

MONTE-CARLO YÖNTEMİ İLE PERYODİK X-İŞİN KAYNAKLARININ A-KUBBESİ VERİLERİNDE ARAŞTIRILMASI

Faruk TOKDEMİR, O.D.T.Ü.

ÖZET

X-ışınlarının 150 keV-1200 keV arasına düşen enerji bölgesinde, uzaydaki X-ışın kaynaklarının araştırılması ve bulunması bu tür kaynakların fiziksel özelliklerinin anlaşılmasında önemli katkılarda bulunur. SAS-2 Gama ışınları uydusunun plastik sintilatör olan kubbesi, bu enerji bölgesindeki X-ışınlarına %15 oranında duyarlıdır. Bu nedenle, A-Kubbesi verileri periyodik x-ışın kaynaklarının araştırılmasında iyi bir olanaktır. Ancak bu enerji bölgesindeki yapısal fon ışınımı, verilerin kendine özgü yapısı ve içerdiği diğer olumsuzluklar periyot arama koşullarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu araştırmada, yönsel özelliği olmayan A-Kubbesi verilerinde periyot aramanın olanaklı olup olmadığı, olanaklı ise hangi ölçütlere göre yapılması gerektiği araştırılacaktır. Bu amaçla Monte-Carlo benzetisim yöntemi kullanılacaktır. Uygulama için dönemsellik özellikleri iyi bilinen VelaX-1 X-ışın ikili sisteminin A-Kubbesi verilerinin alındığı zamandaki spin periyodunun hangi koşul ve ölçütlerde aranması gerektiği tartışılacaktır.

Anahtar kelimeler: Monte-Carlo, Benzetisim, X-ışınları, VelaX-1

I- GİRİŞ

1960 lardan beri uzayda X-ışın kaynaklarının araştırılması ve bulunması astronominin en önemli uğraşlarından biri olmuştur. Balonlar, roketler ve uydularla yapılan deneyler bir bileşeni nötron yıldızı olan yüzlerce X-ışın kaynağının bulunmasına neden olmuştur. Bu verilerin ayrıntılı ve dikkatli analizinden nötron yıldızının spin ve dönem periyotlarını, tutulma süresi ve bunlara bağlı diğer özellikler bulunmuştur. Bu bulgulara bağlı olarak modeller geliştirilmiştir. Bu modelleri dahada geliştirmek için yeni verilere gereksinim vardır: Örneğin, bir bileşeni nötron yıldızı olan yakın çift yıldız anılan enerji bölgesinde ısınma yapılmaktadır? Bu ısınma periyodik midir? Periyodik ise SAS-2 yaşam süresinde hangi periyotta ısınma yapılmaktadır?

Esasında Küçük Astronomi Uydusu (SAS-2) bir Gama Işınları kaydedicisidir. Gama ışınlarını kaydeden kıvılcık odasını yüksek enerjili yüklü parçacıklardan korumak ve gereksiz tetiklenmesini önlemek için silindirik biçimde alttan açık bir plastik kubbe ile örtülmüştür. Plastik kubbenin temel görevi, yüksek enerjili yüklü

parçacıkların geldiğini haber verip, kıvılcım odaları sisteminin tetiklenmesini önlemektir. Yani bir veto dedektörüdür. Buna A-Kubbesi (Anticoincidence Dome) denmektedir (Fitchel ve ark. 1975, Tokdemir 1980).

Bu dedektörün bizim için önemli olan özelliği 150 keV-1200keV arasındaki X-ışınlarına duyarlı olmasıdır. Bu veriler ilk kez Ügelaan ve arkadaşları (1975) ve Özel ve ark. (1983) tarafından yüksek enerjili X-ışın patlamalarının araştırılmasında kullanılmıştır. Düzenli X-ışını yapan X-ışın kaynakları belirtilen enerji aralığında çok az araştırılmıştır. Dönemsel ögeleri iyi bilinen X-ışın kaynaklarının spin ve dönem periyotlarının SAS-2 yaşam süresi aralığında (Kasım 1972 ve Haziran 1973) arası) araştırılması bu önemli ögelerin zamana göre nasıl değiştiğinin anlamak bakımından önem taşımaktadır. Ancak %15 oranında X-ışınlarına duyarlı olan A-kubbesi verileri kendine özgü birçok olumsuzluğa sahiptir. Sade bir veri bütünü değildir. Bu nedenle herhangi bir periyot taraması yapmadan önce bu yapısal veride periyot taramanın hangi ölçütler ile yapılması gerektiğinin araştırılması gereklidir. Bu çalışmada bu ölçütlerin neler olduğu anlatılacak ve sonuçlar Vela X-1 periyodik X-ışın kaynağına uygulanacaktır.

