

# SU UMa Tipi Cüce Novaların X-ışını Uydu Verilerinin Spektral Analiz Sonuçları ve Diğer Alt Gruplarla Karşılaştırılması

Metin ALTAN<sup>(1)</sup>, M. Türker ÖZKAN<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.

<sup>(2)</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul.

## Özet

Çalışma kapsamında, SU UMa cüce nova alt grubundan toplam 12 adet cüce nova X-ışını ROSAT gözlemi değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde (RSMF) Isısal Plazma Emisyonu (tam set Raymond-Smith), (BBEF) Kara Cisim (Planck spektrumu), (TBEF) Isısal Bremsstrahlung Modelleri kullanılmıştır. Sonuçta sayım oranı, hidrojen kolon yoğunluğu, sıcaklık, enerjideki akı genişliği, sertlik oranı, emisyon ölçümü gibi, cüce novaların fiziksel özelliklerinin karakteristiğini yansıtan değerler elde edilmiştir. TBEF ve emisyon ölçümünde kullanılan RSMF'nin, cüce novalar için en uygun model olduğu ortaya çıkmıştır. Sertlik oranlarının belirlenmesi ile, incelenen kaynakların yumuşak ve sert X-ışını sınıflandırması yapılmıştır. Elde edilen değerlerin daha sağlıklı irdelenmesi açısından U Gem ve Z Cam tipi cüce nova alt gruplarına dahil olan toplam 5 yıldıza ait X-ışını gözlemleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cüce nova, X-ışını veri analizi, MIDAS, EXSAS

## 1. Giriş

Kataklismik değişenler, baş yıldızı bir beyaz cüce ve yoldaş yıldızı geç tip düşük kütleli bir yıldız olan etkileşen kompakt çift sistemlerdir. Kataklismik değişenlerden yayınlanan X-ışın ve morötesi ışın akıları esas olarak beyaz cüce üzerine yoldaş yıldızdan olan yığışma sonucunda üretilir. Eğer beyaz cücenin zayıf bir manyetik alanı ( $B \leq 10^6$  G) varsa, gelen madde yığışma diskini oluşturur ve maddenin bu akışı beyaz cücenin yüzeyine doğru devam edebilir. Bu yığışma Kepleryen bir disk vasıtası ile oluyorsa, mevcut enerjinin kabaca yarısı madde olarak diskin içinde yayılır ve madde beyaz cücenin yüzeyine ulaştığında diğer yarısı da hala mevcuttur. Böylece yayınlanan ışınımın yarısı yığışma diski ile beyaz cüce arasında diski kesen sınır tabakada oluşabilir. Sıcak bir sınır tabakanın X-ışınlarındaki akının çoğunu yayınladığı beklenebilir. Pringle ve Savonije (1979), kütle yığışım hızı küçükse ( $\dot{m} \ll 10^{16} \text{gs}^{-1}$ ), sınır tabakanın optik olarak ince olduğunu ve  $\sim 10^8$  K sıcaklıklarına kadar ısıtıldığını iddia ettiler. Eğer yığışım hızı yüksekse ( $\dot{m} \gg 10^{16} \text{gs}^{-1}$ ), sınır tabaka optikçe kalın olacak ve  $\sim 10^5$  K lik bir karacisim ışınması yapacaktır. Sınır tabakaya ilaveten X-ışınları yığışma diski veya sınır tabakası rüzgarı veya genişletilmiş sıcak optikçe ince korona tarafından salınabilir.

Yapılan bu çalışmada kataklismik değişen yıldızların bir alt grubu olan cüce novaların ROSAT uydusunun 1990'ların başlarından itibaren yaptığı X-ışını gözlemlerinin bir değerlendirmesi yapılacaktır. Bu amaçla sadece uydu aracılığı ile elde edilebilen X-ışını verileri, genel astrofizik programları kullanılarak indirgenecek ve fiziksel özelliklerini ortaya koyarak yorumlanacaktır. Literatürde bir arada daha önce X-ışını spektral analizi açısından TBEF, RSMF ve BBEF modelleri kullanılarak incelenmeyen 17 cüce novanın analizi hedeflenmiştir.

## 2. Uydu Verileri ve İndirgemeler

Bu çalışmada analizi yapılan cüce novaların uydu verileri, ROSAT (ROntgen SATellite) Uydusu tarafından alınmıştır. 575 km yükseklikte dairesel yörüngede dönerek veri toplayan ROSAT, X-ışını (0.1-2.4 keV) ve XUV (20-200 eV) olmak üzere 2 çeşit teleskopa sahiptir. X-ışını teleskobu (XRT). 3 odaksal düzlem detektör içerir. Bunlardan ikisi 20 yaysaniye pozisyonsal çözünürlüklü PSPC'dir ve ortalama enerji çözünürlüğü 4'den 5 band'a, 0.1'den 2.4 keV'a enerji aralığı olarak verilir. Bu detektörler 2 derece görüntü

