



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS

**AKTİF GALAKSİ ÇEKİRDEKLERİNİN X ve GAMA-
IŞINLARINDA GÖZLENEN ZAMANSAL ÖZELLİKLERİ**

Muhammed Diyaddin İLHAN
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

Danışman
Doç. Dr. Tolga GÜVER

HAZİRAN, 2016


İSTANBUL

Bu çalışma 21/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

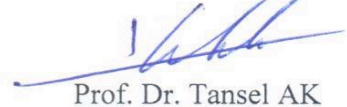
Tez Jürisi:



Doç. Dr. Tolga GÜVER (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. A. Talat SAYGAÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Tansel AK
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Selçuk BİLİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Yard. Doç. Dr. Murat HÜDAVERDİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakülte



Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 48934 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca maddi ve manevi esirgemeyen, her türlü olanağı sağlayan ve tecrübelerini paylaşan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Tolga GÜVER'e çok teşekkür ederim.

Biz yüksek lisans öğrenilere her türlü desteği veren değerli Bölüm başkanımız sayın Prof. Dr. Tansel AK'a ve değerli Bölüm başkan yardımcımız sayın Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Tez çalışmamda değerli fikirleriyle bana yardımcı olan sayın Prof. Dr. Ersin GÖĞÜŞ'e,

Bana emeği geçen, isimlerini sayamadığım hocalarıma ve bölümümüzdeki yüksek lisans odasını paylaştığım değerli lisansüstü arkadaşlarıma,

Çalışmamda beni destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (BAP) ve tez boyunca bursiyeri olduğum 11F271 projesi için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

HAZİRAN, 2016

MUHAMMED DİYADDİN İLHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	x
SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. AKTİF GALAKSİ ÇEKİRDEĞİ (AGÇ)	4
2.2. AGÇ'LERİN SINIFLANDIRILMASI	6
2.2.1. Kuazarlar	7
2.2.2. Seyfert Galaksileri.....	8
2.2.3. Düşük İyonizasyonlu Nükleer Emisyon Bölgeleri (Low-Ionization Nuclear Emission-Line Regions, LINERs).....	9
2.2.4. Radyo Galaksileri.....	9
2.2.5. Blazarlar	11
2.3. AGÇ'LERİN BİLEŞENLERİ	12
2.3.1. Merkezi Karadelik (Super Massive Black Hole, SMBH).....	13
2.3.2. Yığılma Diski.....	14
2.3.3. Jetler	16
2.3.4. Geniş Çizgi Bölgesi (Broad Line Region, BLR)	17
2.3.5. Dar Çizgi Bölgesi (Narrow Line Region, NLR).....	17
2.4. AGÇ'DE İŞİNİM SÜREÇLERİ.....	18
2.4.1. Karacisim Işıması.....	19
2.4.2. Frenleme (Bremsstrahlung) Işıması	20
2.4.3. Compton Saçılması	22
2.4.4. Ters-Compton Saçılması.....	23
2.4.5. Senkrotron Işınımı.....	24

2.4.6. Senkrotron Self-Compton Saçılması (SSC).....	26
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	28
3.1. KULLANILAN VERİNİN SEÇİMİ	28
3.2. UYDU VE ALICILAR.....	32
3.2.1. Fermi LAT (Large Area Telescope)	32
3.2.2. Swift/BAT (Burst Alert Telescope)	34
3.2.3. MAXI (Monitor of All sky X-ray Image).....	36
3.3. ANALİZDE KULLANILAN YÖNTEM.....	37
3.4. PROGRAMAMA VERİ GİRİŞİ.....	40
4. BULGULAR.....	44
4.1. MAXI, SWIFT/BAT VE FERMI/LAT ARASINDAKİ KORELASYONLAR ...	44
4.1.1. BL Lac Cisimleri.....	44
4.1.1.1. <i>Mrk 421</i>	44
4.1.1.2. <i>3C 273</i>	47
4.1.1.3. <i>PKS 0716 + 714</i>	49
4.1.1.4. <i>3C 454.3</i>	51
4.2. MAXI VE SWIFT/BAT ARASINDAKİ KORELASYONLAR	55
4.2.1. BL Lac Cisimleri.....	55
4.2.1.1. <i>IES 0502 + 675</i>	55
4.2.1.2. <i>IES 1011+496</i>	57
4.2.1.3. <i>4C 09.57</i>	59
4.2.2. Seyfert I Galaksileri	61
4.2.2.1. <i>Ark 120</i>	61
4.2.2.2. <i>3C 390.3</i>	62
4.2.2.3. <i>ESO 548 – 81</i>	64
4.2.2.4. <i>FAIRALL 9</i>	66
4.2.2.5. <i>NGC 4593</i>	67
4.2.2.6. <i>NGC 6860</i>	69
4.2.3. Seyfert II Galaksileri	70
4.2.3.1. <i>NGC 7469</i>	70
4.2.3.2. <i>NGC 7172</i>	72
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	74
KAYNAKLAR.....	86
EKLER.....	92

ÖZGEÇMİŞ.....94



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 2. 1:** Bir AGÇ'ye ait gözlenen ışınımın tüm frekanslardaki enerji dağılımı ve ayrıca Şekilde AGÇ'nin radyoda sesli ya da sessiz olması durumu da gösterilmiştir (Schneider, 2015)..... 4
- Şekil 2. 2:** Isısal ve ısısal olmayan mekanizmalar ile ışınım yayınlayan kaynakların ışınım şiddetleriyle frekans değişimleri gösterilmiştir. 5
- Şekil 2. 3:** Bir AGÇ'nin gözlemcinin farklı bakış doğrultusuna göre sınıflandırılması (<http://what-when-how.com/cosmic-gamma-radiation/gamma-ray-astronomy-a-discipline-in-its-own-right-cosmic-gamma-radiation/> [21 Nisan 2016]). 6
- Şekil 2. 4:** AGÇ'nin ait temel bileşenleri (Beckmann ve Shader, 2012). 12
- Şekil 2. 5:** Bir kuazarın merkezi karadeliğinden itibaren ışınım bölgeleri gösterilmiştir (<https://www.bu.edu/blazars/research.html> [21 Nisan 2016]). 18
- Şekil 2. 6:** Farklı sıcaklıklardaki karacisim ışıması (Avdan, 2012)..... 20
- Şekil 2. 7:** Frenleme ışımasının oluşumu (Avdan, 2012) 21
- Şekil 2. 8:** Compton saçılma mekanizması (<http://www.onlinefizik.com/foton-momentumu-ve-isigin-compton-sacilimi/> [9 Temmuz 2016]). 22
- Şekil 2. 9:** Ters-Compton oluşum mekanizması (Avdan, 2012). 23
- Şekil 2. 10:** Senkrotron ışınım mekanizması (Taş, 2013)..... 26
- Şekil 3. 1:** Fermi/LAT'ın temel enstrümanları (Atwood ve diğ., 2007)..... 33
- Şekil 3. 2:** Swift/BAT algılayıcısına ait temel parçalar (Barthelmy ve diğ., 2005)..... 35
- Şekil 3. 3:** MAXI'ye ait ana bileşenler (Matsuoka ve diğ., 2009)..... 37
- Şekil 3. 4:** Bir gün çözünürlüklü sayım ve korelasyon katsayıları gösterilmektedir. Pneller üstten alta doğru 1. keyfi değerler, 2. keyfi değerler ve korelasyon katsayılarını ifade eder. 43
- Şekil 4. 1:** Mrk 421'e ait MJD 55804-55838 gün aralığındaki ışık eğrileri ve ışık eğrilerinin enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmıştır. 46
- Şekil 4. 2:** Mrk 421 kaynağının MJD 55804-55838 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150

- keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir. 47
- Şekil 4. 3:** 3C 273'e ait MJD 55357-55389 gün aralığındaki ışık eğrileri ve ışık eğrilerinin enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmıştır. 48
- Şekil 4. 4:** 3C 273 kaynağının MJD 55357-55389 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir. 49
- Şekil 4. 5:** PKS 0 716 + 714 kaynağının MJD 55835-55888 gün aralığı için enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır. 50
- Şekil 4. 6:** PKS 0716+714 kaynağının MJD 55835-55888 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir. 51
- Şekil 4. 7:** 3C 454.3 kaynağına ait MDJ 56804 – 56869 gün aralığı için enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır. 52
- Şekil 4. 8:** 3C 454.3 kaynağının MDJ 56804 – 56869 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV; MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV; MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir. 53
- Şekil 4. 9:** 3C 454.3 kaynağına ait MDJ 55495 – 55555 gün aralığı için enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır. 54
- Şekil 4. 10:** 3C 454.3 kaynağının MDJ 55495 – 55555 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV; MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV; MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir. 55
- Şekil 4. 11:** 1ES 0502 + 675 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56345-56419 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. 56

- Şekil 4. 12:** 1ES 0502+675 kaynağının MJD 56345-56419 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV, MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 57
- Şekil 4. 13:** 1ES 1011 + 496 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56220-56330 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 58
- Şekil 4. 14:** 1ES 1011 + 496 kaynağının MJD 56345-56419 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 58
- Şekil 4. 15:** 4C 09.57 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56347-56405 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 59
- Şekil 4. 16:** 4C 09.57 kaynağının MJD 56347-56405 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 60
- Şekil 4. 17:** Ark 120 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55764-55999 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 61
- Şekil 4. 18:** Ark 120 kaynağının MJD 55764-55999 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 62
- Şekil 4. 19:** 3C 390.3 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56080-56149 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 63
- Şekil 4. 20:** 3C 390.3 kaynağının MJD 56080-56149 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 64
- Şekil 4. 21:** ESO 548-81 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56238-56305 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 65
- Şekil 4. 22:** ESO 548-81 kaynağının MJD 56238-56305 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta

- doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 65
- şekil 4. 23:** Fairall 9 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 57178-57235 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15150 keV olarak sıralanmaktadır..... 66
- şekil 4. 24:** Fairall 9 kaynağının MJD 57178-57235 gün zaman aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller stten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 67
- şekil 4. 25:** NGC 4593 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55515-55609 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 68
- şekil 4. 26:** NGC 4593 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55515-55609 gün zaman aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller stten alta doğru sırayla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 68
- şekil 4. 27:** NGC 6860 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55880-55950 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 69
- şekil 4. 28:** NGC 6860 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55880-55950 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller stten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 70
- şekil 4. 29:** NGC 7469 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55460-55538 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 71
- şekil 4. 30:** NGC 7469 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55460-55560 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller stten alta doğru sırayla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir..... 71
- şekil 4. 31:** NGC 7172 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56875-56935 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır..... 72
- şekil 4. 32:** NGC 7172 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56875-56935 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller

üstten alta doğru sırayla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir. 73

Şekil Ek 7 .1: Tez kapsamında kullanılan günlük ortalama ile beraber her yörünge geçişinde tespit edilen fotonlar gösterilmektedir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4keV, MAXI 4-10keV, MAXI 10-20keV ve Swift/BAT 15-150keV olarak sıralanmaktadır. Günlük ortalamaya dahil olan ve her yörünge geçişinde elde edilen fotonlar en üst panelde yeşil ve diğer panellerde mavi renk olarak gösterilmiştir. 92



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3 1: MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT için verilen AGÇ alt sınıflarının istatistiği.....	29
Tablo 3 2: Tez kapsamında kullanılan kaynakların hangi uydu ve algılayıcı tarafından gözleendiği gösterilmektedir.	29
Tablo 5. 1: MAXI (2-20 keV, 2-4 keV, 2-10 keV, 10-20 keV), Swift/BAT (15-150 keV) ve Fermi/LAT (0.1-300 GeV) ışık eğrilerine ait korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.	76
Tablo 5. 2: BL Lac cisimlerine ait MAXI (2-4 keV, 4-10 keV) ile Swift/BAT (15-150 keV) arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.....	77
Tablo 5. 3: Seyfert I galaksilerine ait MAXI (2-4 keV, 4-20 keV) ile Swift/BAT (15-150 keV) arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.	79
Tablo 5. 4: Seyfert II galaksilerine ait MAXI (2-4 keV, 4-10 keV) ile Swift/BAT (15-150 keV) arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.	82
Tablo Ek 7.1: Tez kapsamında kullanılan kaynakların ekvatorial koordinatları, kırmızıya kayma değerleri ve optik parlaklıkları verilmiştir.....	93

