle değişimi karmaşık bir yapıdadır. Sadece NIV 1718, Fe II(?) 1505 ve HeII 1640 çizgileri kaba bir elipsoidal değişim vermekte; CIV 1550 dubletine ve SiIV 1400 dubletine ait eğrilerde, yansıma katkısı hissedilmektedir. Diğer çizgiler anlamlı bir değişim sergilememektedir. Yüksek ayırma güçlü tayflarda görülen salma çizgilerinin verdiği toplam akının da evre ile değişimine bakılmış; ancak tayfların sayısı az olduğundan belirgin bir korelasyon elde edilememiştir. Yüksek ayırma

güçlü tayflarda görülen bu salma çizgilerinin eşdeğer genişlikleri, FWHM değerleri ve toplam çizgi şiddetleri de evreyle birlikte anlamlı bir korelasyon göstermezler. Şekil 3.1’deki eğrilerin bazılarında görülen elipsoidal yapıdaki değişimde, 0.5 evresinde görülmesi gereken ikinci minimum (X-ışın kaynağının önde olduğu evre) ~0.41 evresine kaymış gibi görünmektedir. Bunun nedeni, kullanılan fotometrik ışık elemanının hatalı olması; ya da fotometrik minimum ile UV ışık eğrisine ait minimumun aynı yerde oluşmamasıdır. Bu son önerinin doğruluğunu kanıtlamak için çok sayıda UV tayfının incelenmesi gerekmektedir.

Sürekliliğe ait elipsoidal eğrinin kadir birimindeki genliği  $\Delta m_{1840-1980} \approx 0.08$ ’e karşılık gelmektedir ki bu değer optikte görülen ~0.05’lik genlikten biraz daha fazladır. Evreyle anlamlı değişim göstermeyen 1620Å’deki karışmış (muhtemelen FeII’ye ait) çizgiler, NV, FeII 1680, CII+OIV çizgileri üzerinde birikim diskinin katkısı olma ihtimali vardır. Özellikle

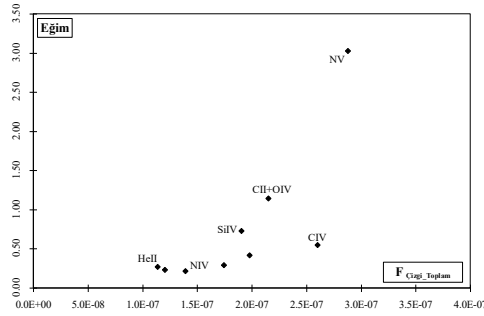


Şekil.3.2. Cyg X-1’in süreklilik akısına karşılık çizgi akısının değişimi. Grafikte de gösterilen her bir ayrı sembol, farklı çizgiler içindir. Her çizginin verdiği eğim köşeli parantez içinde gösterilmiştir. Küçük panel ortadaki kümelenmenin detayıdır. Ly $\alpha$  çizgisi hariç tutulmuştur; hata barları sembollerin boyutundadır. En yüksek akı değerini veren (grafikğin en sağındaki noktalar) tayf SWP23357; en düşük akıyı veren (en soldaki noktalar) tayf SWP09420 tayflarıdır.

1550Å'deki CIV dubleti ile 1400Å'deki SiIV dubletinin evreye göre tek pikli yapıda olan değişimi, bu çizgilerde, birikim diskinin etkisiyle optik bileşende oluşan yansıma etkisinin güçlü olduğunu göstermektedir. Geocoronal katkının olduğu  $Lym_{\alpha}$  çizgisi analizlerde kullanılmamıştır.

Bunun yanında, süreklilik ile çizgi akıları arasındaki değişim de incelenmiştir. Bu amaçla 1840-1980Å aralığındaki UV tayftan belirlenen sürekli akı ile her bir tayf çizgisindeki akı,  $F_{\text{süreklilik}}-F_{\text{çizgi}}$  düzleminde grafike edilmiştir. Reposes olayının etkin olduğu XRBs'de, süreklilik akısının artışıyla birlikte çizgi akılarının da artmasıyla oluşan doğrusal bir ilişki görülmektedir (van Paradijs ve McClintock 1995). Böyle bir ilişkinin görüldüğü tayflarda doğal olarak çizgi eşdeğer genişlikleri hemen hemen hiç değişmez. Eğer Cyg X-1'de de  $F_{\text{süreklilik}}$  ile  $F_{\text{çizgi}}$  arasında buna benzer doğrusal bağıntı varsa, UV bölgede oluşan tayf üzerinde birikim diskinin etkisi vardır. Cyg X-1 için oluşturulan bu grafikler Şekil 3.2'de verilmiştir.

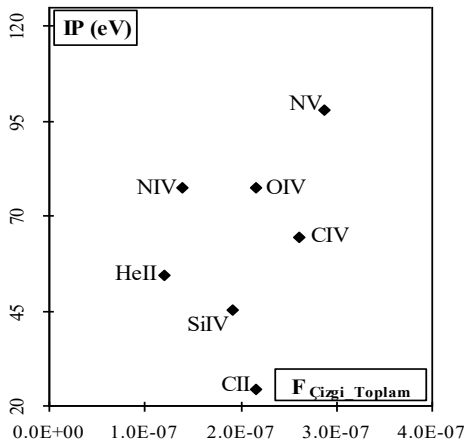
Şekilde görülen ilişki, her iki uç noktasında da birer tayf olmasına rağmen yaklaşık doğrusal bir korelasyon göstermektedir. Grafik dikkatle incelenirse, belli bir çizginin dalgaboyu seçilen süreklilik bölgesine yaklaştıkça, o çizgiye ait dağılım da daha fazla doğrusal yapı kazanmaktadır. Yani ele alınan çizginin dalgaboyu 1836-1980Å aralığına ne kadar yakınsa verdiği dağılım da o derece doğrusal hale dönüşmektedir. Bu olay şu iki nedenden olabilir: i) Çizginin dalgaboyu kullanılan süreklilik aralığına (1836-1980Å) yaklaştıkça, repores olayı o çizgi üzerindeki etkisini artırmakta; ya da ii) birikim diskinin repores olayıyla artırdığı 1836-1980Å'daki sürekli akı, çizgiler üzerinde bu bölge komşuluğunda daha etkili olmaktadır.



Şekil.3.3. Her bir çizginin tüm tayflar üzerinden alınan toplam akısına karşılık,  $F_{\text{süreklilik}}-F_{\text{çizgi}}$  düzleminde verdiği eğimin grafiği. İyon türüne göre eğim değişmektedir.  $F_{\text{çizgi\_toplam}}$ , " $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ " birimindedir. Hata barları semboller boyutundadır.

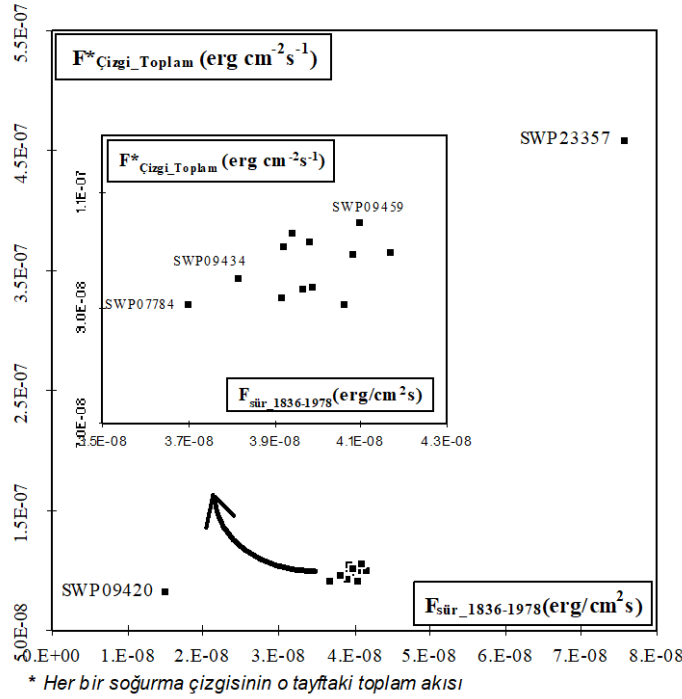
Evresel değişimin genliği, bu korelasyonda görülen değişimin genliğinden çok küçük olduğu için, yörüngesel değişim ihmal edilebilir. Şekil 3.2'de en uç noktaları oluşturan SWP23357 ve SWP09420 tayfları dikkate alınmadan oluşturulan grafikte de (Şekil 3.2'deki küçük panel) süreklilik akısının artışıyla beraber çizgi akısının arttığı görülebilmektedir. Ayrıca burdan şu ilişki de görülmektedir: Farklı iyon türlerinin verdiği eğimler de farklı olmaktadır. Bu yapıyı daha açık bir şekilde görmek için her bir iyonun tüm tayflar üzerinden alınan toplam akısına karşılık verdiği eğim grafike edilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi herhangi bir çizginin toplam akısı yüksek ise,  $F_{\text{süreklilik}}-F_{\text{çizgi}}$  düzleminde verdiği eğim de büyük olmaktadır. Dağılımdan en çok sapan nokta CIV'ün 1550Å'deki dubletidir. Yine de dağılım, artan çizgi akısına karşı artan eğim yapısındadır. Grafikteki dağılım aslında her bir çizgiyi oluşturan iyonun, iyonizasyon potansiyelinin bir fonksiyonu olmalıdır. Bunu görebilmek için de her bir iyonun iyonizasyon potansiyeline