alanına sahiptirler. Üçüncü detektör, HRI (High Resolution Imager) yüksek çözünürlüklü görüntüleyici kanal düzlem detektörü, birkaç yaysaniyelik çözünürlüğe izin verir. İndirgeme ve analiz aşamasında ESO-MIDAS (European Southern Observatory–Munich Image Data Analysis System) ve EXSAS (Extended X-ışını Scientific Analysis System) programları kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında kullanılan Spektral Analiz paketi, ışınım yayan cisimlerin enerji durumlarının tanımlandığı sıcaklık, spektral içerik, foton veya enerji akısı, luminosite gibi parametrelere ulaşmak için yakalanan fotonların spektrum indirgemesi işlemini yapmaktadır (EXSAS user-guide). Cüce novaların ROSAT uydu verileri, <http://heasarc.gsfc.nasa.gov> adresindeki HEASARC (High Energy Astrophysics Science Archive Research Center) arşivinden internet aracılığı ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamında cüce novalara ait spektral analiz algoritmaları uygulanmıştır. Çalışmada AB Dra, V426 Oph, WW Cet [a00] ve WW Cet [a01] olmak üzere 3 adet **Z Cam**, RU Peg ve X Leo olmak üzere 2 adet **U Gem**, BZ UMa, CU Vel, CY UMa, OY Car, SS UMi, SU UMa, SW UMa, T Leo, TY PsA, WX Hyi, WZ Sge, YZ Cnc [a01], YZ Cnc [a02], YZ Cnc [n00] olmak üzere 12 adet **SU UMa** alt grubundan toplam 17 cüce nova X-ışını ROSAT gözlemi değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde Isısal Plazma Emisyonu, Kara Cisim, Isısal Bremsstrahlung olmak üzere 3 model üzerinde çalışılmıştır.

### 3. Uygulanan Modeller ve Temel Kavramlar

X-ışını detektörünün sayım oranı (C); foton akısı (F), detektör randıman oranı ( $\eta$ ) ve detektör alanı (A) ifadelerini içerir ve detektörün enerji aralığı üzerinden integraline eşittir:  $C = A \int F(E)\eta(E)dE$ . Foton akısı, bir X-ışını kaynak akısının en açık şekli ile foton/cm<sup>2</sup>/s birimindeki, en basit ölçümüdür. Aynı zamanda akı, temel olarak gerçek X-ışını enerji bandı üzerinde algılanan toplam enerjidir. Genellikle erg/cm<sup>2</sup>/s veya keV/cm<sup>2</sup>/s birimleri ile tanımlanır. Enerji akıları, sadece aynı tayfa sahip kaynaklar için foton akısı ile direkt olarak orantılıdır (Adams, 1980). Kara cisim modelinin uygulaması sonucunda elde edilen değerler; Hidrojen kolon yoğunluğu, enerji akısı değeri ve T sıcaklıktır. Isısal plazma emisyonu modelinin uygulaması sonucunda elde edilen değerler; Hidrojen kolon yoğunluğu, indirgenmiş genlik

$A = \frac{10^{-14}}{(4\pi D_L^2)} \int n_e n_H dV$  (cm<sup>-5</sup>) ve T plazma sıcaklığıdır. Emisyon ölçümü değeri için yıldızın bilinen

uzaklığı D, pc birimindedir.  $1pc = 3.1 \times 10^{18} cm$  olduğu göz önünde bulundurularak,  $EM = \int n_e n_H dv$  olarak

tanımlanan emisyon ölçümü değeri RSMF modelinde hesaplanan indirgenmiş genlik değeri yardımı ile bulunabilir. Emisyon ölçümü ifadesindeki  $n_e$ ; elektron için yoğunluk numarası,  $n_H$ ; hidrojen atomu için yoğunluk numarası. Genel ifadeye değişkenleri yerine koyarsak yıldız için emisyon ölçümü değerine ulaşırız;  $EM = A \times 10^{14} \times 4 \times \pi \times D_L^2 cm^{-3}$ . Isısal Bremsstrahlung modelinin uygulaması sonucunda elde edilen değerler; Hidrojen kolon yoğunluğu, enerji akısı değeri ve T sıcaklık. X-ışını kaynaklarının sertlik oranları, kaynağın fiziksel karakterini yansıtan önemli bir özelliktir. Sertlik oranının temel prensibi, incelenen X-ışını kaynağına ait yüksek enerjili fotonların duyarlı olduğu kanal aralıklarındaki sayımın, düşük enerjili fotonlara duyarlı kanal aralıklarındaki sayıma oranıdır. Oranın büyük olması kaynağın sert X-ışını özelliğinde olduğunu belirtir. ROSAT Uydusunun kanal aralıkları A ve B olarak enerji değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Düşük enerji değerlerinin daha ayrıntılı irdelenmesi için B kanal aralığı C ve D olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Aynı şekilde yüksek enerji değerlerinin daha ayrıntılı analiz edilebilmesi için D kanal aralığı D1 ve D2 olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Böylece tüm yıldızlar için gelen fotonlar, sahip oldukları enerji değerlerine göre ait oldukları kanal sınıfında toplanır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Gelen fotonların toplanacağı ROSAT Uydusunun kanal aralıkları

A	B	C	D	D1	D2
(11-41)	(52-201)	(52-90)	(91-201)	(91-150)	(151-201)
0.1-0.5keV	0.52-2.01keV	0.6-1.1 keV	0.9-2 keV	1.1-1.8 keV	1.8-2.4 keV