II- A-Kubbesi Verilerinin Yapısı

SAS-2 A-Kubbesi, Pilot B adı verilen 1.5 cm kalınlığında plastik maddeden yapılmış bir sintilatördür. Silindirik biçiminde bir fanüsü andıran görünüşünü çimre biçimindeki taban yarıçapı 50 cm dir. Yüzeği 2500 cm² dir. Kubbenin altında 8 adet fotokatodlu tüp vardır ve sintilasyon ışığına çevrilen X-ışınlarını kaydederler. Bu kayıtlara sayım (counts) denir. Sayımları 768 ms lik toplamlar halinde kaydederler. Kayıtların zaman duyarlılığı 1 ms dir. Acısal duyarlılığı yoktur. Etkin veri alma açısı 120 derece olduğu bulunmuştur (Özel ve ark. 1979). Deniz yüzeyinden 550 km yükseklikte dönen uydu bir dönüşünü 5202 saniyede tamamlamakta ve A-Kubbesi yaklaşık bu sürenin yarısında tamamen dünya atmosferine bakarken diğer yarısında tamamen uzaya bakmaktadır. Radyasyon kusaklarından geçerken yüksek sayımlar kaydeder.

Dönüş eksenine göre uydu azayda belli bir yöne birer haftalık sürelerle bakmaktadır. Bu nedenle SAS-2 verileri haftalar cinsinden ifade edilmektedir. Yaşam süresince manyetik bantlara kaydedilmiş 27 haftalık A-kubbesi verisi vardır.

A-Kubbesi yönsüz bir dedektör olmasına rağmen bakış doğrultusunda ancak duyarlı olduğu alan A, Θ nin bir fonksiyonudur. FWHM daki duyarlı alan kesitinin $\Theta_{1/2} = 120^\circ$ olduğu bulunmuştur (Tokdemir 1980). Buna göre ortalama alan-katıyıcı faktörü

$$\langle A\Omega \rangle = A(\Omega) d\Omega = 25000 \text{ cm}^2 \text{ -sr}$$

dir. Buradan, radyasyon kusakları dışında A-Kubbesinin sayacağı ortalama sayım değeri

$$R_p = S_p I_p (>E_p) < A\Omega > \text{ sayım/s}$$

olur. Burada E_p , yüklü parçacıkları kaydetme etkinliği (=1) ve $I_p (>E_p)$ de proton/cm²-s-sr cinsinden kozmik ışın integral ışınımıdır. $E_p > 500$ Mev için bu değer 0.15 dir. Buna göre A-Kubbesinden beklenen ortalama sayım oranı

$$R_p = 1. (0.15) . (25000) = 3700 \text{ sayım/s}$$

dir. Bu gözlenen ortalama değere çok yakındır.

A-Kubbesi verileri 128 e bölünmüş tamsayılar biçimindedir. 1. ve 32. arası sayımların frekansı Şekil 1 de gösterilmiştir. Bu çalışmada 17-30 arası sayımların dağılımı kullanılacaktır.

III- Monte-Carlo Benzetisim Yöntemi

Fiziksel olayları analitik olarak ifade etmek olanaklı olmadığında veya bir fiziksel olayın geleceğe dönük davranışı incelenmek istediğinde bu olayları yapay olarak yaratıp incelemek Monte-Carlo benzetisim yöntemi ile olanaklıdır.

Bizim örneğimizdeki fiziksel olay, bir nötron yıldızından beklenen periyodik bir sinyaldir. Gerçekte yapılan iş, böyle bir sinyalin A-Kubbesi verilerinde görülüp görülemeyeceğidir. Ancak gerçek veri üzerinde bu tür araştırmayı doğrudan yapmak, A-Kubbesi verilerinin bilinen yapısı nedeni ile boşuna araştırma ve bilgisayar zamanının harcanmasına neden olabilir. Araştırmayı sağlam temellere oturtmak gereklidir. Bu nedenle, Adıgeçen yöntem ile böyle bir sinyalin belli bir biçimde olduğunu varsayıp bunu A-Kubbesi verilerine raslantısal biçimde ekleyip, tekrar gözleme koşullarını incelemektir. Bunu yaparken şu adımlar izlenecektir.