Şekil.3.4. Cyg X-1'in UV tayfında görülen bazı güçlü çizgilerin iyonizasyon potansiyeline göre toplam çizgi akısı ve  $(F_{\text{süreklilik}}-F_{\text{çizgi}})$  düzleminde verdiği eğim. Tanısı kesin olmayan FeII'ye ait çizgiler hariç tutulmuştur. Apsisdeki  $F_{\text{çizgi\_toplam}}$ 'ın birimi " $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ "dir. Hata barları semboller boyutundadır.





Şekil.3.5. Tayf çizgilerindeki toplam akının süreklilik seviyesiyle değişimi. Bir kaç tayfa ait image numarası şekil üzerinde gösterilmiştir.

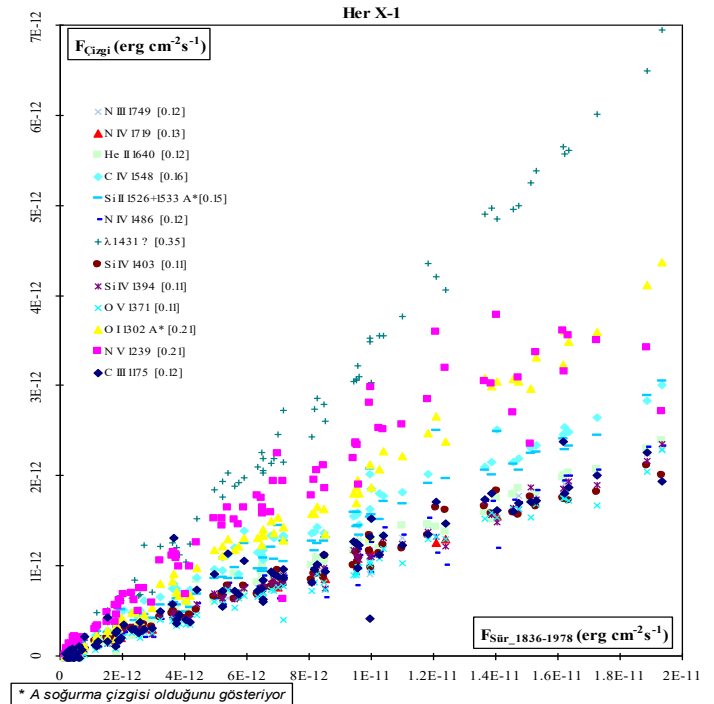
karşılık eğim ve toplam çizgi akısını grafike edebiliriz (Şekil 3.4.). Görüldüğü gibi yüksek akı veren çizgilerin iyonizasyon potansiyeli de yüksek olmakta, buna bağlı olarak verdikleri eğim de daha büyük olmaktadır.

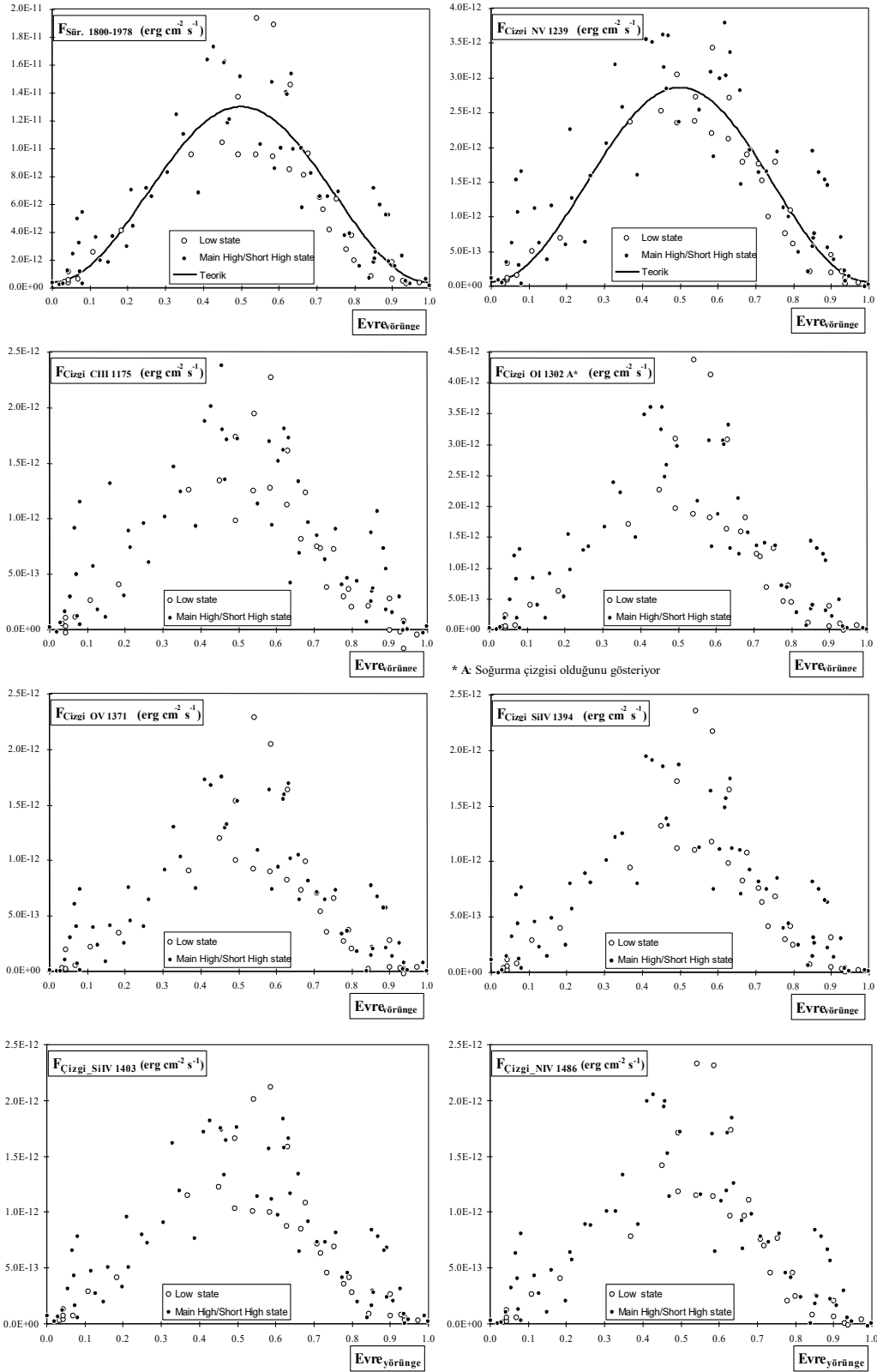
Son olarak her bir tayftaki çizgilerin toplam akısı hesaplanarak yine süreklilikle olan değişimine bakılmıştır (Şekil 3.5). Grafikteki her nokta ayrı bir tayfa aittir. Dağılımın uç noktalarında yeralan SWP23357 (aşırı yüksek akı) ve SWP09420 (düşük akı)'ye ait noktalar, daha

önce çizilen evreye bağımlı değişimin gösterildiği grafiklerde de (Şekil 3.1) ölçek dışında kalmaktadır. SWP23357'ye ait noktanın bu kadar yüksek akı verme nedeni, sistemin X-ışın bölgesinde girmiş olduğu durumla ilgili olabilir.