Sertlik oranı belirleme aşamasında standart algoritma  $hr_1$  ve  $hr_2$  olarak verilmiştir. Düşük enerjili fotonlara daha duyarlı sertlik oranı değerleri  $hr_3$ ,  $hr_4$  ve yüksek enerjili fotonlara daha duyarlı sertlik oranı değerleri  $hr_5$ ,  $hr_6$  olarak verilmiştir.

$$hr_1 = \frac{(52-201)-(11-41)}{(52-201)+(11-41)}, hr_2 = \frac{(91-201)-(52-90)}{(91-201)+(52-90)}, hr_3 = \frac{(11-41)}{(91-201)}, hr_4 = \frac{(52-90)}{(91-201)}, hr_5 = \frac{(52-90)}{(151-201)}, hr_6 = \frac{(91-150)}{(151-201)}$$

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Sınır tabakanın ışınımını daha fazla çalışmak, daha çok sayıda kataklismik değişenin daha çok gözlemlerini araştırmak gerekmektedir. Böylece bu bölümde, ROSAT uydusu üzerinde bulunan ve sönük cisimleri belirleyebilecek kadar hassas olan "The Position Sensitive Proportional Counter (PSPC)" ile yapılan 17 cüce novanın uydu görüntüleri ve ışık eğrileri oluşturulmuş, sayım oranı, foton indeksi, hidrojen kolon yoğunluğu, sıcaklık, enerjideki akı genliği, sertlik oranı, emisyon ölçümü gibi, cüce novaların fiziksel özelliklerini yansıtan değerler elde edilmiştir. Modele uygunluk eğri fitleri yapılarak  $\chi^2$  testine göre modellerin X-ışını kaynaklarına uygunluk araştırması yapılmıştır. İncelenen yıldızların spektral analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. EXSAS programının standart algoritmaları ile elde edilen değerlerin yanı sıra, daha hassas değerlere ulaşmak amacı ile her değer için hata analizleri yapılarak 2 $\sigma$  hata ile sonuçlar elde edilmiştir (ALTAN, 2002).

Çizelge 2. İncelenen cüce novaların spektral analiz sonuçları.

		hidrojen kolon yoğunluğu ( $\times 10^{21} H \text{ atom / cm}^2$ )	Enerji akısı genliği (keV/cm <sup>2</sup> /s)	Sıcaklık (keV)
AB Dra	BBEF	0,241 <sup>+0.121</sup> <sub>-0.083</sub>	0,00155 <sup>+9.02x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-9.02x10<sup>-5</sup></sub>	0,301 <sup>+0.032</sup> <sub>-0.027</sub>
	RSMF	0,512 <sup>+0.091</sup> <sub>-0.068</sub>	0,00325 <sup>+4.1x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-4.1x10<sup>-4</sup></sub>	3,78 <sup>+3.42</sup> <sub>-1.53</sub>
	TBEF	0,684 <sup>+0.19</sup> <sub>-0.11</sub>	0,00257 <sup>+2.31x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.31x10<sup>-4</sup></sub>	1,77 <sup>+1.34</sup> <sub>-0.57</sub>
V426 Oph	BBEF	0,606 <sup>+0.43</sup> <sub>-0.23</sub>	0,00545 <sup>+6.72x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-6.72x10<sup>-4</sup></sub>	0,545 <sup>+0.067</sup> <sub>-0.064</sub>
	RSMF	2,299 <sup>+0.441</sup> <sub>-0.284</sub>	0,054 <sup>+1.41x10<sup>-2</sup></sup> <sub>-1.41x10<sup>-2</sup></sub>	30.89 <sup>.....</sup> <sub>-24.22</sub>
	TBEF	2,2 <sup>+0.62</sup> <sub>-0.27</sub>	0,0065 <sup>+9.37x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-9.37x10<sup>-4</sup></sub>	56 <sup>.....</sup> <sub>-51.1</sub>
ww cet (a00)	BBEF	0,034 <sup>+0.0280</sup> <sub>-0.0209</sub>	0,00484 <sup>+1.81x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.81x10<sup>-4</sup></sub>	0,276 <sup>+0.170</sup> <sub>-0.145</sub>
	RSMF	0,2176 <sup>+0.023</sup> <sub>-0.023</sub>	0,00945 <sup>+8.27x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-8.27x10<sup>-4</sup></sub>	2,98 <sup>+1.43</sup> <sub>-0.78</sub>
	TBEF	0,324 <sup>+0.044</sup> <sub>-0.040</sub>	0,00774 <sup>+7.59x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-7.59x10<sup>-4</sup></sub>	1,66 <sup>+0.57</sup> <sub>-0.34</sub>
ww cet (a01)	BBEF	0,0002 <sup>+0.017</sup> <sub>.....</sub>	0,00482 <sup>+2.54x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.54x10<sup>-4</sup></sub>	0,2799 <sup>+0.010</sup> <sub>-0.016</sub>
	RSMF	0,177 <sup>+0.029</sup> <sub>-0.026</sub>	0,0112 <sup>+1.6x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-1.6x10<sup>-3</sup></sub>	5,88 <sup>+13.13</sup> <sub>-2.640</sub>
	TBEF	0,2155 <sup>+0.063</sup> <sub>-0.035</sub>	0,00716 <sup>+1.09x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-1.09x10<sup>-3</sup></sub>	3,22 <sup>+3.78</sup> <sub>-1.26</sub>
Ru Peg	BBEF	0,109 <sup>+0.096</sup> <sub>-0.067</sub>	0,00156 <sup>+1.02x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.02x10<sup>-4</sup></sub>	0,2718 <sup>+0.0312</sup> <sub>-0.0312</sub>
	RSMF	0,23 <sup>+0.084</sup> <sub>-0.061</sub>	0,0017 <sup>+2.79x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.79x10<sup>-4</sup></sub>	1,37 <sup>+0.21</sup> <sub>-0.18</sub>
	TBEF	0,489 <sup>+0.145</sup> <sub>-0.112</sub>	0,00267 <sup>+4.82x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-4.82x10<sup>-4</sup></sub>	1,38 <sup>+0.96</sup> <sub>-0.44</sub>
X Leo	BBEF	0,0068 <sup>+0.0296</sup> <sub>.....</sub>	0,00143 <sup>+9.81x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-9.81x10<sup>-5</sup></sub>	0,1839 <sup>+0.0095</sup> <sub>-0.0107</sub>
	RSMF	0,0178 <sup>+0.021</sup> <sub>-0.016</sub>	0,000789 <sup>+9.55x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-9.55x10<sup>-5</sup></sub>	0.3505 <sup>+0.041</sup> <sub>-0.028</sub>
	TBEF	0,249 <sup>+0.053</sup> <sub>-0.048</sub>	0,00267 <sup>+5.21x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-5.21x10<sup>-4</sup></sub>	0,558 <sup>+0.101</sup> <sub>-0.080</sub>
BZ UMa	BBEF	0,0001 <sup>+0.0049</sup> <sub>.....</sub>	0,00333 <sup>+1.81x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.81x10<sup>-4</sup></sub>	0,2038 <sup>+0.0122</sup> <sub>-0.0102</sub>
	RSMF	0,049 <sup>+0.012</sup> <sub>-0.017</sub>	0,00594 <sup>+9.11x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-9.11x10<sup>-4</sup></sub>	2,64 <sup>+1.67</sup> <sub>-0.67</sub>
	TBEF	0,112 <sup>+0.036</sup> <sub>-0.031</sub>	0,00481 <sup>+4.27x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-4.27x10<sup>-4</sup></sub>	1,62 <sup>+0.850</sup> <sub>-0.430</sub>
	BBEF	0,0001 <sup>+0.0086</sup> <sub>.....</sub>	0,000723 <sup>+5.87x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-5.87x10<sup>-5</sup></sub>	0,226 <sup>+0.019</sup> <sub>-0.015</sub>