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
z	: Kırmızıya kayma
γ	: Lorentz Faktörü
M_{\odot}	: Güneş kütlesi birimi
σ	: Sigma

Kisaltmalar	Açıklama
AGÇ	: Aktif Galaksi Çekirdeği
BAT	: The Burst Alert Telescope (Patlama Alarm Teleskobu)
BL Lac	: BL Lacertea
BLR	: Broad Line Region (Geniş Çizgi Bölgesi)
CCF	: Cross Correlation Function (Çarpaz Korelasyon Fonksiyonu)
DCF	: Discrete Correlation Function (Kesikli Korelasyon Fonksiyonu)
FSRQ	: Flat Spectrum Radio Quasar (Düz Spektrum Radyo Kuazarı)
FWHM	: Full Width Half Maximum (Tam Yüksekliğin Yarı Genişliği)
JAXA	: Japan Aerospace Exploration Agency
LAT	: Large Area Telescope (Geniş Alan Teleskobu)
MAXI	: Monitor of All Sky X-ray Image
MJD	: Modified Julian Date (Düzenlemiş Jülyen Zamanı)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NLR	: Narrow Line Region (Dar Çizgi Bölgesi)
SMBH	: Super Massive Black Hole (Süper Kütleli Kara Delik)
SSC	: Synchrotron self-Compton
pc	: Parsek
UV	: Ultraviyole (Morötesi)
VHE	: Very High Energy (Çok Yüksek Enerji)
ZDCF	: Z- transformed Discrete-Correlation Function

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKTİF GALAKSİ ÇEKİRDEKLERİNİN X ve GAMA-IŞINLARINDA GÖZLENEN ZAMANSAL ÖZELLİKLERİ

Muhammed Diyaddin İLHAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tolga GÜVER

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında aktif galaksi çekirdeklerine (AGÇ) ait X-ışın ve gama-ışınları arasındaki korelasyonlar ve zaman gecikmeleri üzerine çalışılmıştır. Bunun için, MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT'ın sürekli gözlediği kaynaklara ait ışık eğrileri kullanılmıştır. X-ışınları (2-20 keV) ile gama-ışınları (0.1-300 GeV) ve X-ışınlarının (2-4 keV, 2-10 keV, 10-20 keV ve 2-20 keV) farklı enerji aralıkları arasındaki korelasyonlar ZDCF programı ile hesaplanmıştır. X-ışın ve gama-ışınları arasındaki korelasyon ve zaman gecikmelerinin nedeni senkrotron self-Compton (SSC) saçılması yapmasıdır. SSC modeline göre, senkrotron ışınımı düşük enerjili foton üretilmesinden sorumlu iken, buna neden olan rölativistik elektronlar da ters-Compton mekanizması ile yüksek enerjili fotonların üretilmesine neden olmaktadır. Tez kapsamında kullanılan kaynaklar BL Lac cisimleri, Seyfert I ve Seyfert II galaksilerinden oluşmaktadır. BL Lac cisimlerine ait korelasyon sonuçları literatürdeki çalışmalar ile tutarlılık göstermiştir. Seyfert I ve Seyfert II galaksilerine ilişkin sonuçlar BL Lac cisimleri ile uyumluluk göstermiştir.

Haziran 2016, 107 sayfa.

Anahtar kelimeler: Aktif Galaksi Çekirdeği (AGÇ), X-ışınları, Gama-ışınları.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

THE OBSERVED TIMING PROPERTIES OF THE X and GAMMA-RAYS FROM ACTIVE GALACTIC NUCLEI

Muhammed Diyaddin ILHAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Tolga GÜVER

In this thesis, the correlations and time delays between X-rays and gamma-rays of Active Galactic Nuclei (AGN) were studied. In order to analyze the light curves of these sources, observations from MAXI, Swift and Fermi were used. The correlation between X-rays (2-20 keV) and gamma-rays (0.1-300 GeV), and various bands of X-rays (2-4 keV, 2-10 keV, 10-20 keV ve 2-20 keV) were calculated by using Z-transform Discrete Correlation Function (ZDCF). Synchrotron self-Compton (SSC) scattering is thought to be one of the reasons behind the correlations and time delays between X-rays and gamma-rays. According to the SSC model while the synchrotron mechanism is the reason for low energy photons, the relativistic electrons, which are responsible for the synchrotron radiation, creates high energy photons via inverse-Compton scattering. Within the thesis, BL Lac, Seyfert I and Seyfert II galaxies are used. The results from BL Lac are in agreement with that given in literature. Results for Seyfert I and II galaxies are found to be consistent with that obtained for BL Lacs.

June 2016, 107 pages.

Keywords: Active Galactic Nuclei (AGN), X-rays, Gamma-rays.

1. GİRİŞ

Evrenimizde sayısız galaksi mevcut olup bu galaksiler fiziksel yapıları açısından pek çok farklı özellikler gösterir. Bu galaksiler içinde merkezi bölgelerinde belirgin aktiviteler gösterirler. Bu tür galaksilere Aktif Galaksi Çekirdeği (AGÇ) içeren galaksiler denir. Bu galaksiler elektromanyetik tayfın çok geniş aralığında ışınım yayarlar. Bu ışınımın sebep olarak, merkezlerindeki süper kütleli bir karadeliğe (Super Massive Black Hole, SMBH) ve onun etrafında kütle aktaran bir yığılma diskinin mevcut olması gösterilmektedir. Merkezlerindeki süper kütleli bir karadeliğe ve etrafındaki yığılma diski ile dinamik bir yapıya sahip olan bu gök cisimleri, elektromanyetik tayfın hemen hemen tümünde, yani radyodan X-ışınlarına hatta çok yüksek enerjili gama-ışınlarına (TeV) kadar, ışınım yayarlar. Bu ışınımın üretildiği mekanizma ısısal ya da ısısal olmayan süreçler sebebiyle oluşmuş olabilir. Dolayısıyla, böyle bir yapıya sahip galaksiler oldukça parlaktır ve Evrenin en uzak noktalarından dahi gözlenebilir.

AGÇ'lerde gözlenen ışınımı oluşturan mekanizmalar: Isısal ve ısısal olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Optikçe kalın bölgelerden gelen kara cisim ışınımı ve optikçe ince gazdan gelen frenleme (Bremsstrahlung) ışınımı ısısal bir ışınım mekanizmasıdır. Manyetik alan boyunca hızlanan parçacıkların oluşturduğu senkrotron ışınımı ve bu ışınımdan kaynaklanan yani bu ışınımın sebebiyet verdiği Compton saçılması ve ters-Compton saçılması ise ısısal olmayan ışınım mekanizmalarıdır. Ayrıca, sistem dışından gelen fotonlar yani; yığılma diskinden, dar ve geniş emisyon bölgelerinden, torustan (kara delik etrafından yığılma diskini çevreleyen simit benzeri şekle sahip görece soğuk bölge) veya bir yıldızda üretilen fotonların jetin içinde yine Compton saçılması yapması (dış Compton) sonucu yüksek enerjili foton üretilebilmektedir.

AGÇ'ler kendilerini diğer galaksilerden ayıran temel bazı özelliklere sahiptirler. Bunlar; merkezlerinde süper kütleli bir karadeliğin olması ($10^5-10^{10} M_{\odot}$) ve daha önemlisi bu kara deliğin aktif olarak kütle aktarımı yapıyor olması, bu kütle aktarımı

sebebiyle parlaklıklarının normal galaksilere göre çok fazla olması (~1000 kat), tüm elektromanyetik tayfta ışınım yapabilmeleri olarak gösterilmektedir. AGÇ'ler gözlemsel özelliklerine göre kendi aralarında da pek çok alt sınıflara ayrılırlar. Bunları kuazarlar, seyfertler ve blazarlar olarak sıralamak mümkündür.

Bir AGÇ'nin merkezindeki süper kütleli karadeliğe üzerine düşen materyalin oluşturduğu yığılma diski, ağırlıklı olarak optik, morötesi (*UV*) ve düşük enerjili X-ışınlarının üretilmesinden sorumludur. Yüksek hızla dönen diskin iç kısmında kara deliğin neden olduğu jetlerden; karadeliğin etrafında manyetik alan boyunca hızlanan parçacıklar, radyo ve çok yüksek enerjili fotonlar yani sert X-ışınları ve gama-ışınlarının üretilmesine neden olurlar. Jetlerin içinde oluşan Compton, ters-Compton ve senkrotron self-Compton saçılmaları gibi mekanizmalar yüksek enerjili parçacıkların ve fotonların üretilmesine neden olur. Dolayısıyla, AGÇ'ler ışınım üreten bir çok mekanizmayı aynı anda barındırırlar. Daha çok jette üretilen X-ışın ve gama-ışın fotonları aynı mekanizma içerisinde üretildiğinden, gözlenen X-ışın ve gama-ışınları arasında güçlü korelasyonlar bulunması mümkündür. X-ışın ve gama-ışınları arasında bir uyumun olup olmadığını, kullanılan korelasyon yöntemleri ile araştırmak mümkündür. Kullanılan bu yöntemler: Çarpaz Korelasyon Fonksiyonu (Cross-Correlation Function, CCF), Kesikli Korelasyon Fonksiyonu (Discrete-Correlation Function, DCF) ve Z-Dönüşüm Kesikli Korelasyon Fonksiyonu (Z-transform Discrete Correlation Function, ZDCF) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tez kapsamında Fermi, Swift ve MAXI gibi NASA ve JAXA tarafından uzaya gönderilmiş uydu ve algılayıcıların düzenli olarak takip ettikleri AGÇ'lerin X-ışın ve gama-ışın verileri halka açık web sitelerinden alınmıştır. Gereken analizlerin yapılması ve X-ışın ve gama-ışın dalga boylarında elde edilen verilerin zamanla gözlenen değişimleri analiz edilmiş ve X-ışın ve gama-ışın dalga boyları arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Eğer X-ışınları ile gama-ışınları benzer mekanizmalar ile üretiliyor ise, bu iki bölgeden gelen ışınım zamanla gözlenen akı değişimleri arasında güçlü bir uyumun olması beklenir. Diğer yandan ışınım üretilme mekanizması aynı ya da birbirleri ile ilintili, fakat fotonların üretildikleri bölgeler farklı ise dalga boyları arasında gözlenen değişimde belirli bir zaman gecikmesi

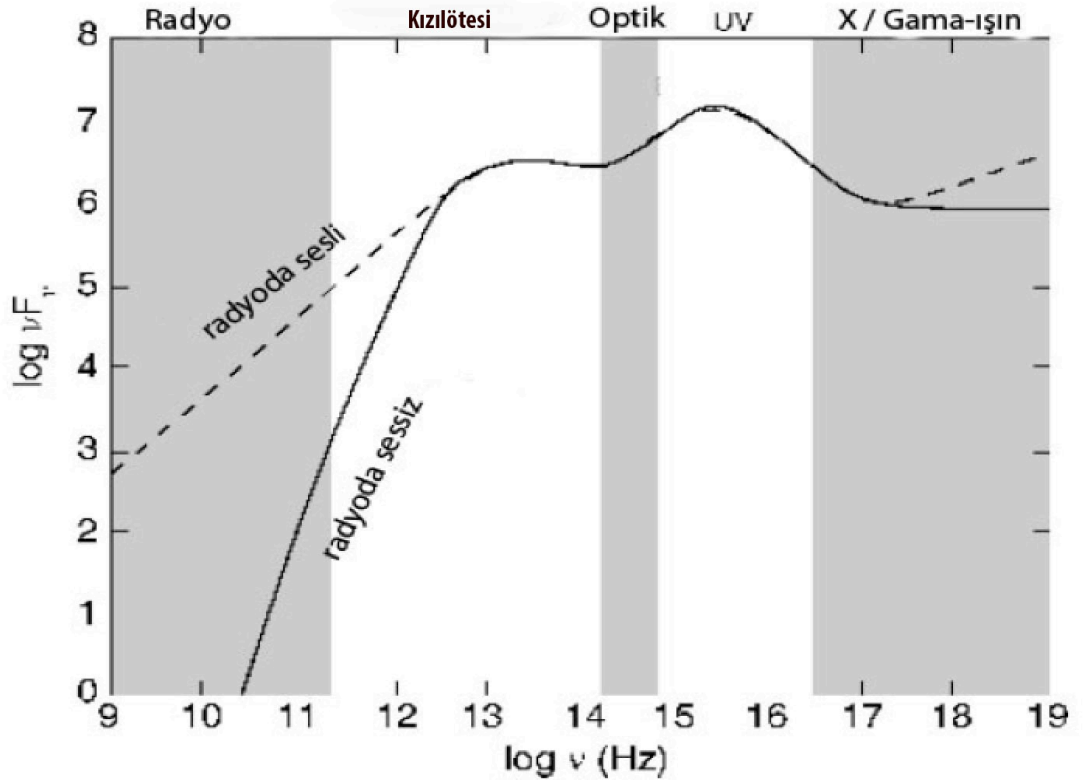
beklenir. Bu kapsamda ışık eğrileri arasındaki korelasyonlar araştırılırken, yine ışınım üretilme bölgeleri arasındaki zaman gecikmeleri de incelenmektedir.