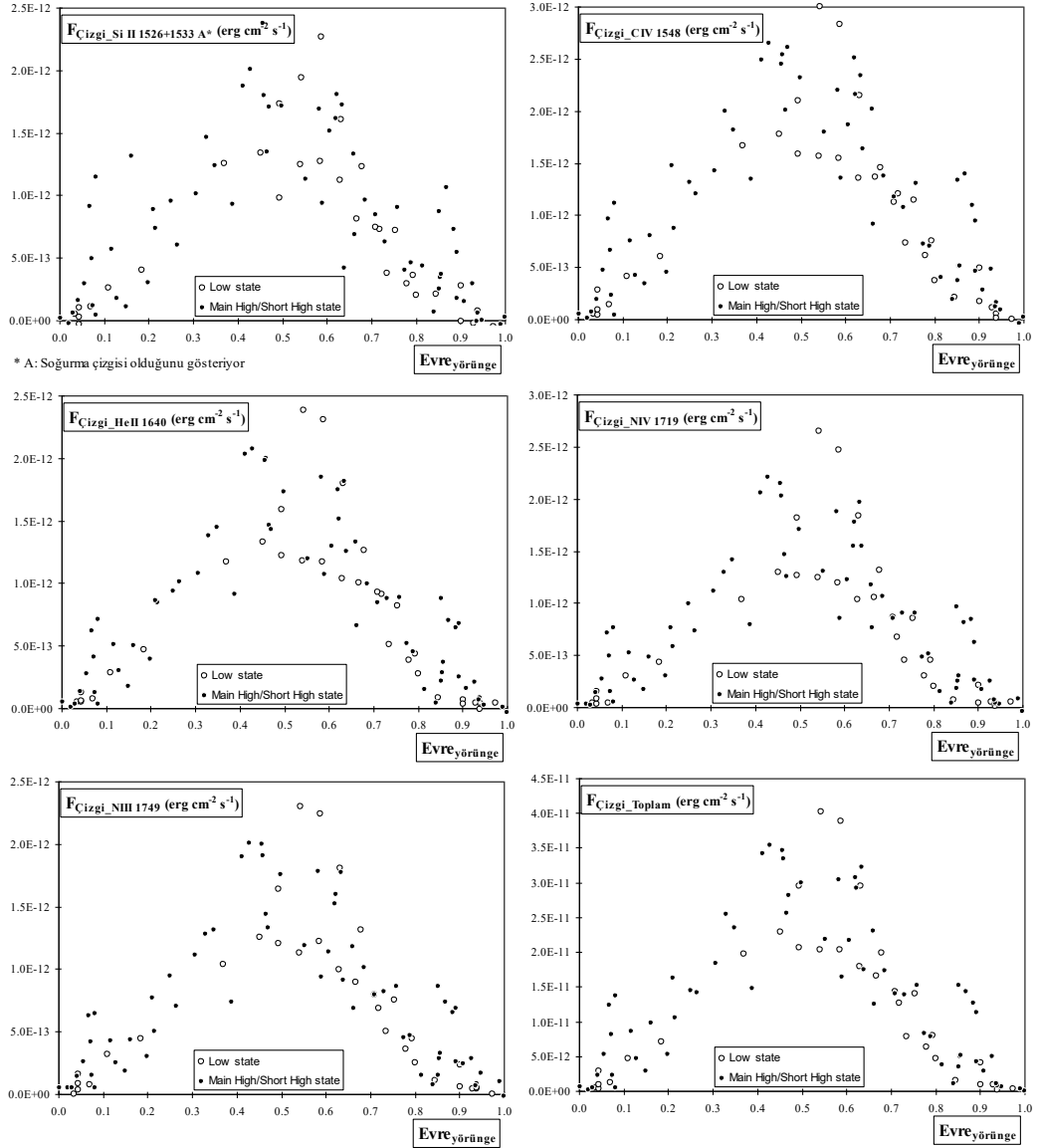
Dağılımdan biraz sapan bu iki nokta dışında kalan, ortadaki kümelenmiş noktaların detayı ise yine aynı şekilde küçük panelde gösterilmiştir. Aslında Şekil 3.2'nin bir ortalaması olan bu grafik, saçılma biraz fazla olmakla beraber doğrusal bir dağılım sergilemektedir.

Şekil.3.6. Her X-1'in UV tayflarında görülen çizgilerin süreklilik akısıyla değişimi. Zayıf olmakla birlikte bazı çizgiler soğurma yapısı göstermektedir; bunlar ayrıca şekilde belirtilmiştir. Her çizgi için bağıntı doğrusal bir denklem vermekte ancak (köşeli parantez içinde verilen) eğimleri farklı olmaktadır. Hata barları sembollerin boyutundadır.





**Şekil.3.7.** Her X-1'e ait tayf çizgilerinin ve sürekliliğin yörüngesel evreye bağlı değişimi. İçi boş semboller 35°'lük presesyon evresinin zayıf akı durumundayken alınan tayfları; içi dolu semboller yüksek akı durumundayken alınan tayfları göstermektedir. Sadece süreklilik ve NV çizgisine ait değişime, Fourier fonksiyonu fit edilmiştir. Hata barları semboller boyutundadır.



Şekil.3.7. (Devamı).

### 3.2. Her X-1

Her X-1'in 113 adet düşük ve 6 adet yüksek yüksek ayırma güçlü tayfı IUE arşivinden alınarak incelenmiştir. Getirilen düşük ayırma güçlü tayflar Her X-1'e ait arşivdeki UV tayfların hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. Düşük ayırma güçlü tayfların çoğu, SWP kamerasıyla alınmıştır (1100-2000Å aralığı). LWR/LWP kamerasıyla alınan tayflar da vardır ancak çizgilerin tamamı SWP bölgesinde görülmektedir. Belirgin soğurma çizgisine rastlanmaz. Görülen güçlü salma çizgileri Si II, IV, O III, IV, V, C III, IV, Fe II, Mn II, N I, V, S IV, He II, Al II'ye ait çizgilerdir. Bunlar birikim diskinde ve ADC'de X-ışınlarının represiyle oluşan salma çizgileridir. Çizgilerdeki toplam akılar, yine SWP bölgesinin sonunda yeralan ve çizgi içermeyen

1800-1980Å aralığındaki süreklilik akısı ile karşılaştırılmıştır. Salma çizgilerinin akısı, çizginin görüldüğü dalgaboyu aralığındaki toplam akı hesaplanarak bulunmuştur. Her bir çizgi için elde edilen sürekliliğe karşı çizgi akısı grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Şekilde görülen doğrusal bağıntı, çizgi ve süreklilik oluşumunun X-ışın represiyle meydana geldiğini göstermektedir. Her çizgi için eğim farklı değer almaktadır. Bu şekil üzerine hem 1.7 günlük evresel değişim hem de 35 günlük presesyon değişimi binmiş durumdadır. Bunlardan yörüngesel değişimi evreye göre çizersek Şekil 3.7 elde edilmektedir. Görülen evresel değişim, tek maksimuma sahip, optik bileşenden yansıyan ışığın şekillendirdiği bir yapıdadır. Bunu matematiksel olarak ifade etmek için bu değişimlere Fourier serisi fiti yapılabilir.