1- Raslantısal olarak değiştirilmiş veri yaratmak

A-Kubbesi verilerindeki sayımlar (17-30 arası) gerçek sayımların 128 e bölünmüş şeklidir. Bu nedenle ardışık iki sayım arasında 128 lik bir belirsizlik vardır. Bu belirsizliği yok etmek için Şekil 1 de verilen sayımların frekansından yararlanıldı. Bunun için iki ardışık sayım frekans arası şekilde gösterildiği gibi birleştirildi. Bu şekilde elde edilen poligon kenarları, iki ardışık sayımı birleştiren çizgiler, o sayım frekansı için raslantısal dağılım fonksiyonu (rdf) olarak alındı. 17-30 sayımları arası 13 adet rdf elde edildi. Her ardışık iki sayım frekansı arası gerçek veri yapısına uygun olarak kendi frekans sayısı kadar yeniden yaratılarak 128 olan belirsizlik 1 re ve frekans dağılımında sürekli biçime dönüştürüldü. Bu yolla raslantısal olarak değiştirilmiş, fakat

gerçek veri yapısına uygun bir veri bütünü elde edildi. Bu yöntemin ayrıntısı için Tokdemir (1980) bakınız. Ayrıca, gerçek veri yapısında var olan periyodik olaylar enaza indirilmiş oldu.

ii- Raslantısal olarak dağıtılmış veri üzerine sinyal ekleme

Araştırılacak sinyalin tanımında biçiminin önemli olmadığını varsayarak, şekil 1 de gösterilen poligonu kaynaktan gelen 20 aralıklı faz diagramı olarak alalım. Bu sinyalin periyodu $P_0 = 285.04$ saniye olsun. Başka bir periyot da seçilebilirdi. Ancak VelaX-1 için deney yaptığımızı düşünerek onunkine yakın bir periyot seçildi. Bu sinyalin altındaki alan, fonun (3700 sayım/s) belli bir oranı olsun. Bu oranı $\alpha = 0.0001, 0.0005, 0.002, 0.003, 0.004$ sinyal sayımı/fon sayımı olarak seçelim.

Şimdi sözü edilen faz diagramından elde edilecek sinyali, fon diye adlandırılan raslantısal olarak değiştirilen veriye eklenecektir. Verilerin kayıt aralığı $\Delta t = 0.768$ s dir. Bu nedenle, seçilen şeklin altındaki alanın değiştirmeden $h = P_0 / 0.768$ aralığa çıkarmak gereklidir. Elde edilen h aralıklı sinyal daha önce raslantısal olarak değiştirilen 6 günlük veriye eklendi. Aynı işlem çeşitli α seviyelerinde yapıldı ve değişik veri grupları elde edildi. Yapay olarak yaratılan bu veriler, P_0 periyodunda A-Kubbesinin kaydettiği verilere benzemektedir.

Özet olarak,

Verilerde var olan 128 sayımlık belirsizliği gidermek için, gerçek A-Kubbesi verileri raslantısal olarak değiştirilmiş ve bu belirsizlik 1 re indirilmiştir.

$P_0 = 285.04$ saniyeli periyodik bir sinyal çeşitli α seviyelerinde raslantısal olarak değiştirilmiş A- Kubbesi verilerine eklendi. Periyot katlamadan önce sayımlar tekrar 128 e tam olarak bölünerek esas veriye benzeyen veri yapısı elde edildi.