2. GENEL KISIMLAR

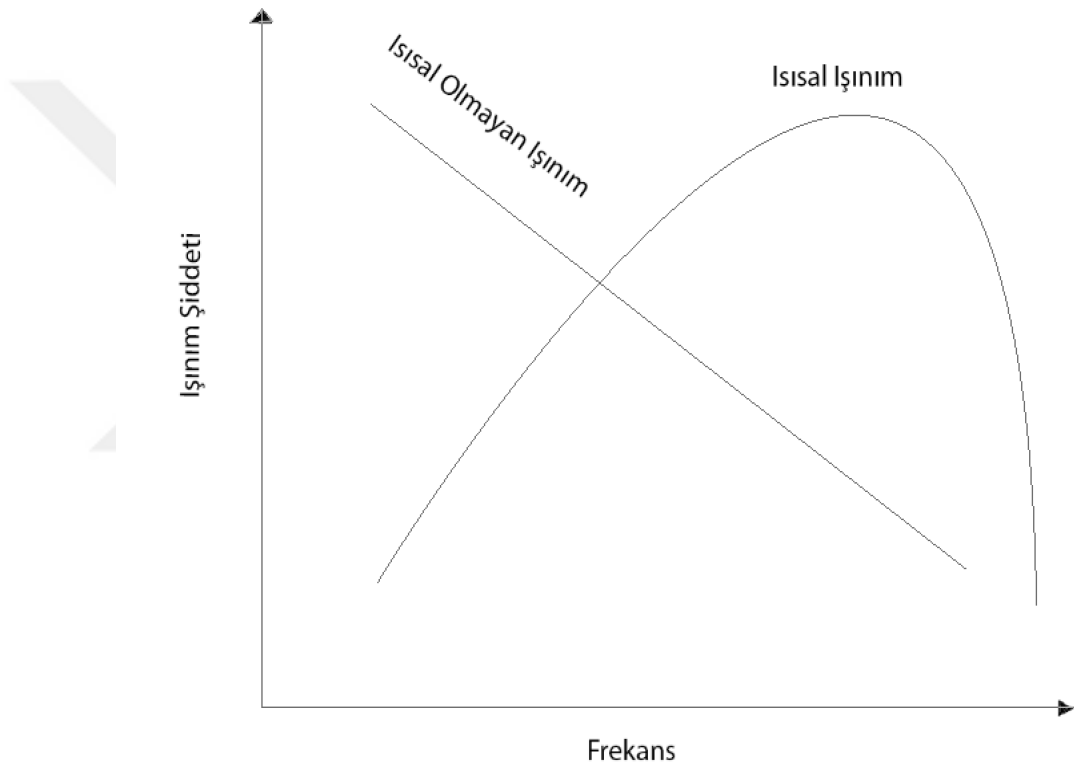
2.1. AKTİF GALAKSİ ÇEKİRDEĞİ (AGÇ)

AGÇ'ler Evrende bilinen sürekli ışınım yapan en parlak gök cisimleridir ve ortalama ışınım güçleri $10^{41} - 10^{47}$ erg sn⁻¹ dir (Mallick ve diğ., 2016). En genel karakteristik özellikleri şöyle sıralanabilir: Merkezlerindeki süper kütleli bir karadeliğe ve etrafındaki yığılma diski, Evrendeki en parlak sürekli kaynaklar olarak gözlenmeleri, elektromanyetik tayfın tümünde ışınım yapmaları (Bkz. Şekil 2.1), optik bantta çok güçlü ve geniş emisyon çizgilerinin ($v \sim 10,000$ km sn⁻¹) gözlenmesi gibi. Akıları radyo bölgeden gama-ışın bölgelerine kadar, normal bir galaksinin toplam ışınımından yaklaşık 1,000 kat daha fazla olabilir, dolayısıyla bu da Evrenin en uzak köşelerinden bile gözlenebilmelerine olanak sağlar.



Şekil 2. 1: Bir AGÇ'ye ait gözlenen ışınımın tüm frekanslardaki enerji dağılımı ve ayrıca Şekilde AGÇ'nin radyoda sesli ya da sessiz olması durumu da gösterilmiştir (Schneider, 2015).

Gelen ışınım normal galaksilerin aksine tipik olarak noktasal bir kaynak benzeri uzaysal olarak çözümlenemeyen bir bölgeden gelir ve kısa zaman ölçeklerinde (gün, ay, yıl mertebesinde) akıda önemli değişimler meydana gelebilir. AGÇ’de ışınım, ısısal ve ısısal olmayan süreçlerle oluşur. Isısal ışınım Planck kanunu ile ve ısısal olmayan ışınım ise genelde güç kanunu (Power-law) modeli ile ifade edilir (Şekil 2.2).



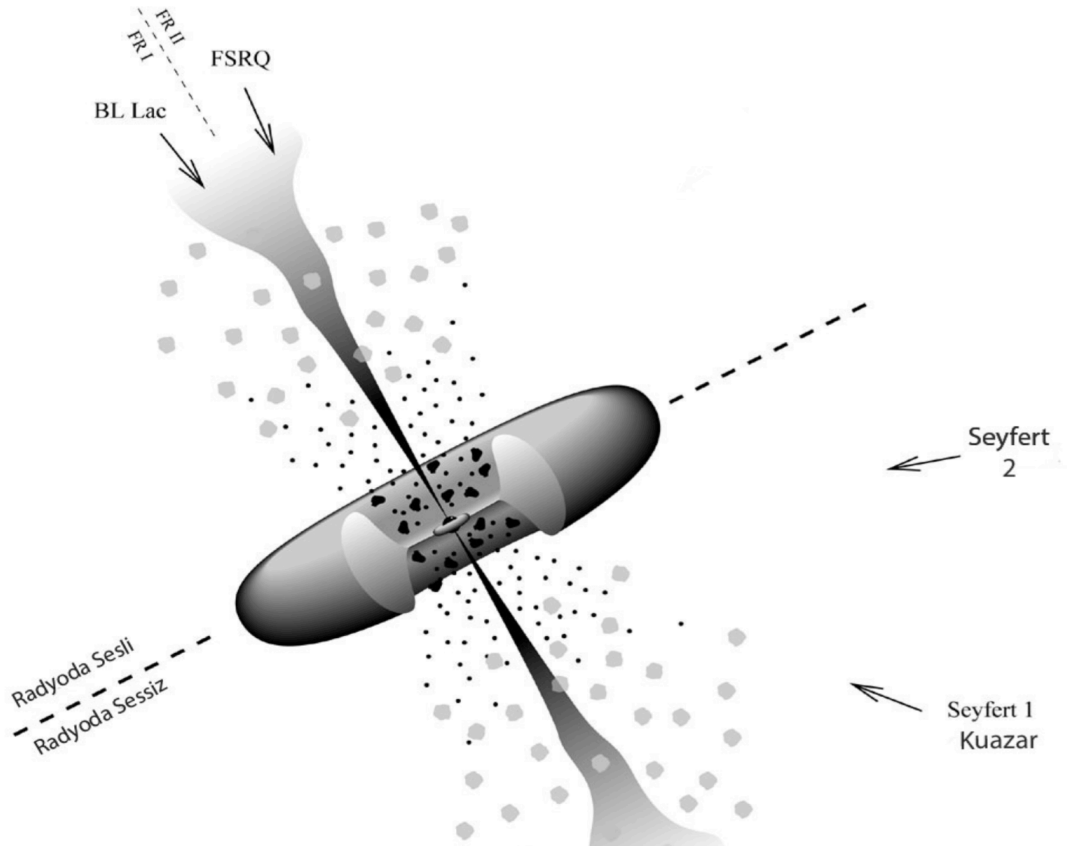
Şekil 2. 2: Isısal ve ısısal olmayan mekanizmalar ile ışınım yayınlayan kaynakların ışınım şiddetleriyle frekans değişimleri gösterilmiştir.

AGÇ’de görülen ışınım mekanizmaları, karadelik etrafında çok hızlı dönen yığılma diskinin oluşturduğu optik, *UV* ve *X*-ışınları ile bu yığılma diskinden karadelik üzerine düşen parçacıkların manyetik alan etkisi ile oluşan senkrotron, Compton ve ters-Compton saçılmasıyla meydana gelmektedir. Ayrıca optik tayflarında güçlü emisyon çizgileri görülür. Bu bağlamda tüm AGÇ’ler aynı ışınım mekanizmasına sahip iseler, o zaman AGÇ alt sınıflaması nasıl yapılır sorusuna; galaksiye olan gözlemcinin bakış açısı burada ayırıcı bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü

AGÇ'ye bakan gözlemci farklı açılardan farklı ışınım akıları gözlemler dolayısıyla gelen ışınım akıları arasındaki fark sınıflama hakkında fikir verir. Genel olarak bu kaynaklar gözlemsel özelliklerine göre de kuazarlar, blazarlar, BL Lac cisimleri, Seyfert I ve Seyfert II galaksileri gibi pek çok alt sınıfa ayrılırlar (Urry ve Padovany, 1995).

2.2. AGÇ'LERİN SINIFLANDIRILMASI

AGÇ'ler gözlemsel özelliklerine göre kendi aralarında alt sınıflara ayrılır. Gözlemcinin bakış açısına göre gelen akı miktarı AGÇ'nin sınıfını belirler. Örneğin kuazarlar AGÇ'ye ait jetin içine doğru bakmaktır (Şekil 2.3). Ancak, bazı durumlarda gözlemcinin bakış doğrultusuna ek olarak emisyon çizgilerinin dar-geniş olması durumu da ayırıcı bir faktör olmaktadır (örn: Seyfert galaksileri).



Şekil 2. 3: Bir AGÇ'nin gözlemcinin farklı bakış doğrultusuna göre sınıflandırılması (<http://what-when-how.com/cosmic-gamma-radiation/gamma-ray-astronomy-a-discipline-in-its-own-right-cosmic-gamma-radiation/> [21 Nisan 2016]).

2.2.1. Kuazarlar

Kuazarlar, radyo kaynağı olarak keşfedilen AGÇ'lerin ilk alt sınıfıdır. Hemen hemen tüm dalga boylarında ışınım yayarlar. Akıllarında gözlenen değişimin zaman ölçekleri küçük olup optik spektrumları oldukça mavidir. Çoğu kuazarın renk indeks $U-B < -0.3$ ve kırmızıya kaymaları $z \lesssim 2$ 'dir. Spektrumlarındaki optik ve UV fazlalığından dolayı görünen mavi renk büyük mavi yumru (Big Blue Bump, BBB) diye adlandırılır. Bu maviliğin yığılma diskinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Kuazarların yüksek ışınım güçleri onların Evrenin en uzak köşelerinden gözlenebilmesine sebep olmaktadır. Mortlock ve diğ.'de (2011) yaptığı çalışmada bazı kuazarların kırmızıya kayma değerlerinin $z = 7.085$ 'e kadar ulaştığını tespit etmişlerdir. Buna göre kuazarların büyük patlamadan yaklaşık 800 milyon yıl sonra meydana gelmiş olduğu ve dolayısıyla erken Evren hakkında bilgiler içerdiği düşünülmektedir. Toplamda 40'tan fazla kuazarın kırmızıya kayma değeri $z = 6$ 'dan daha büyük olarak bulunmuştur (Willott ve diğ., 2010).