Beech (1985)'in açıklamasını yaptığı Fourier fonksiyonu şu formdadır:

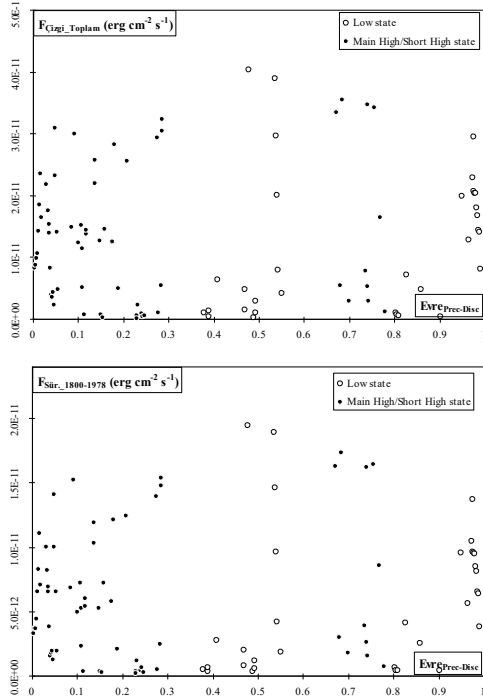
$$F(\Phi) = A_0 + A_1 \cos \Phi + B_1 \sin \Phi + A_2 \cos(2\Phi) + B_2 \sin(2\Phi) + \dots + A_n \cos(n\Phi) + B_n \sin(n\Phi) \dots \dots \dots (7.1)$$

Burda  $A_0$  ışık eğrisinin ortalama değerini göstermektedir.  $A_1$  ve  $A_3$  yansımanın  $A_2$  ve  $A_4$  basıklığının bir ölçüsüdür. Ancak  $A_3$  ve  $A_4$  bağımsız olmadıkları için bazen yanıltıcı olmakta; bu nedenle de sadece  $A_1$  ve  $A_2$ 'ye bakarak yorum yapılabilmektedir. Sinüslü terimlerin katsayıları ( $B_i$ ) sadece asimetrinin bir ölçüsüdür. Bu nedenle  $A_1/A_2$  oranına bakılarak basıklık veya yansıma etkilerinden hangisinin daha baskın olduğunu söylemek mümkündür. Şekil 3.7'de görülen değişimlerden sadece, süreklilik ve NV çizgisine ait dağılımlara Fourier fiti yapılmıştır.  $\chi^2$  değerini minimum yapacak şekilde elde edilen Fourier katsayıları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge.3.1.** Her X-1'in UV'de gösterdiği evresel değişime yapılan fit sonucu elde edilen Fourier katsayıları.

	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$	$A_1/A_2$	$\chi^2$
Süreklilik (1800-1978A)	6.65E-12	-6.31E-12	1.65E-14	0	0	382	5.12E-22
NV 1239	1.45E-12	-1.40E-12	5.0E-15	0	0	280	2.74E-23

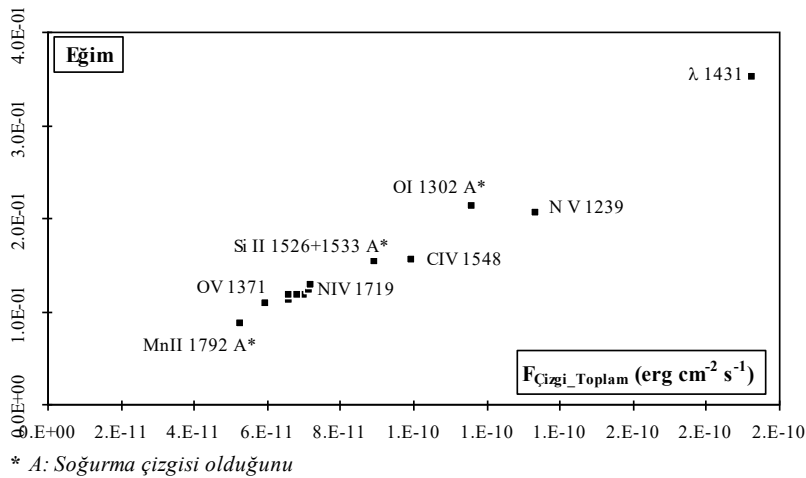
Çizelge 3.1'den de görüleceği gibi yansıma etkisinin fonksiyonu olan  $A_1$  katsayısı en büyük (negatif işareti sadece yön belirlediğinden dikkate alınmaz) çıkmakta, basıklığı gösteren  $A_2$  katsayısı küçük çıkmaktadır. Bu sonucun en iyi göstergesi, yansıma katsayısının ( $A_1$ ) basıklık katsayısına ( $A_2$ ) olan oranına ( $A_1/A_2$ ) bakıldığında,  $A_1$ 'in ne kadar baskın olduğu görülmektedir. Asimetri katsayıları  $B_i$ 'ler ise sıfır olmaktadır ki bu da ışık eğrilerinde asimetri olmadığını göstermektedir. UV bölgede görülen tüm evresel değişimler optikte görülen değişime (Howarth ve Wilson 1983) benzemektedir. Ancak tek farkı optik



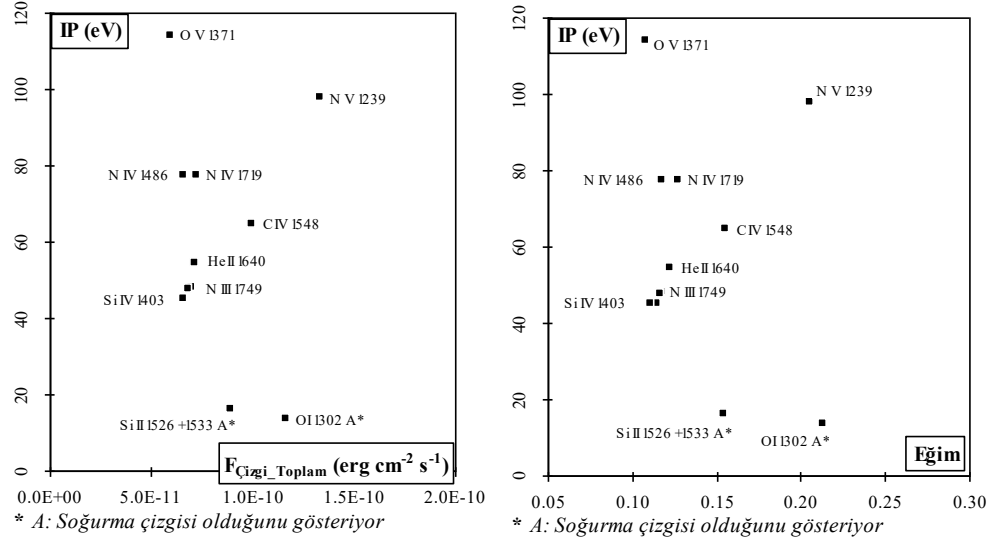
**Şekil.3.8.** Her X-1'e ait süreklilik seviyesi ve salma çizgilerine ait toplam akının 35 günlük presesyon evresiyle değişimi. Bu değişimin içinde 1.7 günlük yörüngesel değişim de yer almaktadır. Hata barları semboller boyutundadır. Scott ve Leahy (1999)'dan belirlenen "hallere" (low/high state) göre, içi boş semboller düşük akı halini, içi dolu semboller yüksek akı halini göstermektedir. Hata barları semboller boyutundadır.

bölgede 0.5 evresinde görülen hafif çöküntü UV değişimde hissedilmemektedir.

Şekil 3.7'de görülen yörüngesel değişimin yanında Her X-1'in 35 günlük presesyon evresine bağlı bir değişimi daha vardır. X-ışın bölgesinde bu değişim, biri diğerinin %30'u kadar olan iki parlak dönem ve bunların arasında kalan sakin akı dönemi şeklinde görülmektedir. UV bölgede bu değişim grafike edildiğinde Şekil 3.8 elde edilmektedir. Görüldüğü gibi UV data yüksek enerjide görülen değişime benzemektedir; ancak



**Şekil.3.9.** Her X-1'in UV tayfında görülen çizgilerin  $F_{\text{süreklilik}}-F_{\text{çizgi}}$  düzleminde verdikleri eğimin çizginin toplam akısına göre değişimi. Hata barları sembollerin boyutundadır.



Şekil.3.10. Her X-1’de görülen salma çizgilerinin  $F_{\text{sürekli}}-F_{\text{çizgi}}$  düzleminde verdikleri eğimin, ilgili iyonun iyonizasyon potansiyeline göre; ve toplam çizgi akısına göre grafikleri. Hata barları semboller boyutundadır.

arada bazı noktalar beklenmedik derecede yüksek akı vermektedir.