CU Vel	RSMF	0,075 <sup>+0.0230</sup> <sub>-0.0201</sub>	0,00155 <sup>+2.5x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.5x10<sup>-4</sup></sub>	3,88 <sup>+6.42</sup> <sub>-1.67</sub>
	TBEF	0,13 <sup>+0.049</sup> <sub>-0.048</sub>	1x10 <sup>-6+3.34x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-3.34x10<sup>-4</sup></sub>	2,28 <sup>+2.83</sup> <sub>-0.89</sub>
CY UMa	BBEF	0,0001 <sup>+0.0101</sup> <sub>.....</sub>	0,000389 <sup>+3.85x10<sup>-2</sup></sup> <sub>-3.85x10<sup>-5</sup></sub>	0,183 <sup>+0.014</sup> <sub>-0.012</sub>
	RSMF	0,0101 <sup>+0.0219</sup> <sub>.....</sub>	0,000893 <sup>+5.78x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-5.78x10<sup>-4</sup></sub>	6 <sup>+.....</sup> <sub>-3.37</sub>
	TBEF	0,06 <sup>+0.061</sup> <sub>-0.019</sub>	1x10 <sup>-6+2.69x10<sup>-3</sup></sup> <sub>.....</sub>	1,68 <sup>+1.050</sup> <sub>-0.450</sub>
OY Car	BBEF	0,0 <sup>+0.96</sup> <sub>.....</sub>	0,000448 <sup>+7.79x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-7.79x10<sup>-4</sup></sub>	0,5 <sup>+0.980</sup> <sub>-0.011</sub>
	RSMF	0,5 <sup>+1.601</sup> <sub>-0.16</sub>	0,000675 <sup>+2.37x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-2.37x10<sup>-3</sup></sub>	1,69 <sup>+.....</sup> <sub>-15</sub>
	TBEF	0,0037 <sup>+2.2463</sup> <sub>-0.0027</sub>	0,000219 <sup>+1.4x10<sup>-2</sup></sup> <sub>-1.4x10<sup>-2</sup></sub>	48,2 <sup>+.....</sup> <sub>-47.03</sub>
SS Umi	BBEF	0,08 <sup>+0.376</sup> <sub>.....</sub>	0,000323 <sup>+4.75x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-4.75x10<sup>-3</sup></sub>	0,318 <sup>+0.08</sup> <sub>-0.06</sub>
	RSMF	0,35 <sup>+0.278</sup> <sub>-0.151</sub>	0,000575 <sup>+1.9x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.9x10<sup>-4</sup></sub>	2,51 <sup>+.....</sup> <sub>-1.090</sub>
	TBEF	0,46 <sup>+0.38</sup> <sub>-0.19</sub>	0,000504 <sup>+1.0x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.0x10<sup>-4</sup></sub>	2,13 <sup>+.....</sup> <sub>-0.02</sub>
		<b>hidrojen kolon yoğunluğu</b>	<b>Enerji akısı genliği</b>	<b>Sıcaklık</b>
		( $\times 10^{21} H .atom / cm^2$ )	(keV/cm2/s)	(keV)
SU UMa	BBEF	0,0 <sup>+0.0029</sup> <sub>.....</sub>	0,00445 <sup>+1.34x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.34x10<sup>-4</sup></sub>	0,2399 <sup>+0.0081</sup> <sub>-0.0069</sub>
	RSMF	0,104 <sup>+0.0120</sup> <sub>-0.0104</sub>	0,00919 <sup>+6.87x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-6.87x10<sup>-4</sup></sub>	4,21 <sup>+1.39</sup> <sub>-1.49</sub>
	TBEF	0,164 <sup>+0.0240</sup> <sub>-0.0239</sub>	0,00664 <sup>+2.79x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.79x10<sup>-4</sup></sub>	2,13 <sup>+0.810</sup> <sub>-0.450</sub>
SW UMa	BBEF	0,0 <sup>+0.0052</sup> <sub>.....</sub>	0,00102 <sup>+6.58x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-6.58x10<sup>-5</sup></sub>	0,1827 <sup>+0.0088</sup> <sub>-0.0091</sub>
	RSMF	0,0192 <sup>+0.0126</sup> <sub>-0.0110</sub>	0,00216 <sup>+3.31x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-3.31x10<sup>-4</sup></sub>	3,79 <sup>+2.99</sup> <sub>-1.28</sub>
	TBEF	0,089 <sup>+0.032</sup> <sub>-0.029</sub>	0,00161 <sup>+3.43x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-3.43x10<sup>-4</sup></sub>	1,33 <sup>+0.58</sup> <sub>-0.32</sub>