Kuazarlar kendi aralarında iki alt sınıfa ayrılır. Bunlardan ilki Radyoda Sessiz Kuazarlardır (Radio-Quiet Quasars). Bu tür kuazarlar radyo akıları gözlenemeyecek kadar düşüktür ve jet üretmezler. Kuazarların yaklaşık %90'ı radyo bölgede sessizdir. Radyo bölgede sessiz görülen kuazarlar tam olarak radyoda ışınım yapmadığı anlamına gelmez bunun için bir limit belirlenmiştir (Eşitlik 2.1).

$$R^* = \log \frac{f_{\text{radyo}}}{f_B} < 1 \quad (2.1)$$

Burada; f_{radyo} , radyodaki akısı; f_B ise optik bölgede B bandındaki akıyı temsil eder. Eşitlik 2.1'den elde edilen R^* değeri 1'den küçük olduğunda kuazar radyo bölgede sessiz olarak tanımlanır. Radyo bölgede sessiz olmasına rağmen halen radyo akısı üreten kuazarların bu enerjiyi nasıl üretmiş olduğu henüz anlaşılamamıştır. Buna çözüm olarak, küçük ölçeklerde radyoda sesli olan kuazara göre daha zayıf bir jete sahip olabileceği de önerilmiştir (Ulvestad ve diğ., 2005a).

İkinci alt sınıflama ise Radyoda Sesli Kuazarlardır (Radio-Loud Quasars). Bu kaynaklar, yüksek ışınım güçlerinden, güçlü radyo ışınımından ve ayırıcı tayfsal özelliklerinden dolayı ilk keşfedilen AGÇ'lerdir. Radyoda sessiz kuazarlara göre nispeten daha kolay keşfedilir. Ancak kuazarların yaklaşık %10'u radyoda seslidir. Bu cisimlerin radyoda sessiz kuazarlara benzer şekilde güçlü UV bileşeni, akı değişkenlikleri ve geniş emisyon çizgilerine sahip karakteristik özellikleri mevcuttur. Ancak buldukları galaksiler radyoda sessiz AGÇ'ye göre daha büyük olma eğilimindedir (Dunlop ve diğ., 2003). Güçlü jet bileşinine sahip olduklarından dolayı senkrotron mekanizması ile önemli miktarda radyo ışınımı yaparlar.

2.2.2. Seyfert Galaksileri

İlk olarak Carl Seyfert (1943) tarafından tanımlanan bir sınıftır. Seyfert galaksi sınıflandırılması galaksi merkezlerinin spektrumlarına dayanarak yapılmaktadır. Bu kaynakların spektrumları güçlü emisyon çizgileri göstermektedir. 1970'lerin başında Khachikian ve Weedman optik spektrumun iki genel farklı türünü bulmuştur. Bazı AGÇ'lerin spektrumları yüksek seviyede iyonize maddeden gelen dar ve çözümlenememiş emisyon çizgilerine sahipken sadece bazı Seyfert tipi galaksiler geniş emisyon çizgileri gösteriyordu. Bununla birlikte Khachikian ve Weedman (1974), Seyfert galaksilerini dar ve Balmer çizgilerine göre ikiye ayırdılar. Seyfert I galaksilerinin Balmer çizgileri serisi H_α (6563 Å), H_β (4861 Å) ve H_γ (4341 Å), yasaklanmış çizgilerden oksijen [OII] (3727 Å) ve [OIII] (5007 Å), azot, [NeIII] (3869 Å) daha geniş görünüyordu. Ancak 2. tip galaksilerde ise Balmer çizgileri serisi ile yasaklanmış çizgiler aynı fakat dardı. Daha iyi bir yaklaşımla Seyfert I galaksileri hem dar hem de geniş emisyon çizgi bileşenine sahip iken Seyfert II galaksileri ise sadece dar emisyon çizgi bileşenine sahipti. Bu açık farklılığa rağmen her iki cisim arasında kalan cisimler de gözlenmiştir. Bu cisimler daha sonra Balmer çizgi özelliklerine göre Seyfert 1.2, 1.5, 1.8 ve 1.9 olarak alt sınıflara ayrıldı (Osterbrock, 1977). Bu alt sınıflama H_β çizgi genişliğine göre yapıldı: Seyfert 1.2 tipi, Seyfert I tipinin geniş Balmer çizgisine sahip olduğu şekliydi, ancak biraz daha az geniş H_β çizgisine sahipti. Seyfert 1.5 tipi geniş çizgi bileşenlerinin dar çizgi bileşenleri kadar güçlü H_β çizgilerine sahipti. Seyfert 1.8 ile 1.9 tipleri bazı Balmer geniş çizgi bileşenleri sahiplerdi, ancak Seyfert 1.9 tipi sadece geniş H_α çizgisine sahipken, H_β çizgisi ise dardı.

Seyfert galaksileri arasındaki bu ayırım Seyfert I için ayrıca dar çizgi Seyfert I galaksileri (Narrow-Line Seyfert Galaxies, NLS I) olarak alt sınıflandırıldı. NLS1 tipi galaksiler güçlü X-ışın kaynaklarıdır ancak H_α çizgisi geniş ve H_β çizgisi dar olmakla beraber Seyfert 1.9 tipine benzerlik göstermektedir (Osterbrock ve Pogge, 1985). NLS1, [CIV] (1549 Å) ve [CIII] (1908 Å) emisyonu, UV 'deki dar emisyonu Seyfert I tipine göre daha zayıftır. Bundan dolayı Seyfert I tipine göre daha kırmızı görünür. FeII çizgisi ile H_β çizgisinin oranı ($FeII/H_\beta$) diğer tüm Seyfert galaksilere kıyasla yaklaşık iki kat daha büyüktür ve bu iki çizginin eşdeğer genişliği optik akı ile güçlü bir korelasyon gösterir (Zhou ve diğ., 2006). NLS 1 galaksilerinde diğer Seyfert türlerine göre merkezdeki karadeliğin kütlesi daha düşüktür. Işınım akısının diğerlerine göre daha fazla olması karadeliğe aktarılan maddenin fazla olmasından kaynaklanır ve neredeyse Eddington limitine yakın bir aktarım söz konusudur (Collin ve Kawaguchi, 2004). Yapılan son çalışmalarda NLS I galaksilerinde UV ve sert X-ışınlarının Seyfert I galaksi tipine göre daha sönük olduğu görülmüştür (Grupe ve diğ., 2010). Buna rağmen çok güçlü X-ışın değişkenliğine sahiptirler.

2.2.3. Düşük İyonizasyonlu Nükleer Emisyon Bölgeleri (Low-Ionization Nuclear Emission-Line Regions, LINERs)

Bu kaynaklar sönük çekirdek ışınımına sahiptir ve güçlü salma emisyon çizgileri az miktarda iyonize olmuştur. Emisyon çizgilerinden hesaplanan 200-400 km sn⁻¹ hızlara sahip olması bu grubun tipik özelliklerinden olup Seyfer II galaksilerine benzerlik göstermektedir.

Bu AGÇ sınıfı, en az ışınım ve diğer AGÇ'ler ile en az ortak noktaya sahiptir. Güçlü emisyon çizgileri ya çok azdır ya da hiç yoktur. Emisyon çizgileri Seyfert galaksilerinin sahip olduğu dar emisyon çizgilerinden daha da dardır. Yasak çizgiler burada daha güçlüdür. Işınım güçleri düşük olduğundan ya yığılma oranı ya da kütle aktarımının verimliliği düşüktür (Schneider, 2015).

2.2.4. Radyo Galaksileri

Radyo galaksileri aktif çekirdeğe sahip eliptik galaksilerdir. Kendi aralarında geniş emisyon çizgileri olan ve geniş çizgileri olmayan olarak ikiye ayrılırlar. Bunlar: Geniş Çizgili Radyo Galaksileri (*Broad-Line Radio Galaxies, BLRG*) ile Dar Çizgili Radyo Galaksileridir (*Narrow-Line Radio Galaxies, NLRG*). Bunlara ek olarak bazı galaksiler

Zayıf Çizgili Radyo Galaksiler (Weak-Line Radio Galaxies, WLRG) olarak tanımlanır.

AGÇ'lerde radyo lobları genelde çift olarak görülür. Her iki radyo kaynağı merkezden çıkan jetlerle beslenir. Radyo kaynağı: FR I (*Fanaroff-Riley Tip I*) ve FR II (*Fanaroff-Riley Tip II*) olarak ayrılır (Fanaroff ve Riley, 1974).

FR I: Merkeze yakın bölgede en yüksek akıya sahip olurken merkezden dışa doğru bu yüksek akı azalır. Yaklaşık akısı $L_\nu(1.4 \text{ GHz}) \lesssim 10^{32} \text{ erg sn}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$ dir.

FR II: Merkeze yakın bölgede düşük akıya sahip iken, akı miktarı merkezden dışa doğru en yüksek halini alır. Yaklaşık akısı $L_\nu(1.4 \text{ GHz}) \gtrsim 10^{32} \text{ erg sn}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$ olup genelde FR II, FR I'den daha yüksek akıya sahiptir. FR II radyo kaynaklarında genellikle jetler görülür. Jetler simetrik olmayıp genelde tek bir jet görülür. Çoğu kaynakta iki jet bulunur ancak bunlardan bir tanesi ters jet (*counter-jet*) olup diğerinden daha zayıftır. Radyo yapısı yaklaşık 200 kpc'ye kadar uzanır. Jetin her iki tarafındaki hız, yoğunluk, güç gibi fiziksel parametrelerin aynı olduğu kabul edilmekle beraber, Doppler etkisi nedeni ile gözlemciye farklı jet akısı geldiği düşünülmektedir. Gözlemciye doğru gelen (f_+) ile gözlemciye göre daha arkada olan ise (f_-) ile gösterilirse, bu ikisinin arasındaki oran Doppler faktörü ile gösterilmiştir.

$$\frac{f_+(v)}{f_-(v)} = \left(\frac{1+\beta \cdot \cos\theta}{1-\beta \cdot \cos\theta} \right)^{2+\alpha} \quad (2.2)$$

Burada θ jet ile gözlemci arasındaki bakış açısı, $\beta = v/c$, α ise spektral enerji indeksini temsil eder (Beckmann ve Shrader, 2012). Jetlerde genelde baskın parçacıklar elektron ve pozitronlardır. Çünkü kütleleri diğer parçacıklara (proton, vb.) göre daha küçüktür ve bundan dolayı hızlanmaları ve büyük uzaklıklara gitmeleri daha kolaydır. Jetler zamanla dengede kalan yapılardır. Bu yapılar yaklaşık 100 kpc kadar uzanır ve bu da jetin yaşı ile ilgili bilgi verebilmektedir.

Radyo galaksileri içinde yüksek kırmızıya kaymaya sahip olanları, Yüksek Kırmızıya Kayma Radyo Galaksileri (High-redshift Radio Galaxies, HzRG) olarak adlandırılmaktadır ve bu yüksek kırmızıya kayma $z \approx 5.2$ 'ye kadar ulaşabilmektedir (Beckman ve Shader, 2012).