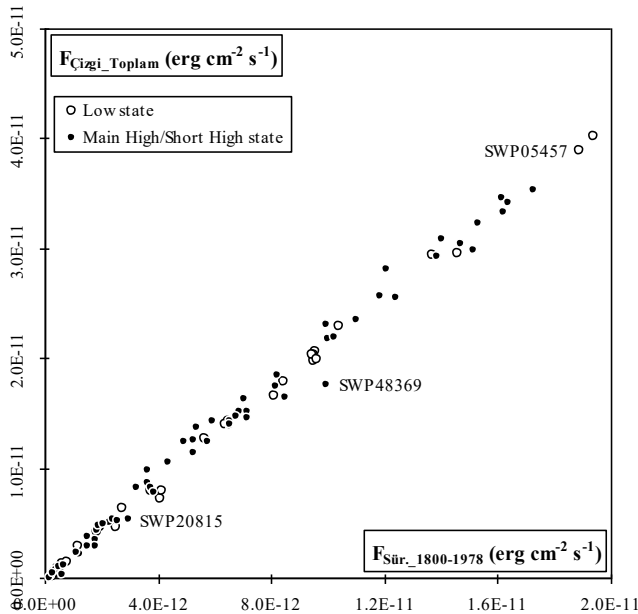
Yukarıda, çizgi akılarının süreklilik ile değişiminin verildiği Şekil 3.6’nın içinde, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilen evresel ve presesyonel değişimler de yer almaktadır. Yani Şekil 3.6’da görülen gerek çizgi akısındaki gerekse süreklilik akısındaki artışlar, hem yörüngesel değişimden hem de presesyonel değişimden gelmektedir. Şekil 3.6’da (tıpkı Cyg X-1’de olduğu gibi) farklı iyonlara ait çizgilerin farklı eğimler verdiği görülmektedir. Bunu bir grafik ile gösterirsek Şekil 3.9 elde edilmektedir.

Görülen doğrusal dağılımda iyonların yerleri, Cyg X-1’deki ile aynıdır (bkz. Şekil 3.3). Benzer olarak Her X-1’de de, her iyon için iyonizasyon potansiyelini toplam çizgi akısı ve eğime göre

grafike edebiliriz (Şekil 3.10).

Soğurma çizgileri hariç tutulursa büyük eğim veren iyonların çizgi akıları da büyük olmakta buna bağlı olarak büyük olmaktadır. Bu ilişki Cyg X-1’de de görülmekte ve grafiklerdeki aynı iyonlar aynı sırada yer almaktadır.

X-ışın çiftlerinde birikim diskinde oluşan reproses olayının en önemli göstergelerinden birisi de, tayftaki süreklilik artışına paralel olarak salma çizgilerinin akısının artmasıdır (van Paradijs ve McClintock 1995). Yani salma çizgilerine ait eşdeğer genişlikler hemen hemen hiç değişmez. Yukarıda, Şekil 3.6’da bu doğrusal ilişkiyi her bir çizgi için ayrı ayrı görmekteyiz. Bu bağıntıyı tüm çizgiler için de çizebiliriz (Şekil 3.11).



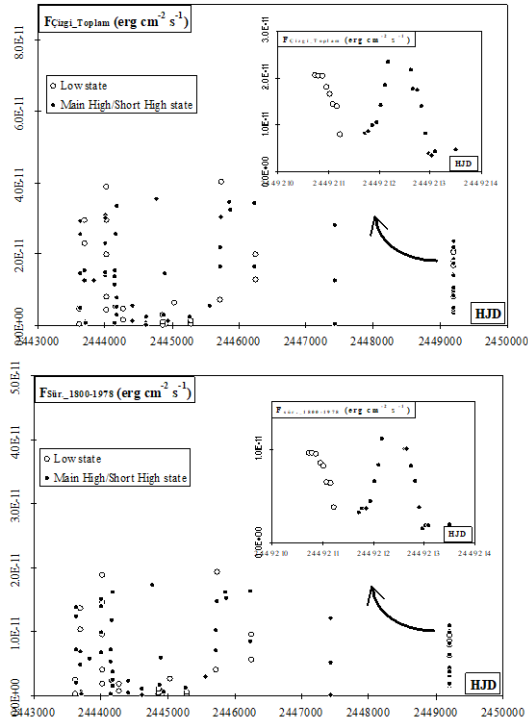
Şekil.3.11. Her bir tayftaki toplam salma çizgisi akısıyla süreklilik akısının değişimi. Görülen doğrusal bağıntı XRBS’deki reproses olayının en güçlü delillerindedir. Bir kaç tayfın image numarası şekilde gösterilmiştir. Hata barları semboller boyutundadır.

Bu doğrusal ilişkiyi sistemin 1.7 günlük yörüngesel ve 35 günlük presesyonel değişimi etkilememektedir. Özellikle sistem 35 günlük presesyonel değişimin parlak (içi dolu semboller) ve sönük (içi boş semboller) dönemlerindeyken bile bu doğrusal yasadaki sapmalar olmamaktadır. Bu ise UV ışınımında tamamen X-ışın reprosesinin hakim olduğunu göstermektedir. 35 günlük dönem boyunca UV süreklilik ve çizgi akılarının davranışı, yukarıda da bahsedildiği gibi, X-ışınındaki değişime tam benzemez; ancak yakın bir korelasyon verir (bkz. Şekil 3.8). Şekildeki yüksek akı (main high/short high state) durumu ve düşük akı (low state) durumu, Scott ve Leahy (1999)'daki 35 günlük çevrim için verilen evre aralıkları kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre 0.0-0.31 evre aralığında "main high state" (asıl yüksek akı durumu), 0.57-0.79 evre aralığında "short high state" (talı yüksek akı durumu) gerçekleşmekte, diğer evrelerde sistem "low state" (düşük akı durumu)'da kalmaktadır; ve grafikteki hal belirlemesi bu aralıklara göre yapılmıştır.

Her X-1'in incelenen UV tayfları, Nisan 1978 ile Ağustos 1993 yılları arasındaki son derece geniş bir aralığı kapsamaktadır. Bu nedenle Her X-1'in UV bölgede uzun dönemli değişimini incelemek için iyi bir fırsat sunmaktadır. Bu amaçla yine toplam çizgi akısı ve süreklilik akısının HJD'ye göre grafiğini çizebiliriz (Şekil 3.12). Bir kaç nokta istisna olmak üzere Her X-1'in, HJD 244200 (Kasım 1979) ile HJD 2445600 (Eylül 1983) arasında (~3 yıllık) sakin bir döneme girdiği görülmektedir. Bu değişimin dönemli olup olmadığının belirlenebilmesi için çok daha uzun süreli gözlemlere ihtiyaç vardır. Grafikteki parlak (içi dolu) ve sönük (içi boş) dönemler, yukarıda da belirtildiği gibi Scott ve Leahy (1999)'ye göre belirlenmiştir.