Elimizde periyot katlamasının zamana bağımlılığını inceleyeceğimiz bir veri yapısı yapay olarak elde edilmiş oldu.

iii. Periyot katlama yöntemi

X-ışın verilerinde periyodik sinyalin araştırılması, veri zamanının belirli bir periyoda göre katlayarak elde edilecek faz diagramının istatistiksel önemine göre yapılır. Bu yöntem en sıklıkla kullanılan yöntemdir. Süresi t saniye olan bir veride P periyodunda sinyal aradığımızı varsayalım. Bu sinyali 20 aralıklı bir faz diagramının istatistiksel değerine göre araştıralım. Bir sayımın verideki kaydediliş zamanı t_1 olsun. t_1 zamanındaki sayımı

$$i = \left(\frac{t_1 - t_0}{P} - \left[\frac{t_1 - t_0}{P} \right] \right) k$$

k= 20 aralıklı bir faz diagramının i ci aralığına koyulacaktır. Burada t_0 bir referans zamanıdır ve genellikle veri başlangıç zamanından küçük olarak seçilir. Köşeli parantez tamsayı bölme ifade eder. t süreli bir veri $n=t/P$ kez katlanarak sayımlar $k = 20$ aralıklı bir faz diagramının çeşitli aralıklarına dağılacaktır. Bu yöntemle t sürenin sonunda 20 aralıklı faz diagramı elde edilecektir. Aralık sayısı değişik seçilebilir. Ancak X-ışınları verileri için çoğunlukla 20 aralıklı faz diagramları kullanılmaktadır. Eğer veri üzerinde P periyotlu bir sinyal varsa sayımlar faz diagramı aralıklarına tercihli olarak dağılacaktır. Raslantısal olmayacaktır. Bunun için elde edilen diagramın istatistiksel değerine bakmak gereklidir:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{20} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sigma^2}$$

Bu denklem χ^2 nin standart tanımıdır. Burada x_i , i nci aralıktaki sayım değerini; \bar{x} , sayımların ortalamasını ve σ^2 de her aralıktaki sayımların standart sapmasını göstermektedir. Her aralıktaki toplam sayım sayısının o aralıktaki sayım sürelerinin toplamına bölünerek elde edilen normalize faz diagramının χ^2 değeri yukarıda verilen denklemle bulunur. Sinyal içeren verideğ elde edilen χ^2 değeri, raslantısal olarak elde edilecek χ^2 değerlerinden yüksek olacaktır.

*Raslantısal olarak değiştirilmiş ve çeşitli α seviyelerinde P_0 periyodu olan sinyal eklenmiş A-Kubbesi verileri yukarıda sözü edilen χ^2 yöntemi ile taranacaktır. Ortalama değer olarak $\sigma^2 = 2 \times 128 = 256$ alınacaktır. Bu yolla A-Kubbesi verilerinde sinyal aramanın nelere bağlı olduğu araştırılacaktır.

IV- Tartışma

a- t ye karşı χ^2 değişimi

χ^2 nin zamana karşı değişimi şekil 2 de verilmektedir. Monte-Carlo benzetisim yöntemi ile, raslantısal olarak yaratılan veri doğru periyotta katlandığında χ^2 zamana karşı doğrusal olarak artmaktadır. Bu düzgün artış, periyodik sinyal taşıyan tüm veriler için geçerlidir. Bu şekilde görüldüğü gibi artış bir t_{min} süresinden sonra başlamaktadır. Örneğin, $P_0 = 285.04$ saniyeli ve $\alpha = 0.002$ seviyeli sinyal için $t_{min} = 2.4$ gündür. Bu ise, bu seviyedeki bir sinyal için $n = 730$ periyot katlamasına karşılık gelmektedir. α seviyesi arttıkça t_{min} azalmakta ve seviye küçüldükçe bu süre artmaktadır. O halde t_{min} , α seviyesindeki bir sinyalin minimum gözleme süresidir.

Aranan sinyalin gerçek tanımı için çeşitli α seviyelerinde farklı süreler için belirli bir X^2 değerine erişmek gerekir. Sinyal tanımı için X^2 'nin enaz değerini 100 olarak seçip α ya karşı t yi çizerseniz şekil 2 yi elde ederiz. Raslantısız olarak değiştirilmiş A-Kubbesi verilerinde çeşitli α seviyelerinde, periyodu ve şekli bilinen bir sinyali bulmak için gerekli süreler gösterilmektedir. Örneğin $\alpha = 0.001$ seviyesindeki bir sinyali görebilmek için enaz $t_{\min} = 10$ günlük veri gereklidir.