2.2.5. Blazarlar

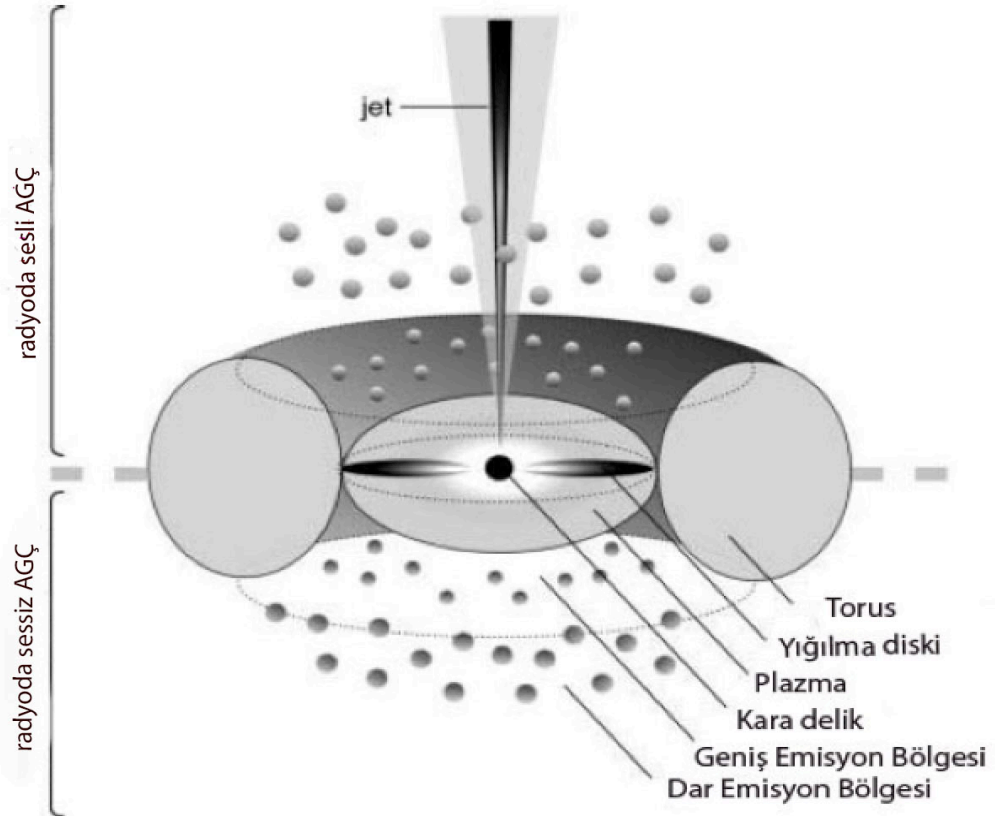
Blazarlar kuazarların özel bir sınıfını oluşturur. Bu sınıfın yaygın modeli, kuazar jetinin gözlemciye neredeyse dik bir açıyla geldiği modeldir. Blazarlardan gelen ışınım radyodan çok yüksek gama-ışınlarına kadar geniş bir enerji aralığında ve bazı kaynaklar bir TeV üstündeki enerjilere sahiptir. Bilinen tüm blazarlar radyo kaynaklarıdır; bununla beraber yüksek enerjili ve çok güçlü değişkenlik gösteren gama-ışınlarını da yayar. Blazarlar iki alt sınıfa ayrılırlar: BL Lac ve Düz Spektrumlu Radyo Kuazarlar (Flat Spectrum Radio Quasar, FSRQ). Ayrıca, FSRQ kendi içinde iki alt sınıfa daha ayrılır: Optikçe Büyük Değişim Gösterenler (Optically Violent Variables, OVV) ve Aşırı Kutuplanmış Kuazarlar (Highly Polarized Quasar, HPQ). BL Lac cisimlerinin çizgi emisyonları zayıftır ve bazen tayflarında bu çizgiler hiç gözükmez. Bazı parlak BL Lac cisimlerinin zayıf ve dar Ly_a çizgilerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Stoche, 2011). FSRQ'nun alt sınıflaması olan OVV ve HPQ geniş emisyon çizgisi gösterirken buna ek olarak HPQ optik bölgede ışınım sürecinde kutuplanma göstermektedir.

Blazarlar, elektromanyetik spektrumun tümünde etkileyici ışınım değişkenlikleri göstermektedir. Blazarların akı değişkenlikleri yıllar mertebesinde bir günden daha az zaman ölçekleri içinde gerçekleşebilmektedir. Örneğin optik banttaki akıları dakika zaman ölçeklerinde değişkenlik göstermiştir (Wagner ve Witzel, 1995). Bazı tipik XBL'ler (X-ray Selected Blazar) zamanlarının çoğunu sakin geçirirler. Ancak bir anda yüksek bir parlamayla sakin dönemlerini sonlandırırlar. Bu döneme aktif çevrim (*duty cycle*) dönemi denilmektedir. OVV'ler ise optik ışınımı çok güçlü ve hızlı değişkenlik gösteren bir yapıya sahiptir. Bu kaynağın akısı günler mertebesinde hızlı bir değişkenlik gösterdiği için bunlara optikçe büyük değişim gösterenler (Optically Violent Variables, OVV) denilmiştir. OVV'ler yüksek frekanslarda geniş genlik ile kısa zaman ölçeklerinde güçlü bir radyo kaynağı olmasının yanında, diğer dalga boylarında da akı değişkenliği gösterirler. BL Lac galaksileri ise çok güçlü akı

değişkenliklerine sahiptir. Bu tür, tıpkı OVV'ler gibi güçlü akı değişkenliği göstermesine karşın spektrumlarında güçlü salma ve soğurma çizgileri yoktur. Emisyon çizgileri görülmez ve bu sebeple kırmızıya kaymaları güçlükle hesaplanır ya da bazı durumlarda belirlenemez. Optik akıları uzun bir zaman aralığında birkaç kadir değişebilir. BL Lac ve FSRQ'larda karadelik kütlesi, karadelikten emisyon bölgesinin uzaklığı ve jetin hızı aynıdır. Ancak manyetik alanın gücü ve yığılma oranı BL Lac'larda daha düşüktür. Yapılan son çalışmalarda tüm BL Lac cisimlerinin karadeliklerinin $M_{kd} \approx 10^{8.5} M_{\odot}$ kütleyle sahip olduğu gösterilmiştir (Plotkin ve diğ., 2011).

2.3. AGÇ'LERİN BİLEŞENLERİ

AGÇ'lerin temel bileşenleri; süper kütleli karadelik, yığılma diski, jet, geniş çizgi bölgesi (broad line region, BLR), dar çizgi bölgesi (narrow line region, NLR) ve karadeliğin etrafındaki halkadan (gaz, toz) oluşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4: AGÇ'nin ait temel bileşenleri (Beckmann ve Shader, 2012).

2.3.1. Merkezi Karadelik (Super Massive Black Hole, SMBH)

Karadelikler ışığın bile kaçamadığı nesnelere dir. Yıldızsal kütleleri $\sim 5-15 M_{\odot}$ aralığında bulunan karadelikler olduğu gibi (Wardzinski, 2002) galaksilerin merkezlerinde devasa büyüklüklerde karadelikler de bulunmaktadır. AGÇ'ler normal galaksilerdeki karadelik kütlelerinden daha fazlasına sahip olabilmektedirler. AGÇ'lerin sahip olduğu karadelik kütleleri $10^5 - 10^{10} M_{\odot}$ arasında değişmektedir (Walg ve diğ., 2013). BL Lac cisimlerinden olan OJ 287'deki gibi merkezlerinde birden fazla kara deliğe sahip olan kaynaklar da bulunmaktadır (Nerenov, 2013).

Alman astrofizikçi Karl Schwarzschild genel görelilik üzerine çalışmalar yapmıştır. Ona göre, m kütleli bir cismin toplam enerjisi aşağıdaki gibidir:

$$TE_k = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GmM}{r} = 0 \quad (2.3)$$

Toplam enerji korunacağından, kaçış hızı $v_{kaç}$ aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$TE_k = 0 = \frac{1}{2}m(v_{kaç})^2 - GmM/r \quad (2.4)$$

$$v_{kaç} = (2GM/r)^{1/2} \quad (2.5)$$

$v_{kaç}$ hızı ışık hızına eşitlenirse ($v_{kaç} = c$)

$$r = 2GM_{kd}/c^2 \quad (2.6)$$

bağıntısı elde edilir ve bu yarıçapa "*Schwarzschild yarıçapı*" denir. Burada M_{kd} karadelik kütlelerini, c ışık hızını ve G evensel çekim sabitini gösterir (Özdemir, 2001). AGÇ'lerde pek çok kara delik kütle ölçüm yöntemi vardır. Bu yöntemlerden en önemlisi Yankı Haritalamasıdır (Reverberation Mapping). Yöntem yığılma diskinden optik/ UV ışınımı ile geniş emisyon bölgesinden H_{β} veya CIV (1549 Å) emisyon çizgileri arasındaki zaman gecikmesinin hesabına dayanır. Diğer yöntemler ise kütle-ışınım gücü bağıntısı ve Eddington limiti ile karadelik kütlelerinin hesaplanmasıdır. Bu yöntemler karadelik kütlelerini doğrudan ölçümle değil dolaylı yoldan verir (Woo, 2002).

2.3.2. Yığılma Diski

AGÇ'de karadelik etrafında dönen gaz, toz ve yaygın bulutun oluşturduğu yapıya yığılma diski denir. Lynden ve Bell (1969) karadelik üzerine düşen gazın kuazarların ve AGÇ'lerin temel enerji kaynağı olduğunu iddia etmiştir. Karadelik ve yığılma diskinin oluşturduğu yapı belli bir prensip üzerine çalışır. Öyle ki, yığılma diskini oluşturan gaz bir potansiyel enerjisi mevcut ve bu potansiyel enerjisini kaybeden gaz kara delik üzerine düşer. Ancak bu düşüş direkt olmaz, çünkü gazın bir açıl momentumu vardır ve düşen madde kara delik etrafında bir bir yığılma oluşturarak yörüngeye oturur. Bu süreçte gaz parçacıkları arasında sürtünme ve çarpışmalar ile momentum transferi olur. Gaz açıl momentum vektörüne dik bir şekilde bir diskte birleşir. Bu birleşim sonucu oluşan disk kabaca Kepler yasalarına uygun hızlarda hareket eder. Dolayısıyla disk oluşturmak için bir araya gelen parçacıklar kendi aralarında sürtünme ile ısınır, yani potansiyel enerji kinetik enerji ve ısı enerjisine dönüşür. Buna göre, $r + \Delta r$ gibi yarıçaptan m kütleli gazın düşmesi ile açığa çıkacak olan enerji

$$\Delta E = \frac{GM_{kd}m}{r} - \frac{GM_{kd}}{r+\Delta r} \approx \frac{GM_{kd}m}{r} \frac{\Delta r}{r} \quad (2.7)$$

olur, M_{kd} karadeliğin kütlesi olup m kütleli gaz bunun yanında ihmal edilir. Bu enerjinin de yarısı ısı enerjisine dönüşür ($E_{ısı} = \Delta E/2$). Eğer bu enerji yerel olarak yayınlanırsa o zaman

$$\Delta L = \frac{GM_{kd}m}{2r^2} \Delta r \quad (2.8)$$

olur, \dot{m} birim zamanda karadeliğe düşen kütle miktarıdır (yığılma oranına karşılık gelir). Eğer disk optikçe kalın ise o zaman ışınım bir kara cisim ışınımına dönüşür ve r ile $r + \Delta r$ yarıçaplı halkadan gelen enerji

$$\Delta L = 2 \times 2\pi r \Delta r \sigma_{ST} T^4(r) \quad (2.9)$$

olur, Burada 2 çarpanı diskin çift taraflı olduğunu gösterirken, σ_{ST} Stefan-Boltzman sabiti, T sıcaklık ve r yarıçap değerini göstermektedir. Burada 2.8 ve 2.9 eşitliğinin birbirine eşitlenmesi durumunda yarıçapa bağlı bir sıcaklık değişimi elde edilir:

$$T(r) = \left(\frac{GM_{kd}\dot{m}}{8\pi\sigma_{ST}r^3} \right)^{1/4} \quad (2.10)$$

Yarıçap Schwarzschild yarıçapına göre düzenlenirse;

$$T(r) = \left(\frac{3c^2}{64\pi\sigma_{ST}G^2} \right)^{1/4} \dot{m} M_{kd}^{-1/2} \left(\frac{r}{r_s} \right)^{-3/4} \quad (2.11)$$

eşitliği elde edilir (Schneider, 2015). Bu sonuca göre bazı varsayımlar yapılabilir. Yığılma diskinin sıcaklığı $\propto r^{-3/4}$ şeklinde bir artış gösterir (Mallick ve diğ., 2016). Toplam disk ışınımı farklı yarıçaplarda farklı sıcaklık ile kabaca kara cisim ışınımına uygunluk gösterir. Ancak, toplam ışınım ısısal ve ısısal olmayan süreçlerden oluştuğu için tam olarak Planck'a uymaz.