### 3.3. Sco X-1

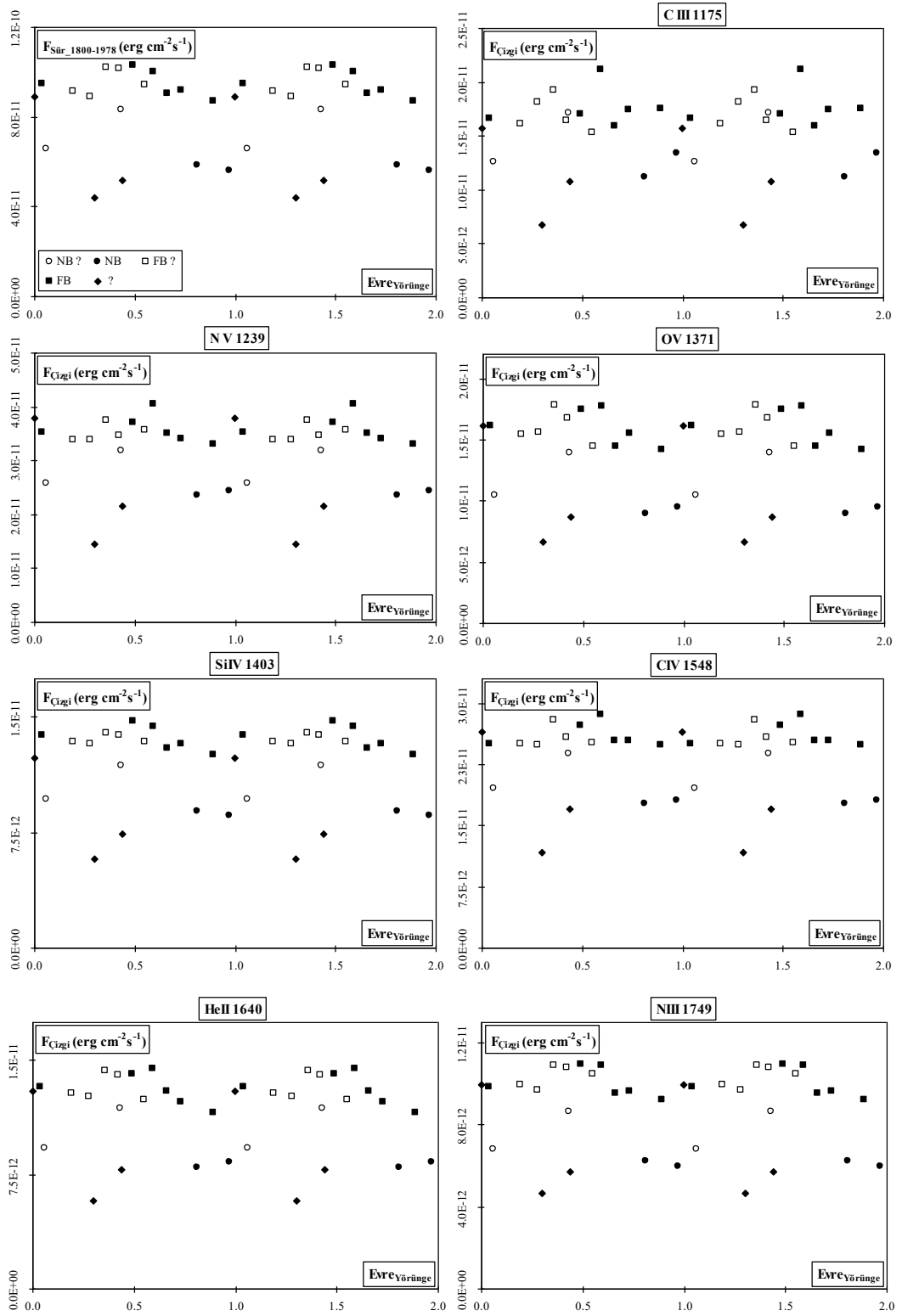
Sco X-1'e ait 41 adet düşük 1 adet yüksek ayırma güçlü IUE tayfı getirilmiştir. Yüksek ayırma güçlü tayf IUE arşivindeki tek tayf olan SWP09417'dir ve bunun da süreklilik seviyesi, tıpkı Cyg X-1 ve Her X-1'deki gibi sıfır seviyesinde seyretmekte; sadece bazı dar salma çizgileri görülebilmektedir. Düşük ayırma güçlü tayflarda da LWR/LWP bölgede çizgi tayflarda 2200Å civarında IR'dan kaynaklanan derin bir çöküntünün bulunduğu bir süreklilikle karşılaşılmaktadır. Bölüm 6.3'de anlatılan prosedüre göre (Sco X-1 doğrultusundaki E(B-V)~0.2 alınarak), tüm tayflardan bu sönmüleme etkisi giderildikten sonra tayflar incelenmiştir. Çizgilerin tamamı salma halinde olup, sadece SWP bölgede



Şekil.3.12. Her X-1'e ait UV çizgi akılarının ve süreklilik akısının, gözlemlenen 15 yıllık aralık boyunca değişimi. Gözlem setinin son kısmını oluşturan tayflar, 1.7 günlük tam bir yörüngesel çevrimi içerdiğinden bu kısım şekillerde küçük paneller olarak gösterilmiştir. Hata barları boyutundadır.

görülebilmektedir. En belirginleri Si II, IV, C III, IV, N II, III, IV, V, O III, IV, V, ve He II iyonlarına ait çizgilerdir. Sco X-1 X-ışın bölgesinde gösterdiği ani durum (FB-NB-HB) değişimlerine paralel olarak UV bölgede de gerek salma çizgilerinde gerekse süreklilik akısında değişimler vermektedir. UV'de gösterdiği yüksek/düşük akı seviyeleri arasında kesin bir ayırım kriteri olmamasına rağmen Willis vd. (1980)'de, akı seviyesinde görülen ani değişimlere göre bu ayırım yapılmıştır. Aslında bu değişim, bir Z-kaynağı olan Sco X-1'in Z-diyagramında bulunduğu yere bağlı olarak meydana gelmektedir (Vrtilek vd. 1991). Sco X-1'e ait UV tayftaki çizgi akıları ve süreklilik akısı 0.78 günlük yörünge dönemiyle çok belirgin bir değişim vermemektedir (bkz. Şekil 3.13).

Vrtilek vd. (1991)'nin yaptığı eşzamanlı X-ışın gözlemlerine dayanarak Şekil 3.13'de Sco X-1'in bulunduğu X-ışın durumu farklı sembollerle işaretlenmiştir. Buna göre sistem normal kola (NB) geçtiğinde UV'de de düşük akı seviyesine geçmekte; parlama koluna (FB) geçtiğinde UV'de de yüksek akı seviyesine geçmektedir. Çok düşük akı seviyesinde görülen bir kaç noktanın eşzamanlı X-ışın gözlemi yoktur. Ancak bunlar muhtemelen Sco X-1'in X-ışın bölgesinde en düşük akıyı verdiği yatay kolda (HB) iken alınmış



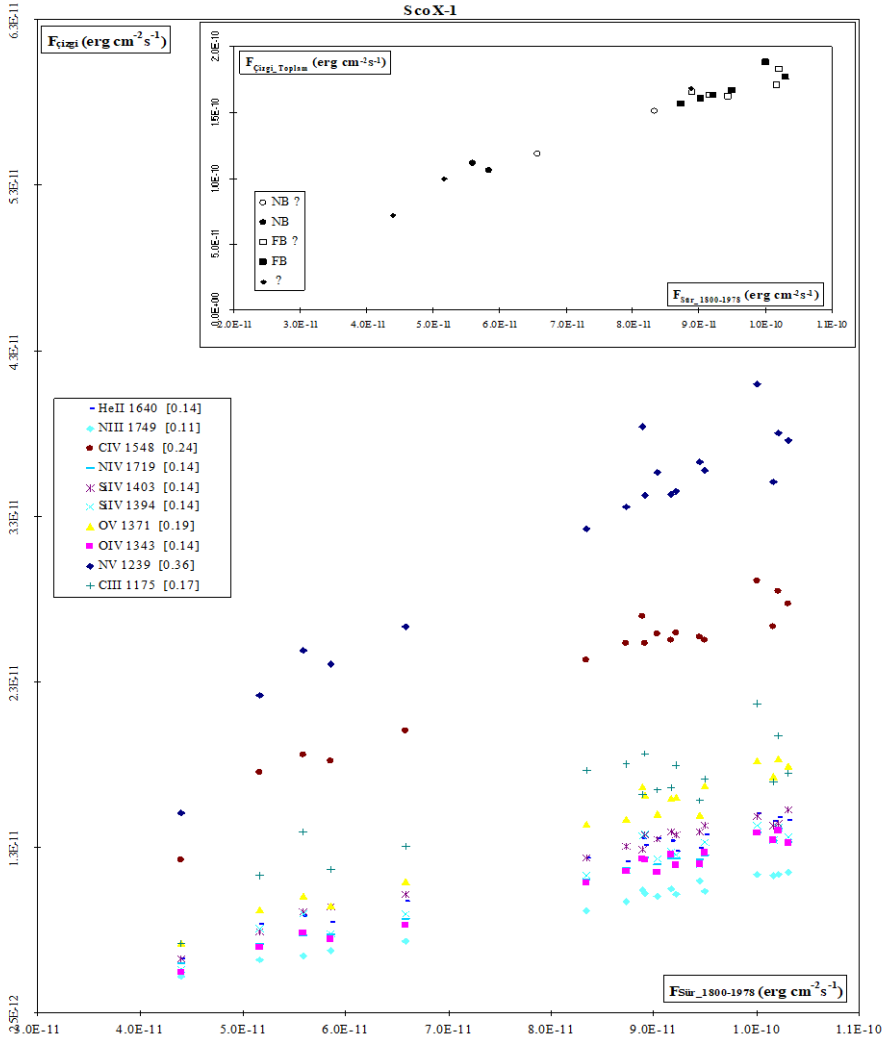
**Şekil.3.13.** Sco X-1'e ait UV bölgedeki Sürekliliğin ve salma çizgilerinin yörüngesel evre ile değişimi. Dağılım, sistemin girdiği X-ışın durumuyla (FB/NB/HB) yakından ilişkili görünmektedir. "1" evresinden sonraki değerler, simetri alınarak elde edilmiştir.

tayflardır. Dolayısıyla Willis vd. (1980)'nin B bandındaki akı seviyesine bakarak Sco X-1 için yaptıkları “yüksek akı-düşük akı” ayrımı aslında sistemin Z-diyagramında bulunduğu konumdan kaynaklanmaktadır.