T Leo	BBEF	0,0 <sup>+0.0058</sup> <sub>.....</sub>	0,00722 <sup>+2.51x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-2.51x10<sup>-3</sup></sub>	0,223 <sup>+0.0099</sup> <sub>-0.0090</sub>
	RSMF	0,0838 <sup>+0.0130</sup> <sub>-0.0128</sub>	0,00589 <sup>+5.99x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-5.99x10<sup>-4</sup></sub>	3,401 <sup>+1.5790</sup> <sub>-1.0210</sub>
	TBEF	0,17 <sup>+0.030</sup> <sub>-0.028</sub>	0,0047 <sup>+6.41x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-6.41x10<sup>-4</sup></sub>	1,42 <sup>+0.460</sup> <sub>-0.290</sub>
TY PsA	BBEF	0,0 <sup>+0.0074</sup> <sub>.....</sub>	0,00166 <sup>+7.35x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-7.35x10<sup>-5</sup></sub>	0,255 <sup>+0.0129</sup> <sub>-0.0108</sub>
	RSMF	0,1275 <sup>+0.0185</sup> <sub>-0.0175</sub>	0,00341 <sup>+3.42x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-3.42x10<sup>-4</sup></sub>	3,499 <sup>+2.481</sup> <sub>-1.129</sub>
	TBEF	0,1901 <sup>+0.0359</sup> <sub>-0.0351</sub>	0,00252 <sup>+3.44x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-3.44x10<sup>-4</sup></sub>	2,198 <sup>+1.242</sup> <sub>-0.618</sub>
WX Hyi	BBEF	0,00179 <sup>+0.025</sup> <sub>.....</sub>	0,00288 <sup>+9.82x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-9.82x10<sup>-5</sup></sub>	0,2699 <sup>+0.014</sup> <sub>-0.013</sub>
	RSMF	0,1708 <sup>+0.017</sup> <sub>-0.016</sub>	0,0057 <sup>+4.45x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-4.45x10<sup>-4</sup></sub>	3,035 <sup>+1.395</sup> <sub>-0.755</sub>
	TBEF	0,262 <sup>+0.033</sup> <sub>-0.031</sub>	0,00452 <sup>+4.34x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-4.34x10<sup>-4</sup></sub>	1,74 <sup>+0.540</sup> <sub>-0.350</sub>
WZ Sge	BBEF	0,0 <sup>+0.00153</sup> <sub>.....</sub>	0,00131 <sup>+5.31x10<sup>-5</sup></sup> <sub>-5.31x10<sup>-5</sup></sub>	0,2123 <sup>+0.0077</sup> <sub>-0.0095</sub>
	RSMF	0,0499 <sup>+0.009</sup> <sub>-0.008</sub>	0,0028 <sup>+2.3x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.3x10<sup>-4</sup></sub>	3,74 <sup>+0.94</sup> <sub>-1.12</sub>
	TBEF	0,089 <sup>+0.022</sup> <sub>-0.021</sub>	0,002 <sup>+1.06x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-1.06x10<sup>-4</sup></sub>	2,78 <sup>+1.33</sup> <sub>-0.78</sub>
YZCnc (a01)	BBEF	0,0 <sup>+0.024</sup> <sub>.....</sub>	0,00589 <sup>+4.52x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-4.52x10<sup>-3</sup></sub>	0,242 <sup>+0.022</sup> <sub>-0.020</sub>
	RSMF	0,108 <sup>+0.036</sup> <sub>-0.032</sub>	0,00423 <sup>+8.54x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-8.54x10<sup>-4</sup></sub>	2,85 <sup>+3.49</sup> <sub>-1.00</sub>
	TBEF	0,199 <sup>+0.072</sup> <sub>-0.063</sub>	0,0035 <sup>+9.34x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-9.34x10<sup>-4</sup></sub>	1,54 <sup>+1.56</sup> <sub>-0.55</sub>
YZCnc (a02)	BBEF	0,0 <sup>+0.055</sup> <sub>.....</sub>	0,00204 <sup>+2.29x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-2.29x10<sup>-4</sup></sub>	0,2701 <sup>+0.038</sup> <sub>-0.033</sub>
	RSMF	0,159 <sup>+0.061</sup> <sub>-0.049</sub>	0,00414 <sup>+1.02x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-1.02x10<sup>-3</sup></sub>	2,52 <sup>+14.68</sup> <sub>-0.260</sub>