b- Sinyal şeklinin belirginleşmesi

Şekil 3 te $t = 6$ günlük veri sonunda çeşitli α seviyelerinde elde edilen faz diagramları görülmektedir. Şekil 17(a), analiz için kullandığımız ve görmeye çalışacağımız sinyalin 20 aralıklı faz diagramı görülmektedir. (b) de sinyal yüklenmemiş ($\alpha = 0$) bir veriden elde edilen faz diagramıdır. Görüldüğü gibi sinyal yokken elde edilen faz diagramı tamamen raslantısaldır. Esasen X^2 değerinde bunu göstermektedir. Alfa seviyesi arttıkça $t = 6$ gün sonunda elde edilen faz diagramları belirginleşmekte ve buna orantılı olarak X^2 değerleri artmaktadır.

c- Periyot kaydırmanın etkisi

Sinyalin gerçek periyodu P_0 dan başka bir P periyodu ile katlama yapıldığında X^2 'nin doğal olarak azalması beklenir. Ancak, $P_0 - P = \pm \Delta P_0$ farkı kritik bir değere, ki bu değer

$$\Delta P_0 = \frac{P_0^2}{t}$$

ile verilmektedir, ulaştığında X^2 değeri tekrar artmaktadır. Bu davranış şekil 4 de gösterilmektedir. Bucceri ve ark. (1977), Gamma ırsınları verilerini katlarken bu tür optik girişim şeklini görmüştür. Şekil 4, iki α seviyesi için gözlenen optik girişim şeklini göstermektedir. $T = 6$ gün sonunda elde edilen bu girişim eğrisinde yan maksimumlar her zaman ana maksimumdan küçüktür.

v- Vela X-1 spin periyodunu gözleme koşulları

Vela X-1 ikili X - ırsınları sistemi ancak çalışılan sistemlerden biridir. Spin periyodunun zamana göre değişimi şekil 5 de gösterilmektedir. Son zamanlardaki gözlemler, spin periyodun zamana göre değişiminin doğrusal olmadığını, fakat sinüsoidal bir değişim içinde olduğunu göstermektedir. 1972 yılındaki spin periyodunun ne olduğunu bulunması bu yapının varlığını doğrulamak açısından önemli olacaktır. Bu tarihte varlığı bilinen tek veri A-Kubbesi verileridir.

Vela X-1 rin Ulmer ve ark. (1975) de elde edilen yumuşak X- ırsınları (3-6 keV) bölgesindeki spektrumunu A-Kubbesi enerji bölgesine uzatıp integre ettiğimizde, bu kaynağın 150 keV - 1200 keV deki ırsınını $I_x = 2 \times 10^{-3}$ ph/cm²-s olduğu bulunur (Tokdemir

1980). Bu değer A-Kubbesi verilerinde $\text{Alfa} = s/f = (2+1) \cdot 10^{-4}$ seviyesini verir. Bu seviyedeki bir sinyalin gözlem süresi ($X^2 = 100$ için) Şekil 6 den $t_{\text{min}} > 20$ gün olarak bulunur. Bu süre gerçek veri yapısı göz önüne alındığında daha da uzun olabilir.

VI- Sonuç

Bu çalışmada Monte-Carlo benzetim yöntemi ile raslantısal olarak değiştirilen A-Kubbesi verilerinde periyodik X-ışın kaynaklarının araştırma yöntemleri geliştirilmiştir. Buna göre, spin periyodu önceden bilinen kaynakların A-Kubbesi yasam süresinde periyodunun ne olduğunun araştırılabileceği anlaşılmıştır. Bu ise periyodik X-ışın kaynaklarının zamana göre nasıl değiştiğinin anlaşılması bakımından önemlidir.

X-ışınları astronomisinde gözlenen spin periyotları çoğunlukla $30 \text{ s} < P < 1000 \text{ s}$ arasındadır. 20 saniyeden küçük periyotların araştırılması, Güneş ve ikili sistem zaman düzeltmelerinin etkisinin olmayacağı düşüncesiyle uygun değildir. Bu çalışmada elde edilen bulgulara ek olarak, gerçek veriler üzerindeki aramalarda,

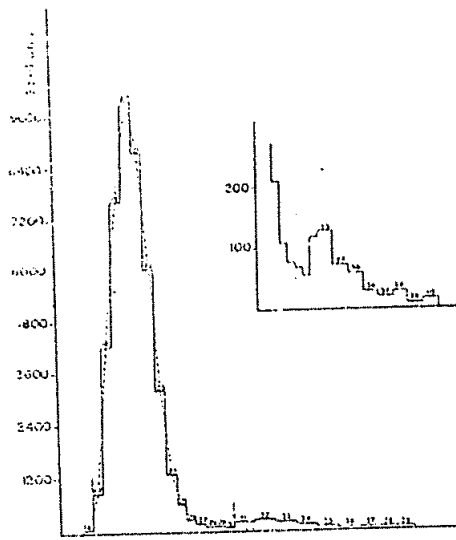
1- Uydunun kaynağa göre tutulma özelliğinden yararlanılmalıdır. Bu, araştırılan periyodun gerçekten varlığı için önemli koşul olacaktır. Uydu kaynağa göre dünyanın arkasında kaldığı sürelerde sözkonusu periyodun gözlenmemesi gerekir.