Optik bölgedeki ışık eğrilerinde, düşük genlikli, esasen yansımadan kaynaklanan tek pikli değişim görülmektedir (Gottlieb vd. 1975, Augusteijn vd. 1992). Ancak UV bölgede buna benzer yapı oldukça zayıf bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.13). Bu ise UV ışınımında birikim diskinin daha hakim olduğunu, optik bileşenden katkının çok daha az geldiğini göstermektedir. Sistemin girdiği X-ışın durumunu dikkate almazsak, Şekil 3.13'den evreye bağlı değişimin az da olsa hissedildiğini söyleme mümkündür. Optik bölgede görülen yörüngesel değişim, sistemin geçiş yaptığı “aktif” veya “sakin” dönemlerine bağlı olmaksızın, her zaman görülebilmektedir (Augusteijn vd. 1992). Bu da

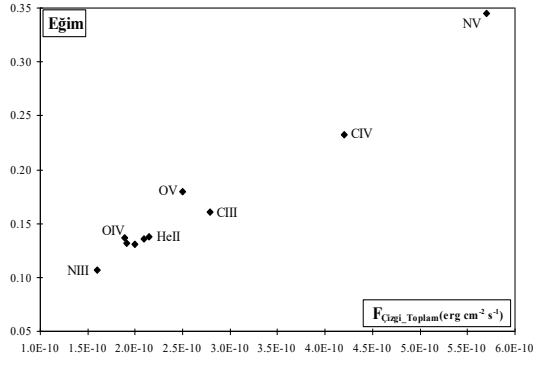
diskten gelen optik ışınımın katkısının, evreye bağlı olmadığını göstermektedir.

Şekil 3.13'den görüldüğü gibi, çizgi akılarından artışa paralel olarak 1800-1978Å arasındaki süreklilik de artış göstermektedir. Bu ilişkiyi daha iyi görebilmek için çizgi akısına karşı süreklilik akısını grafike edebiliriz (Şekil 3.14). Her X-1'dekine benzer olarak çizgilerdeki akı artışıyla birlikte süreklilik seviyesi de artmakta; ancak her iyon farklı eğim vermektedir. Ayrıca akı artışına paralel olarak sistem parlama koluna (FB) geçiş yapmaktadır (Şekil 3.14 küçük panel). Eşzamanlı X-ışın gözlemi olmayan bazı noktaların, grafikte bulunduğu konuma göre Z-diyagramındaki konumu da (FB/NB/HB) tahmin edilebilir. Çünkü Sco X-1 Z-diyagramında belli bir yerde iken,  $F_{\text{çizgi}}-F_{\text{süreklilik}}$  düzleminde de değişmez bir bölgede bulunmaktadır. Buna dayanarak, sistem yatay kolda iken (HB) hiç eşzamanlı X-ışın gözlemi yapılmamış olmasına



Şekil.3.14. Sco X-1'in UV tayfındaki salma çizgilerinin süreklilik akısıyla değişimi. Her bir farklı iyonun verdiği eğim, sembolleri gösteren pencerede köşeli parantez içinde verilmiştir. Küçük panelde ise, incelenen UV tayflardan eşzamanlı X-ışın gözlemi (Vrtilek vd. 1991) yapılanlar  $F_{\text{çizgi}}-F_{\text{sür_1800-1978}}$  düzleminde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi UV'deki akı artışıyla birlikte sistem normal koldan (NB) parlama koluna (FB) geçiş yapmaktadır. Hata barları semboller boyutundadır.





**Şekil.3.15.** Sco X-1'in UV tayfında çizgi oluşturan farklı tür iyonların  $F_{Cizgi\_Toplam}-F_{Sür\_1800-1978}$  düzleminde verdikleri eğime karşılık toplam çizgi akılarının değişimi. İyonların sıralanışı Her X-1 ve Cyg X-1'deki ile aynıdır. Hata barları semboller boyutundadır.

rağmen,  $F_{Cizgi}-F_{Süreklilik}$  düzleminde en aşağıda kalan noktalar ("?" işaretiyle gösterilenler) muhtemelen kaynak "yatay kolda" iken, yani sistem en düşük akı halindeyken alınan tayflardan oluşmaktadır.

$F_{Cizgi}-F_{Süreklilik}$  düzleminde görülen çizgilerin verdikleri eğimlere ait dağılım ise Şekil 3.15'da gösterilmektedir. İyonların verdikleri eğime göre dağılımı, hem Her X-1'deki (Şekil 3.9) hem de Cyg X-1'deki (Şekil 3.3) dağılımla aynıdır. Bu ise aynı tür çizgilerin aynı bölgede oluştuğuna dair bir delildir. Son olarak da bu eğimlerin ve toplam çizgi akılarının her iyonun iyonlaşma potansiyeline göre nasıl değiştiğine bakalım (Şekil 3.16). Bu şekilde de görüldüğü gibi iyonların dağılımları tamamıyla Cyg X-1 ve Her X-1'deki ile aynıdır.

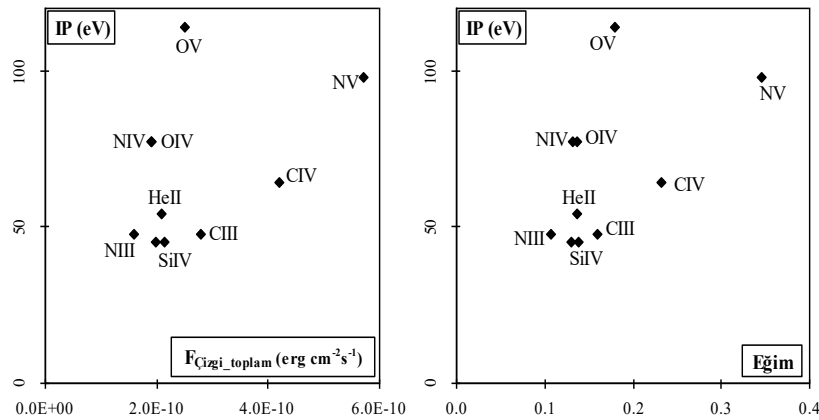
#### 4. Bulgular, Tartışma ve Sonuç

UV tayflarla ilgili yapılan çalışmada elde edilen önemli sonuç şüphesiz ki, X-ışın reprosesinin önemli bir göstergesi olan süreklilik akısıyla çizgi akısı arasında görülen doğrusal bağıntıdır. Her üç sistem için elde edilen, toplam çizgi akısına