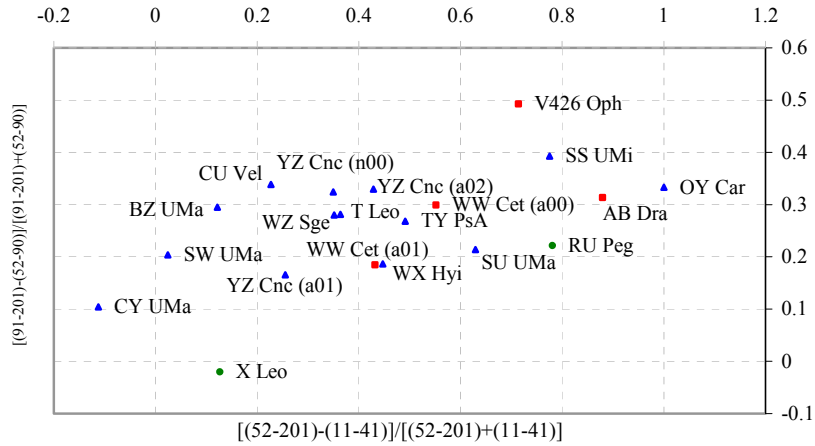
M. Altan ve M. T. Özkan: SU UMa Tipi Cüce Novaların X-Işını Uydu Verilerinin Spektral Analiz Sonuçları ve Diğer Alt Gruplarla Karşılaştırılması