2- A-Kubbesi enerji bandında sinyal/fon oranı çok düşüktür. Bu ise uzun süreli verinin katlanması gerektirir. Bu nedenle, sayımların Δt sayım süresinin katları cinsinden toplanarak elde edilecek özet veride katlamanın yapılması bilgisayar zamanını açısından yararlı olacaktır.

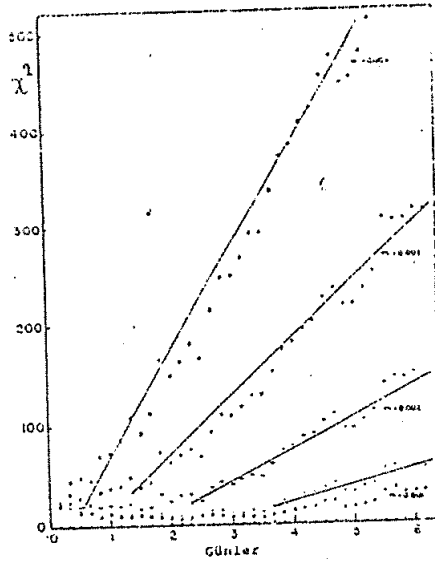
A-Kubbesi verileri, Kasım 1972 ve Haziran 1973 zaman aralığını kapsamaktadır. 150 keV - 1200 keV arasında bilinen tek veri bütünüdür. O halde, Vela X-1 (283 s), CB195 + 5 (59 s), GX 1+4 (122 s) gibi X-ışın kaynaklarının spin periyotlarının sistematik olarak geliştirilen yöntemler doğrultusunda araştırılması bu konuda önemli katkılarda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

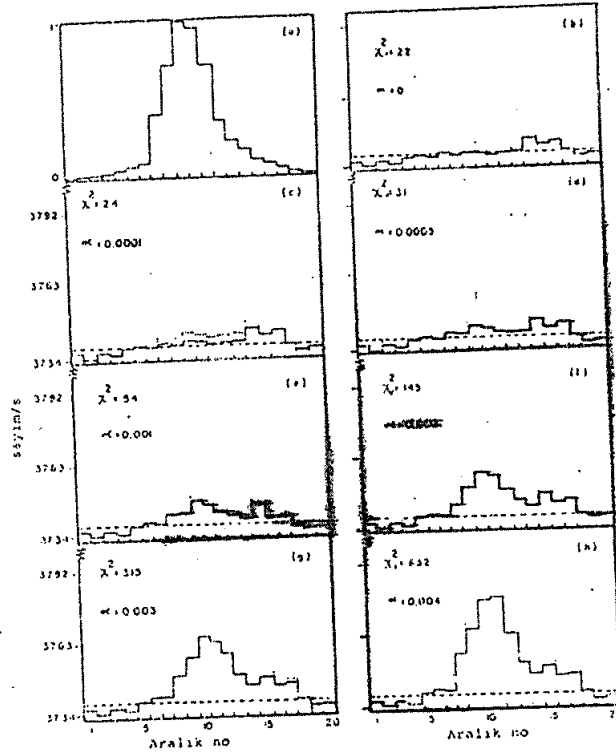
- BUCCHERI, R., D'Amico, N., Kanbach, G. ve Masnou, J.L., 1977, Proceedings of 12 th ESLAB Symposium, Frascati, ESA SP-124
- FITCHEL, C.E., Hartman, R.C., Kniffen, D.A., Thomson, D.J., Bignami, G.F., Ögelman, H., Özel, M.E. ve Tümay, T., 1975, Ap.J., 198(163).
- ÖGELMAN, H., Fichtel, C.E. ve Kniffen, D.A., 1975, Nature, 255(208).
- ÖZEL, M.E., KIZILOĞLU, Ü. ve TOKDEMİR, F. Astron. Astrophys., 1983, 188(114).
- TOKDEMİR, F., 'Observability of Periodic X-ray sources by SAS-2 Anticoincidence Dome', 1980, M.Sc. Thesis, METU, ANKARA.
- ULMER, M.P., 1975, Ap.J., 196(827).