Durgun karadelikten, dönen karadeliğe yaklaşık %7 ile %30 kadar enerji verimliliği artışı gözlenir (Collin, 2001). Yerel ışınım T^4 ile orantılı ve enerji de \dot{m} ile orantılıdır. Bunun sonucunda da $T \propto \dot{m}^{1/4}$ orantısı elde edilir (Mallick ve diğ., 2016). Enerji,

çoğunlukla karadeliğe en yakın bölgede üretilir. Ancak, yığılma diski kara delik üzerine maksimum miktarda madde aktarabilir ve bu orana “*Eddington limiti*” denir. Bu limite göre, salınan enerji ile kütle-çekim arasında bir denge mevcuttur ve bu dengede $F_{ışınım} < F_{çekim}$ olmalıdır ki, yığılma diskinden karadeliğe madde aktarılabilsin. Eğer salınan enerji miktarı Eddington limitini aşarsa, üretilen fotonların dışa doğru yarattıkları ışınım basıncının etkisi ile kara deliğe madde aktarımı engellenmiş olur. Böyle bir süreçten sonra madde aktarımındaki düşüş dolayısıyla ışınım üretilmesinde de bir azalmaya yol açar. Daha sonra ışınım basıncı Eddington limitinin altına düştüğünde tekrardan kara deliğe madde aktarımı söz konusu olur. Eddington limiti şu şekilde ifade edilir:

$$L_{Edd} = 1.2 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) \text{ erg sn}^{-1} \quad (2.12)$$

Bu ifade, $\frac{M}{M_{\odot}}$ kütledeki bir kara delik için Eddington limitini verir.

Yığılma diskinin sıcaklığı merkezi kara delikten dolayı değişkenlik göstermektedir. Kuazarlar üzerinde yapılan bir çalışmada yığılma diskinin maksimum sıcaklığı $10^{5.4}$ K olarak bulunmuştur (Bonning ve diğ., 2007). Yığılma diski daha çok *UV* ile optik ışınım yaymaktadır. Diskin iç kısmı yani, karadeliğe en yakın olan bölge daha çok sert X-ışınlarını yaymaktadır. Korona bölgesi de 10^5 - 10^6 K sıcaklığında X-ışınları yaymaktadır (Fanali ve diğ., 2013). Ancak, diskin dış kısmı ve halka bölgeleri kızılöte bölgede ışınım yapar.

2.3.3. Jetler

AGÇ’lerde göze çarpan en dikkat çekici özellik jetlerin varlığıdır. Jetler, ilk defa Virgo kümesindeki M87 galaksisinde radyoda, 3C 273 galaksisinde ise optik bölgede gözlenmiştir. Yığılma diskinden çıkan aşırı enerjili plazma yapıları jetleri oluştururken, bu yapı yüzlerce kpc hatta Mpc boyutunda olabilir. Çoğu jetin iki farklı bölgesi bulunur. Düşük yoğunluğa sahip ancak iç bölgede hızlı hareket eden kısma *omurga (jet spine)*, karadeliğe yakın, yoğun ve dışa doğru yavaş hareket eden kısma *kılıf (jet sheath)* denir.

Ancak jetlerin oluşumu ve doğal kompozisyonları belirsizdir. Diskin içindeki manyetik alanın diferansiyel dönüşü ya da kara deliğin ergosferi, dönen kara delikler ile beraber dönen kara deliğe çok yakın olan bölge, jetlerin çıkış yeri olabilir. Jet oluşumu için bazı teoriler üretilmiştir; bunlar arasında en yaygını Blandford-Znajek mekanizmasıdır (Blandford-Znajek, 1977). Bu mekanizmaya göre; dönen merkezi karadeliğin tarafından oluşan bir yığılma diski ve yığılma diskinin oluşturduğu manyetik alan yığılma diskiye ait maddeyi tetikler. Daha sonra madde (elektronlar, pozitronlar), manyetik alan çizgileri ile etkileşimi sürecinde kara delikten dışarı doğru sürüklenir. Bu teori ile ilgili sayısal simülasyonlar yapan Tchekhovskoy teoriiyi destekleyici bulgular elde etmiştir (Tchekhovskoy ve diğ., 2011). Çözümlememiş bir başka konu da jetin yüksek Lorentz faktörü ile kara delik çevresinde hızlanmasıyla ilgilidir.

AGÇ'lerde yüksek enerjili fotonlar jet içinde üretilir. Jet içinde üretilen bu fotonlar GeV hatta TeV enerjilere sahip olabilmektedir. Burada Compton, ters-Compton ve senkrotron self-Compton saçılma mekanizmaları geçerlidir.

2.3.4. Geniş Çizgi Bölgesi (Broad Line Region, BLR)

Bu bölge geniş emisyon çizgilerinden sorumludur ve AGÇ'lerin önemli özelliklerinden birisini göstermektedir. Ölçülen Doppler hızları $\Delta v \lesssim 10,000 \text{ km sn}^{-1}$ genişliğine sahip olabilmektedir. Geniş çizgi bölgesinin merkezi kara deliğe uzaklığı ortalama 0.01-0.1 pc arasındadır. Bu bölgeden yayınlanan geniş emisyon çizgileri BL Lac cisimleri hariç diğer AGÇ'lerde gözlenmektedir. Geniş çizgi bölgesinin içindeki elektron yoğunluğu $n_e \sim 3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ ile 10^{12} cm^{-3} arasında değişkenlik göstermektedir. Geniş çizgi bölgesinin sıcaklığı yaklaşık $T \sim 20,000 \text{ K}$ dir. Bu bölgenin en önemli çizgileri hidrojen Balmer serisi H_α , H_β ve H_γ olup diğer önemli çizgilerde MgII (2799 Å), [CIII] (1908 Å), CIV (1549 Å)'tür. Geniş emisyon çizgi bölgesinde en az $10^7 M_\odot$ kütleli bulutların olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bulutların kinematiği ve merkezi kara delik etrafında dönüp dönmediği halen bilinmemektedir (Schneider, 2015).

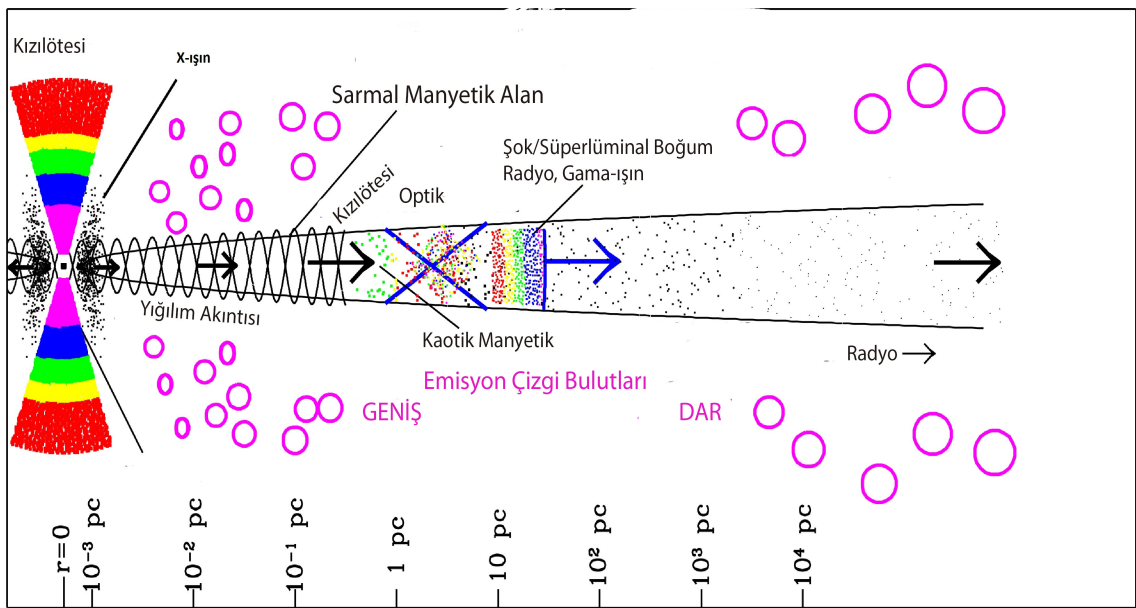
2.3.5. Dar Çizgi Bölgesi (Narrow Line Region, NLR)

Çoğu AGÇ dar emisyon çizgilerine sahiptir. Dar çizgi genişlikleri genellikle 400 km s^{-1} dir. Dar emisyon çizgilerinin genişliği, geniş emisyon çizgilerine göre çok az ise de normal bir galaksinin sahip olduğu en geniş emisyon çizgisine göre yine de oldukça

geniştir. Dar çizgi bölgesindeki gazın yoğunluğu $n_e \sim 10^{3-5} \text{m}^{-3}$ arasındadır. Dar çizgi bölgesinin Seyfert galaksileri için merkezi kara delikten uzaklığı yaklaşık 0.1-1 kpc arasında değişir. Dar çizgi bölgesinin toplam gaz kütlesi $\sim 10^6 M_\odot$ civarında olduğu tahmin edilmektedir (Kraemar, 2008). Sahip olduğu en güçlü çizgiler Ly_α (1216 Å), CIV (1550 Å) ve yasaklanmış OIII (1665 Å) çizgileridir. Ayrıca bu bölgenin sıcaklığı $T \sim 15,000 \text{ K}$ civarındadır. Dar çizgi bölgesinin yapısı oldukça ilginçtir; küresel olmayıp iki koni şeklinde görülürler (Schneider, 2015).

2.4. AGÇ'DE IŞINIM SÜREÇLERİ

AGÇ'lerin merkezindeki kara deliğin ve yığılma diskinin etkin olduğu modele göre, yığılma diskinin karadeliğe en yakın olduğu yerde sert X-ışınları ve yığılma diskinin ortalarında ağırlıklı olarak morötesi ve optik ışınım üretilir. Yığılma diskinin dış taraflarında ve halka denilen sıcak toz bileşeninden de kızılöte ışınımın üretiminden sorumlu bölgeler olarak gösterilirler (Şekil 2.5). Yığılma diskinin kara delik üzerine düşerken manyetik alan ile etkileşen elektronların senkrotron ışınımı oluşturması genellikle radyoda ışınım yapılmasına neden olur. Ancak manyetik alan etrafında Lorentz faktörü ile hızlanan elektronlar ters-Compton ve senkrotron mekanizmalarında üretilen fotonlar ve Compton saçılmaları ile sert X-ışın ve gama-ışınlarının



Şekil 2. 5: Bir kuazarın merkezi karadeliğinden itibaren ışınım bölgeleri gösterilmiştir (<https://www.bu.edu/blazars/research.html> [21 Nisan 2016]).

üretmesinden sorumlu olmaktadır. Yani, özetlenirse AGÇ'lerde ışınım süreçleri: Optikçe kalın gazdan gelen karacisim ışınımı ve optikçe ince gazdan gelen frenleme ışınımı ısısal ışınım yaparken, aynı zamanda Compton, ters-Compton ve senkrotron self-Compton saçılmaları da ısısal olmayan ışınımları oluşturmaktadır.

2.4.1. Karacisim Işınması

Sıcaklıkları mutlak sıfırın (-273 C) üstünde olan tüm cisimler bir ışınım yayar. Bu ışınım basit olarak karacisim ışınması olarak bilinir. Bu ışınım ile ilgili olarak Kirchhoff, ışınım akısının sadece cismin sıcaklığına bağlı olduğunu söyleyebilmiş ancak bu bağıllığı belirten bir fonksiyon bulamamıştır.