	<b>TBEF</b>	0,253 <sup>+0.085</sup> <sub>-0.103</sub>	0,00321 <sup>+1.01x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-1.01x10<sup>-3</sup></sub>	2 <sup>+4.81</sup> <sub>-0.65</sub>
<b>YZCnc (n00)</b>	<b>BBEF</b>	0,0 <sup>+0.006</sup> <sub>-</sub>	0,00882 <sup>+3.88x10<sup>-3</sup></sup> <sub>-3.88x10<sup>-3</sup></sub>	0,251 <sup>+0.019</sup> <sub>-0.016</sub>
	<b>RSMF</b>	0,1001 <sup>+0.027</sup> <sub>-0.024</sub>	0,00642 <sup>+9.57x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-9.57x10<sup>-4</sup></sub>	2,88 <sup>+3.92</sup> <sub>-1.08</sub>
	<b>TBEF</b>	0,127 <sup>+0.044</sup> <sub>-0.041</sub>	0,00475 <sup>+3.37x10<sup>-4</sup></sup> <sub>-3.37x10<sup>-4</sup></sub>	4,35 <sup>+14.85</sup> <sub>-2.250</sub>

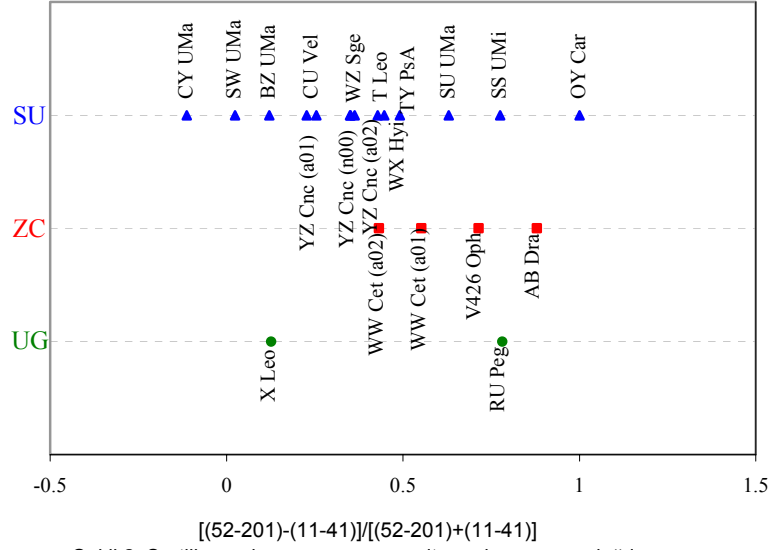
Yıldızların modellere uyumluluğu değerlendirildiğinde; AB Dra ve WW Cet (a01) için en uygun model TBEF olmakla birlikte tüm modeller uygunluk açısından kabul edilebilir sınırlar içindedir. V426 Oph ve SS UMi için en uygun model RSMF'dir, ancak yine diğer tüm modellerin uyumluluk değerleri 2'nin altında olduğu için kabul edilebilir olduğu belirlenmiştir. WW Cet (a00), BZ UMa, CU Vel, CY UMa, SU UMa, SW UMa, T Leo, TY PsA, WX Hyi, WZ Sge, YZ Cnc (a01), YZ Cnc (a02) yıldızları için en uygun model TBEF olarak belirlenmiş, BBDY ve BBEF kara cisim modelleri ise kabul edilebilir sınırların dışında olduğu için uygun bulunmamıştır. Aynı şekilde BBDY ve BBEF modelleri YZ Cnc (n00) içinde uygun değildir fakat bu yıldız için en uygun model RSMF olarak belirlenmiştir. X Leo için uygulanan hiçbir model uygun bulunamamıştır. ROSAT uydusunun enerji aralığı çok düşük X-ışını bölgesine duyarlı olduğundan yüksek enerji değerlerine sahip OY Car için yeterince veri toplanamadığından, model analizleri sonuç vermemiştir. UG grubunda olan RU Peg için ise tüm modeller uygun bulunmuş, ancak en uygun model BBEF olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Yıldızların modellere uyumluluk değerleri

yıldızlar	modele uyumluluk			yıldızlar	modele uyumluluk		
	bbef	rsmf	tbf		bbef	rsmf	tbf
AB Dra	0,85910	1,10087	<b>0,75000</b>	SS UMi	0,53220	<b>0,48850</b>	0,63300
V425 Oph	1,11540	<b>1,06250</b>	1,06397	SU UMa	3,16880	1,56880	<b>1,22460</b>
WW Cet (a00)	2,12680	1,98960	<b>1,55560</b>	SW UMa	3,78840	2,49230	<b>1,40190</b>
WW Cet (a01)	1,63710	1,13500	<b>0,99830</b>	T Leo	2,88375	2,00000	<b>1,08587</b>
RU Peg	<b>1,32900</b>	1,85710	1,60740	TY PsA	2,68700	1,73890	<b>1,49090</b>
X Leo	2,02500	3,95510	2,59790	WX Hyi	2,37380	1,93420	<b>1,49180</b>
BZ UMa	3,03880	1,26640	<b>0,87980</b>	WZ Sge	3,37650	1,34180	<b>1,20180</b>
CU Vel	2,78740	1,07310	<b>0,83420</b>	YZ Cnc (a01)	2,27080	1,55600	<b>1,12390</b>
CY UMa	3,16000	1,88520	<b>1,11680</b>	YZ Cnc (a02)	2,41780	1,84780	<b>1,55420</b>
OY Car	*	*	*	YZ Cnc (n00)	2,64410	<b>1,20950</b>	1,37390