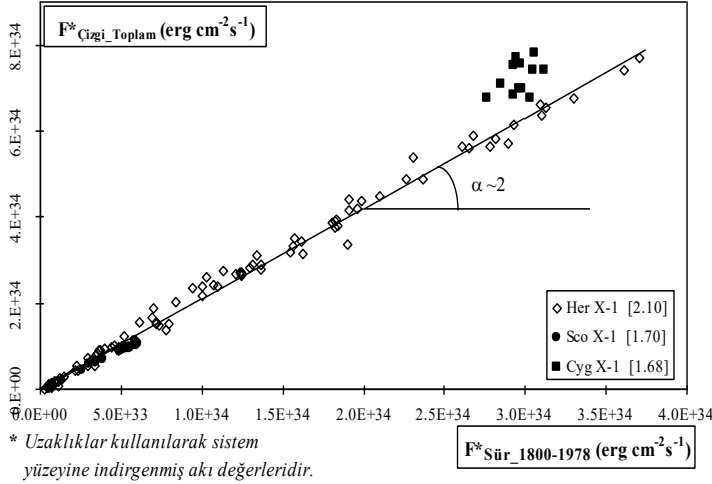
karşılık süreklilik arasındaki bağıntıyı karşılaştırabilmek için, bunları aynı grafik üzerine yerleştirmek mümkündür (Şekil 4.1). Şekilden görüldüğü gibi her üç sistem de, yaklaşık olarak aynı eğimi ( $\alpha \sim 2$ ) vermektedir. Bu ise, X-ışın reprosesinin üç sistemde de aynı verime sahip olduğunu ve benzer mekanizmayla (X-ışınlarının birikim diskinde reprosesi) oluştuğunu göstermektedir. XRBs için  $\alpha \sim 2$  eğimi ortak bir özellik olarak görünmektedir. Bu değerın 2 çıkması, süreklilik akısındaki 1 birimlik artışa karşılık çizgi akısının 2 birim arttığını göstermektedir. Ayrıca bu üç sistemin birbirinden farklı yörünge eğimine sahip olmasına rağmen aynı eğimi vermesi, gözlenen X-ışın reprosesinde yörünge eğiminin önemi olmadığını göstermektedir. Tayflarında salma çizgisi görülen başka kaynaklarda da (örn. RS CVn, AGN gibi), bu ilişkinin dağılımına bakmak ilginç sonuçlar verebilir. Elde edilen eğim açısı, kaynağın türü hakkında ipucu verir nitelikte olabilir.

UV bölgede Cyg X-1'e ait süreklilik ve tayf çizgilerinin evresel değişimi, farklı özellikler sergilemektedir. (Bkz. Şekil 7.1). Bazılarında elipsoidal değişimin izleri görülmektedir. Optik ışık eğrilerine yapılan Fourier fonksiyonu fitinde, kısa dalgaboylarına gidildikçe yansıma etkisinin giderek büyüdüğü açıkça görülmektedir. UV bölgedeki evresel çizgi akısı değişimine büyük oranda diskin katkısı olmakta; ya da bu çizgiler küresel simetrik bir bölgeden gelmektedir. Daha fazla sayıda UV tayf analiz edilerek bu ilişkinin kesinleştirilmesi gerekmektedir.

Her X-1'e ait yörüngesel değişim ise, tamamıyla yansımanın etkisiyle şekillenmektedir (bkz. Şekil 3.7). Nitekim UV ışık eğrilerine yapılan Fourier fitlerinde de yansımanın göstergesi olan  $A_1$  katsayısı büyük çıkmaktadır. Sistemin  $35^\circ$ 'lük presesyonel değişimi,  $1.87^\circ$ 'lük yörüngesel değişime etki etmemektedir. Ayrıca optik ışık eğrilerinde 0.5 (yörüngesel) evresinde görülen ve birikim diskinin optik bileşeni kısmen



**Şekil.3.16.** Sco X-1'in tayflarında görülen salma çizgilerinin iyonizasyon potansiyelleri. Hata barları sembollerin boyutundadır.



Şekil.4.1. Süreklilik ve toplam çizgi akısı arasında görülen bağıntı. Cyg X-1'e ait, çok yüksek ve çok düşük akı veren SWP23357 ve SWP09420 tayfları hariç tutulmuştur. Ayrıca Cyg X-1'in akı değerleri aynı ölçeğe indirgenmek için 1000'e bölünmüştür. Her bir sistemin verdiği eğim köşeli parantez içinde gösterilmiştir. Hata barları semboller boyutundadır.

örtmesine bağlanan zayıf çöküntü (Howarth ve Wilson 1983, Gerend ve Boynton 1976) UV ışık eğrilerinde hissedilmemektedir. Aynı durum Vrtilek ve Cheng (1996)'in 1800Å'deki sürekliliğe karşı yörünge evresini grafike ettikleri bir şekilde de görülmektedir. Vrtilek ve Cheng (1996)'e göre yörüngesel ışık eğrisinde seviye farkına en büyük etkiyi, bileşenler arasındaki kütle aktarım oranı yapmaktadır.

Sco X-1'e ait UV bölgedeki yörüngesel değişim evreye çok sıkı bağlı olmayan bir dağılım sergilemiştir (bkz. Şekil 7.13). Bunun nedeni tayf sayısının azlığından dolayı evre bağımlılığının tam hissedilmemesi olabilir. Yine de sadece parlama (FB) kolundayken elde edilen UV veriler gözönüne alınırsa, yansımadan kaynaklanan, tek pikli yapıda bir ışık eğrisi görmek mümkündür. Sco X-1'e ait UV değişimin asıl nedeni, sistemin X-ışın bölgesinde girdiği durumdur (HB/NB/FB). Bu ise, birikim diskinde oluşan X-ışın reprosesinin UV tayfı nasıl etkilediğinin bir göstergesidir.

X-ışın reprosesinin bir göstergesi olarak kabul edilen süreklilik ile çizgi akıları arasındaki doğrusal bağıntı, daha önce Sco X-1 için Vrtilek vd. (1991) tarafından da elde edilmiştir. Buldukları doğrusal bağıntının eğimi yaklaşık 4 çıkmaktadır ki bu değer bu çalışmada elde edilenin 2 katıdır. Böyle bir fark olmasının nedenleri şunlar olabilir: i) Vrtilek vd. (1991) IR etkisini giderirken  $E(B-V)=0.3$  değerini kullanmışlardır. ii) Süreklilik akısını ve çizgi akısını hesaplarken, yaptıkları fitten buldukları değerleri kullanmışlardır. iii) Çizgi akılarını hesaplarken seçtikleri  $\Delta\lambda$  dalgaboyu aralığı farklı olabilir. iv) Sürekliliği belirledikleri yer 1224-1986Å aralığıdır ve bu bölgeye yaptıkları fitten süreklilik akısını hesaplamaktadırlar ki bu durum süreklilik akısının hesabında bazı hatalara neden olmaktadır. Sco X-1'e ait bazı UV çizgilerin süreklilik ile değişimi Kallman vd. (1991)

tarafından da incelenmiş ve  $F_{\text{çizgi}}-F_{\text{süreklilik}}$  düzleminde her çizginin farklı eğim verdiği belirlenmiştir. Ancak ele aldıkları çizgi sayısı bu çalışmadakinden daha az olmuştur. Kullandıkları süreklilik aralığı, CIV salma çizgisinin komşuluğundaki bölgedir. Muhtemelen bu nedenden dolayı elde ettikleri bağıntılardaki noktalar çok saçılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bağıntılarda saçılma çok azdır. Bunun nedeni, kullanılan çizgi akısı ve sürekliliğe ait akı değerlerinin, herhangi bir fit sonucunda değil, doğrudan tayf üzerinden belirlenmiş olmasıdır. Bu nedenle korelasyonlar öncekilere nazaran çok daha hassastır.

Cyg X-1 ve Her X-1 için  $F_{\text{çizgi}}-F_{\text{süreklilik}}$  bağıntısı literatürde ilk defa elde edilmiştir. Ele alınan tüm sistemler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada sistemlerden birisi (Cyg X-1) farklı bir alt tür olan HMXBs arasından seçilmiştir. Buna rağmen her üç sistem için elde edilen bağıntının da aynı eğimi ( $\sim 2$ ) vermesi, XRBs için bu değer ortak bir özellik olabileceğini göstermektedir. Ayrıca eğimin 2 çıkması, süreklilik artışıyla birlikte çizgi eşdeğer genişliklerin de değişeceğini ispatlamaktadır.

## Kaynaklar

- Augusteijn, T., Karataos, K., Papadakis, M., Paterakis, G., Kikuchi, S., Brosch, N., Leibowitz, E., Hertz, P., Mitsuda, K., Dotani, T., Lewin, W.H.G., van der Klis, M., van Paradijs, J., 1992. *A&A* **265**, 177-182.
- Beech, M., 1985. *Ap&SpcSci*. **117**, 69-81.
- Gerend, D. ve Boynton, P., 1976. *ApJ* **209**, 562-573.
- Giacconi, R., vd., 1962. *Phys. Rev. Lett.* **9**, 439-447.
- Gottlieb, E.W., Wright, E.L., Liller, W., 1975. *ApJ* **195**, L33-L35.