Kara cisim ışınımının tayfsal formu sadece sıcaklığa bağlı olup Planck kanunu ile ifade edilir. Planck formülü aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (2.13)$$

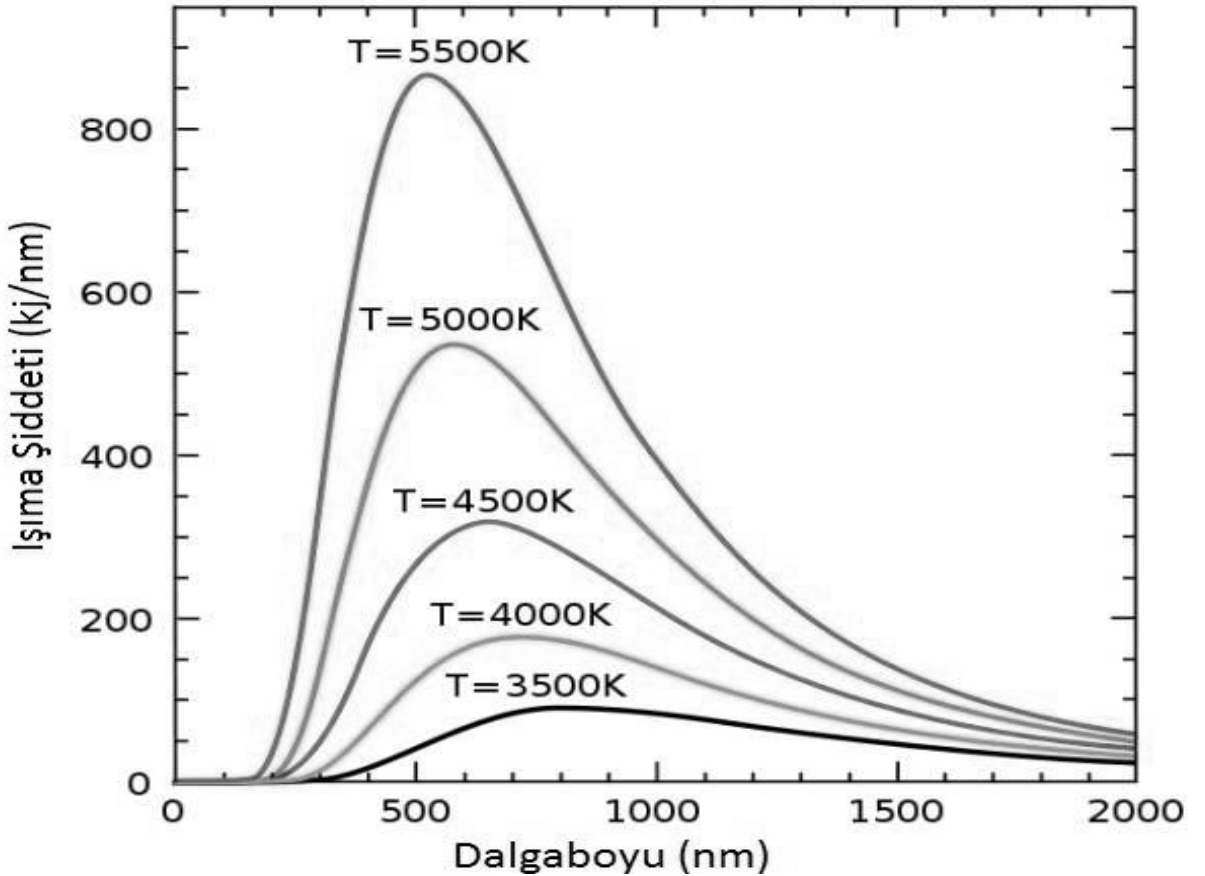
Burada B_{λ} dalga boyuna bağlı ışınım şiddetini, h Planck sabitini, c ışık hızını, λ dalgaboyunu, T sıcaklığı temsil eder.

Wien, karacisim ışınımının maksimumunun hangi dalgaboyunda olacağına dair bir ifade geliştirmiştir ve bu ifade "*Wien kayma yasası*" olarak isimlendirilmiştir:

$$\lambda_{maks}T = 0.2898 \text{ K} \quad (2.14)$$

Burada sıcaklık (T) K biriminde sıcaklık ve λ dalgaboyunu temsil eder.

Eşitlik 2.14'den görüleceği gibi etkin sıcaklıklar ile ışınımın maksimum olduğu dalgaboyları arasında bir ilişki söz konusudur. Wien yasası sayesinde bir ışınım dağılımından diğerine geçmek mümkün olmaktadır. Bir diğer sonucu da ışınım yapan karacisim sıcaklığının hesaplanabilmesidir. Buna göre, yıldızlar belli yüzey sıcaklığına sahip birer kara cisim olarak varsayılır. Işınımları kabaca Planck fonksiyonu ile ifade edilebilir. Dolayısıyla yıldızların hangi renkte olabileceği yaptıkları karacisim ışınımına bağlı etkin sıcaklıkları ile tayin edilebilir.



Şekil 2. 6: Farklı sıcaklıklardaki karacisim ışınması (Avdan, 2012).

2.4.2. Frenleme (Bremsstrahlung) Işınması

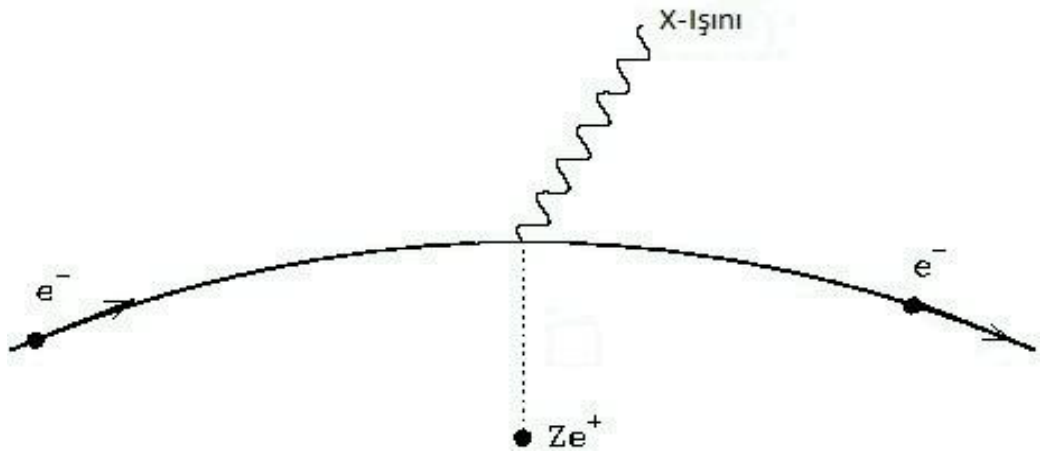
Elektronların enerji kaybettikleri önemli bir mekanizma frenleme ışınmasıdır. Elektronlar sıcak plazma içerisinde pozitif yüklü parçacıklarla etkileşir. Etkileşen parçacıklar bu süreçte birbirine bağlanmaz. Ancak momentumları değişir. Frenleme ışınması için gazın sıcaklığının $10^7 - 10^8$ K civarında ve optikçe ince gaz olması gerekir. Böyle sıcak bir

gazda serbest elektronlar pozitif yüklü bir çekirdeğin yakınından geçerken elektriksel Coulomb kuvveti ile ivmelenerek yollarından sapar ve ivmelenmenin etkisi ile frenlenen elektronlar enerji kaybederler. Böyle bir süreçten sonra elektronlar kaybettikleri enerji ile orantılı bir şekilde foton yayırlar (Şekil 2.7).

Sıcak bir plazma içerisinde serbest-serbest ışınım yapan frenleme ışınımı tayfı v hızına sahip rölativistik olmayan bir elektron için toplam ışınım gücü aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$I = \frac{Z^2 e^6 N}{12\pi^3 \epsilon_0^3 c^3 m_e^2 v} \ln \left(\frac{b_{mak}}{b_{min}} \right) \quad (2.15)$$

Burada b_{mak} ve b_{min} elektron ve pozitif yüklü çekirdeklerin etkileştikleri en büyük ve en küçük mesafesi, m_e elektronun kütlesi, c ışık hızı, e elektronun yükü, N plazmadaki iyon sayısı, Z pozitif yüklü iyonların atom numarası, ϵ_0 boş uzayın elektriksel geçirgenlik katsayısını temsil eder.



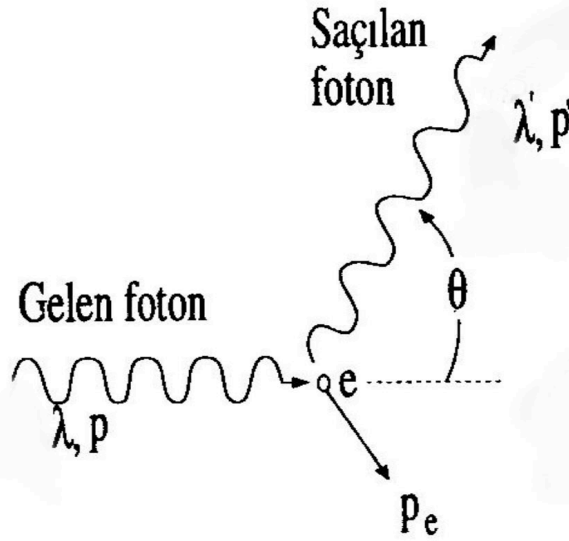
Şekil 2. 7: Frenleme ışınımının oluşumu (Avdan, 2012)

Sonuç olarak, sıcak bir plazma içerisinde Coulomb elektriksel çekim kuvveti etkilenmesi ile serbest-serbest ışınım yapan elektronlar tarafından üretilen ışınım frenleme (*bremssstrahlung*) ışınımı denir.

2.4.3. Compton Saçılması

Temelde bir fotonun bir elektron ile elastik çarpışması sonucu fotonun daha düşük frekanslarda saçılmasını sağlayan mekanizmadır. Fotonun dalgaboyu, saçılmanın açısına göre değişmektedir. Çarpışma elastik olduğundan toplam momentum korunur.

Arthur H. Compton, verilen bir dalga boyundaki ışınımın (X-ışınları bölgesinde) bir metal yarıktan geçirildiğinde klasik ışınım kuramıyla bağdaşmayan bir şekilde saçıldığını keşfetmiştir. Compton, daha sonra verilen bir açıdan saçılan ışınımın iki bileşeni olduğunu, bunlardan birinin dalgaboyu gelen ışınımınki ile aynı, diğerininin ise gelen ışınımın dalgaboyuna göre belli bir açıyla saçıldığını tesbit etmiştir:



Şekil 2. 8: Compton saçılma mekanizması (<http://www.onlinefizik.com/foton-momentumu-ve-isigin-compton-sacilimi/> [9 Temmuz 2016]).

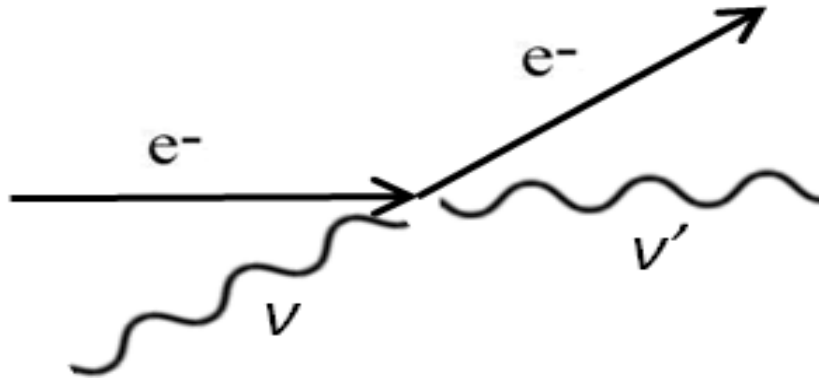
$$\Delta\lambda = \lambda_{saçılan} - \lambda_{gelen} = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \quad (2.16)$$

Burada λ dalga boyu, h Planck sabiti, m_e elektronun kütlesi, c ışık hızı, θ fotonun saçılma açısını temsil eder.

Eşitlik 2.16'dan görülebileceği gibi foton ile elektron arasında enerji aktarımı θ açısına bağlıdır. Dolayısıyla fotondan elektrona enerji aktarımı söz konusu ise buna Compton saçılması denilmektedir.

2.4.4. Ters-Compton Saçılması

Bu saçılmada elektronlar rölativistik hızlarda hareket eder. Bu durumda Compton saçılmasının tersine bir mekanizma işlemektedir. Aşırı rölativistik elektronlar, fotonlar ile esnek çarpışma yapar. Bu çarpışma sırasında elektronlar enerjilerinin bir kısmını fotonlara aktarır ve saçılır (Şekil 2.9).