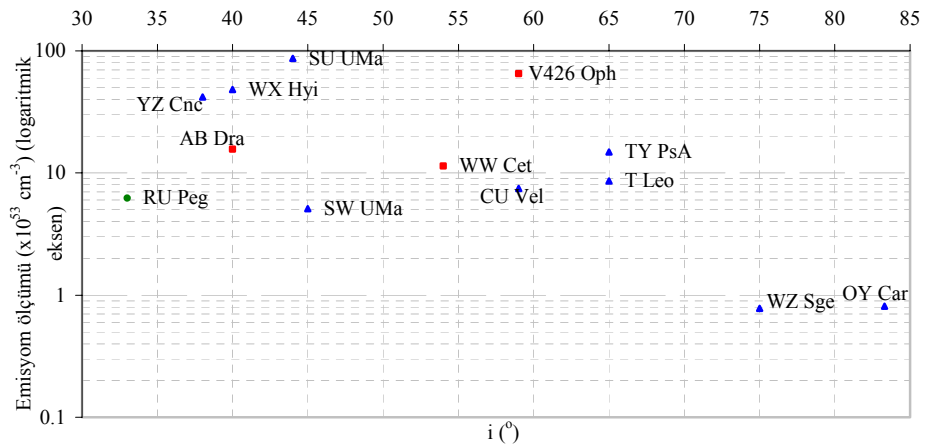


Şekil 1. Yıldızların hr1 ve hr2 sertlik oranı dağılımları



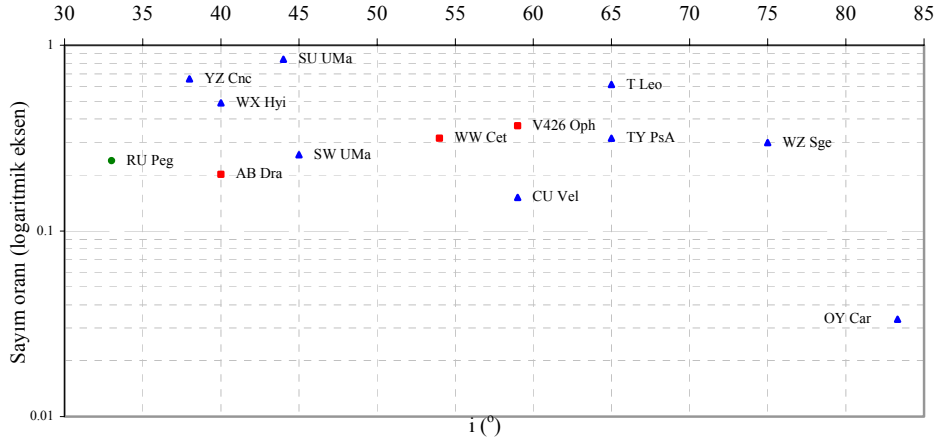
Şekil 2. Sertlik oranlarının cüce nova alt gruplarına göre dağılımı

ROSAT uydusunun yumuşak X-ışını bölgesine duyarlı olmasından dolayı incelediğimiz yıldızların ancak birbirlerine kıyasla sert ve yumuşak X-ışını kaynağı sıralaması yapılabildi. Bu çerçevede analizlerimizi değerlendirdiğimizde, sertlik oranı değerlerine göre yumuşaktan serte doğru bir sıralama yapılmıştır (Şekil 1). Yüksek enerjilere duyarlı kaynakların irdelendiği dikey eksen göz önünde bulundurularak, pozitif değerden negatife doğru daha sert X-ışını kaynakları olduğunu görmekteyiz. Yukarıdan aşağıya doğru sertlik oranı azalmaktadır. Düşük enerjili kaynakların irdelendiği yatay eksen dikkate alındığında ise büyük değerlere gidildikçe daha sert X-ışını kaynakları görülmektedir. Sertlik oranlarının cüce nova alt gruplarına göre dağılımları Şekil 2'de verilmiştir. Sertlik oranının 0.5 değerinden büyük olduğu sistemlerde X-ışını tayfları soğurulmaktadır. Özellikle ZC sistemlerinde bu durum açıkça görülmektedir. Şekil 3 ve 4 incelendiğinde yüksek eğim değerlerine doğru emisyon ölçümü değerleri ve sayım oranı değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir (TEESELING,1994). Bu ilişkilere seçim etkilerinin neden olduğunu belirtmek gerekir. Örneğin bir çok sistemin eğiminde belirsizlikler vardır. Özellikle küçük eğimleri belirlemek zordur. 30°'den küçük cüce novanın olmaması X-ışınlarının büyük bir yüzdesinin beyaz cüceye çok yakın bölgeden çıktığını gösterir.



Şekil 3. Yıldızların eğim açısına göre emisyon ölçümü dağılımı

M. Altan ve M. T. Özkan: SU UMa Tipi Cüce Novaların X-ışını Uydu Verilerinin Spektral Analiz Sonuçları ve Diğer Alt Gruplarla Karşılaştırılması



Şekil 4. Yıldızların eğim açısına göre sayım oranı dağılımı

İncelenen BBEF, TBEF, RSMF modellerinden elde edilen hidrojen kolon yoğunluğu, enerji akısı genliği ve sıcaklık değerlerinin cüce nova alt gruplarına göre ortalamaları alınarak gruplar arasında kıyaslanması yapılmıştır. Tüm modellerde enerji akısı genliğindeki sıralama **ZC>SU>UG** ve sıcaklık değerlerindeki sıralama **ZC>SU>UG** şeklinde olmuştur. Ancak hidrojen kolon yoğunluğu sıralaması BBEF ve TBEF modellerinde **ZC>UG>SU** olmasına rağmen RSMF modelinde **ZC>SU>UG** sıralaması gerçekleşmiştir. Cüce novaların alt grupları dikkate alındığında, enerji akısı genliği ve sıcaklık değerlerinin sıralamasının modelden bağımsız olduğu belirlenmiştir. Tüm modeller dikkate alındığında en yüksek hidrojen kolon yoğunluğu, sıcaklık ve enerji akısı genliği değerlerine sahip cüce nova alt grubu **ZC** alt grubu olduğu belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- ADAMS, D.J., *Cosmic X-Ray Astronomy*, Monographs on Astronomical Subjects 6, Adam Hilger Ltd, Bristol (1980).
- Altan, M., Cüce Novaların X-ışını Uydu verilerinin Analizi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Mart 2002).
- EXSAS (Extended X-ray Scientific Analysis System) <http://wave.xray.mpe.mpg.de/exsas/users-guide>
- Pringle, J. E. ve Savonije, G. J., 1979, MNRAS **187**, 777
- TEESELING, A.V., ROSAT X-Ray Observations of Ten Cataclysmic Variables, *Astronomy and Astrophysics*, **292**, 519-533 (1994).