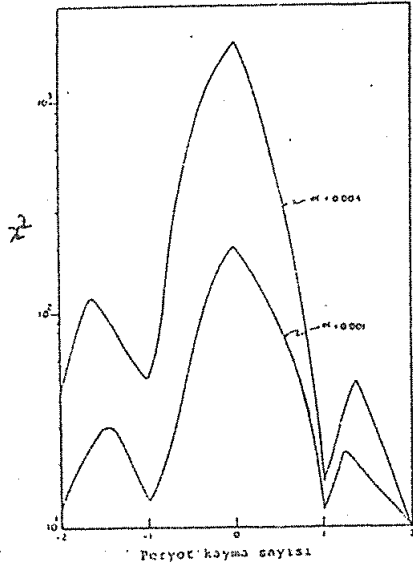
Şekil 1: A-Kubbezi sayımlarının dağılımı



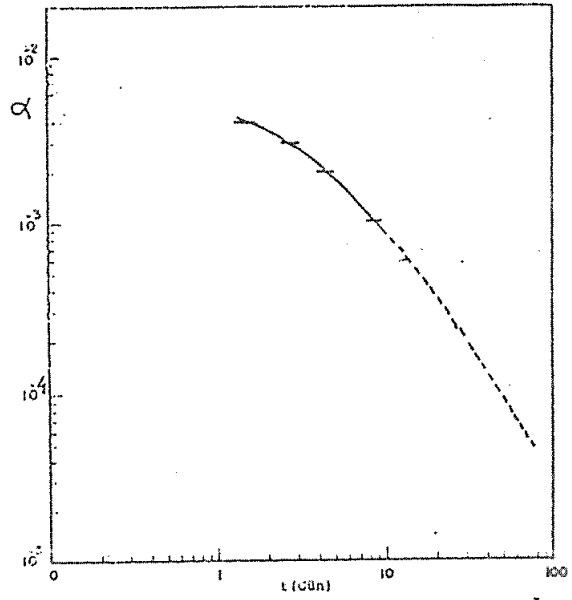
Şekil 2: x^2 nin zamana(t) göre değişimi



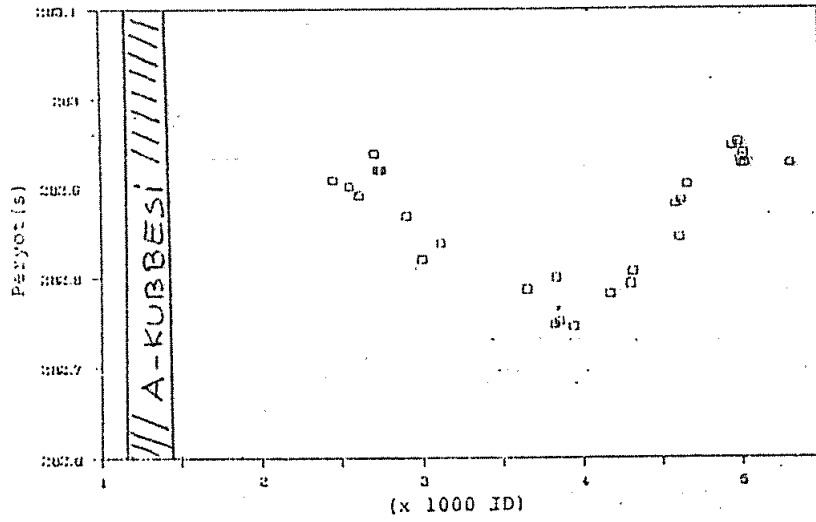
Şekil 3: Çeşitli α seviyelerinde ve t=6 günde ki faz diagramları



Şekil 4: Optik girişim eğrisi



Şekil 6: Çeşitli α seviyelerinde $\chi^2=100$ minimum değerine ulaşmak için gerekli en az gözlem zamanı



Şekil 5: Vela χ -1'in spin periyotları