Şekil 2. 9: Ters-Compton oluşum mekanizması (Avdan, 2012).

Fotonun enerjisi elektronun enerjisinden düşüktür. Elastik saçılma sürecinde elektrona göre fotonun enerjisi değişmektedir:

$$E_2 \approx \gamma^2 E_1 \quad (2.17)$$

Burada E_2 fotonun enerjisini, E_1 elektronun enerjisini ve γ Lorentz faktörünü temsil eder. Foton, elektronun Lorentz faktörünün karesi oranında enerji kazanır. Dolayısıyla

rölativistik elektronların, fotonları optikten, X-ışın ve gama-ışınlarına kadar ters-Compton mekanizması ile enerji kazandırabileceği sonucu çıkmaktadır. Fotonun maksimum enerji kazanma denklemi

$$E_2 \leq E_1 + \gamma m_e c^2 \quad (2.18)$$

ile verilir. Burada E_2 foton enerjisini, E_1 elektron enerjisini, γ Lorent faktörünü, m_e elektronun kütesini ve c ışık hızını temsil eder. Ters-Compton sırasında açığa çıkan ışınım şu şekilde ifade edilmiştir:

$$L_{tc} = \frac{4}{3} c \sigma_T U_{ph} k_\gamma \frac{\gamma_{max}^{3-p} - \gamma_{min}^{3-p}}{3-p} \quad (2.19)$$

Burada p güç kanunu eğimini, k_γ normalizasyonu, σ_T Thomson etkileşim tesir kesitini, U ışınım enerji yoğunluğunu, γ Lorentz faktörünün maksimum-minimum değerini ve c ışık hızını temsil eder.

Bu mekanizma radyo ve kızılötesi fotonları X-ışın ve gama-ışınlarına iterek bu aralıklarda ışınım yapmasına neden olur. Fakat, bu ışıma elektronun ne kadar rölativistik olduğuna bağlıdır.

2.4.5. Senkrotron Işınımı

İlk senkrotron ışınımı 1946 yılında tesbit edilmiştir. Senkrotron ışınımının yıldızlar tarafından üretildiği tahmin edilmesine rağmen (Alfvén ve Herlofson, 1950) ilk astrofiziksel senkrotron ışınımı M87 galaksisinin jetinde tesbit edilmiştir (Burbidge, 1956).

Bu ışınım AGÇ'ler içindeki en önemli ısısal olmayan ışınım mekanizmalarındandır. Bu ışımada parçacıklar aşırı rölativistiktir. Manyetik alan içinde Lorentz kuvvetiyle ivmeli

hareket eden elektronlar bu hareket sürecinde senkrotron ışınımına neden olurlar. Lorentz kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.20)$$

Toplam hız v ve v_{\parallel} (paralel hız) dir. Manyetik alana dik olan hız ise $v_{\perp} = \sqrt{v^2 - v_{\parallel}^2}$ olur. Sonuç olarak parçacıklar v hızı ile manyetik alan içinde dairesel hareket eder ve bu dairesel hareketin bir yarıçapı (r_g) ve bir açısı (β) olur. r_g (gyroradius) yarıçapı aşağıda verilmiştir:

$$r_g = \frac{v_{\perp} \gamma m c}{ZeB} \quad (2.21)$$

Burada B manyetik alan, Ze yüklü parçacık, γ Lorentz faktörünü, c ışık hızını, m kütleyi, v_{\perp} parçacık hızının dik bileşenini temsil eder.

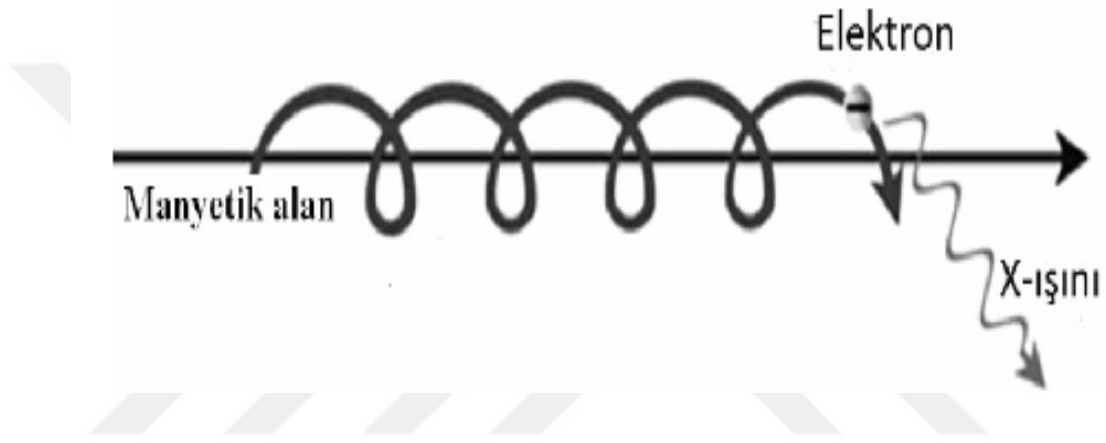
Buradan da dairesel hareketin frekansı elde edilir. Buna dönme frekansı veya Larmor frekansı denir:

$$\nu_g = \frac{ZeB}{2\pi\gamma mc} \quad (2.22)$$

Hızlanma sürecinde senkrotron ışınımının toplam ışınım gücü aşağıdaki gibi ifade edilir (Rybicki ve Lightman,1986):

$$L = \frac{2Z^4 e^4 B^2 \gamma^2}{3c^5 m^2} v_{\perp}^2 = \frac{2Z^4 e^4 B^2 \gamma^2 v^2 \sin^2 \beta}{3c^5 m^2} \quad (2.23)$$

Burada B manyetik alan şiddetini, Z pozitif yüklü parçacık sayısını, γ Lorentz faktörünü, c ışık hızını, m kütleyi, e elektronun yükünü, v hızı temsil eder.



Şekil 2. 10: Senkrotron ışınım mekanizması (Taş, 2013).

Güçlü senkrotron ışınımı radyodan X-ışınlarına kadar ışınım üretebilmektedir (La Mura ve diğ., 2015).

2.4.6. Senkrotron Self-Compton Saçılması (SSC)

Bu ışınım, senkrotron ışınması sonucu üretilen fotonların ters-Compton saçılması ile enerji kazandıkları ışınım mekanizmasıdır. Bu ışınım gama-ışınım patlamaları ve AGÇ'ler gibi birçok astronomik kaynakta önemli bir mekanizma olarak ortaya çıkar. Ters-Compton saçılması ($L_{t-Compton}$), foton enerji yoğunluğu ($U_{ışınım}$) ile orantılıyken senkrotron ışınımı da (L_{senk}), manyetik alan yoğunluğu ($U_{Manyetik alan}$) ile orantılıdır:

$$\frac{L_{t-Compton}}{L_{senk}} = \frac{U_{ışınım}}{U_{Manyetik alan}} \quad (2.24)$$

Eşitlik 2.24'deki sonuca göre senkrotron ışınımının fazla olması hem ters-Compton saçılması hem de senkrotron self-Compton saçılmasının fazla olmasını sağlar, ayrıca manyetik alan büyüklüğü bu mekanizma içerisinde önemli bir yer almaktadır. Bu ışınım mekanizması özellikle gama-ışınlarına neden olduğu öne sürülmektedir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KULLANILAN VERİNİN SEÇİMİ

X-ışın ve gama-ışın kaynaklarını gözlemek için uzaya gönderilen birçok uydu ve algılayıcı bulunmaktadır. Tez kapsamında, Fermi, Swift ve MAXI uydu ve algılayıcılarına ait veriler kullanılmıştır (Tablo 3.1). Tezde kullanılan blazarların seçiminde öncelikle Roma Blazar¹ kataloğundan bize yakın ve parlak kaynakların seçimi yapılmıştır. Ardından bunların içinde Fermi, Swift ve MAXI’de ortak olarak gözlenen kaynaklar seçilmiştir. Ayrıca sadece MAXI ve Swift uydularının ortak gözlediği bazı Seyfert galaksileri de veri tabanlarından seçilmiştir. Tablo 3.2’de tez kapsamında kullanılan kaynakların hangi uydu ve algılayıcı tarafından sürekli gözlendiği verilmiştir. Ayrıca Bölüm 3.2’de verileri kullanılan uydu ve algılayıcılar hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

Fermi/LAT’ın (Large Area Telescope) sürekli gözlediği kaynaklara ait ışık eğrilerine http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/msl_lc/ internet adresinden ulaşabilmektedir. Fermi/LAT ışık eğrilerine ait internet sitesinde günlük ortalama ve haftalık ortalama ışık eğrileri ve bu ışık eğrilerine ait şekiller bulunmaktadır. Veriler FITS (Flexible Image Transport System) dosyası olarak kullanıcılara sunulmaktadır.

Swift/BAT’ın sürekli gözlediği kaynaklara ait ışık eğrilerine <http://swift.gsfc.nasa.gov/results/transients/> adresinden ulaşabilmektedir. Swift/BAT, internet sitesinden günlük ortalama ve her yörünge geçişinde tesbit ettiği foton verileri ve bunlara ait ışık eğri grafiklerini kullanıcılara sunmaktadır. Veriler FITS ya da ASCII dosyaları olarak verilmektedir.

MAXI’nin sürekli gözlediği kaynaklara ait ışık eğrilerine http://maxi.riken.jp/top/index.php?cid=1&disp_mode=source adresinden ulaşabilmektedir. MAXI internet sitesinden günlük ortalama ve her yörünge geçişinde tespit ettiği foton verileri ve bunlara ait ışık eğrileri verilmektedir. Veriler sadece ACSII

¹ <http://www.asdc.asi.it/bzcat/>

Tablo 3 1: MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT için verilen AGÇ alt sınıflarının istatistiği.

	BL Lac	Kuazar	Blazar	Seyfert I	Seyfert II	AGÇ
Swift/BAT	106	112	18	110	48	-
Fermi/LAT	24	62	2	-	7	-
MAXI	24	5	-	47	17	1

Tablo 3 2: Tez kapsamında kullanılan kaynakların hangi uydu ve algılayıcı tarafından gözlemlendiği gösterilmektedir.

	MAXI	Swift/BAT	Fermi/LAT
Mrk 421	✓	✓	✓
3C 273	✓	✓	✓
PKS 0716+714	✓	✓	✓
3C 454.3	✓	✓	✓
1ES 0502 + 675	✓	✓	
1ES 1011+496	✓	✓	
4C 09.57	✓	✓	
Ark 120	✓	✓	
3C 390.3	✓	✓	
ESO 548 – 81	✓	✓	
FAIRALL 9	✓	✓	
NGC 4593	✓	✓	
NGC 6860	✓	✓	
NGC 7469	✓	✓	
NGC 7172	✓	✓	

dosyası olarak sunulmaktadır. Bunun yanında istenilen MJD zaman aralığına ait ışık eğrileri de üretilebilmektedir. Analizde kullanılan ışık eğrilerine ait enerji aralıkları; Fermi/LAT: 0.1-300 GeV; Swift/BAT: 15-150 keV; MAXI: 2-20 keV, 2-10 keV, 2-4 keV, 4-10 keV ve 10-20 keV olarak sıralanmaktadır.

Öncelikle, her üç algılayıcıda da ortak olarak gözlenebilmiş patlamalara ait ışık eğrileri seçilmiştir. Blazarlar gama-ışınlarında da yüksek ışınım güçlerinde oldukları ve uydularca düzenli takip edilebildikleri için bu kaynaklar ile ilgili çalışmalarımızda yüksek enerjili fotonlar (0.1-300 GeV) ile düşük enerjili fotonlara (2-20 keV) ait patlamalar göz önüne alınmıştır. Tez kapsamında yüksek enerjili fotonlar ile düşük enerjili fotonların aynı mekanizma ile üretilip üretilmediğini tartışmak amaçlandığı için öncelikle gama-ışınlarında gözlenen patlamaların öncesi ve sonrasına ait X-ışınları dikkate alınmıştır. Seyfert galaksilerinde ise gama-ışınlarında gözlenebilen kaynakların sayısının yetersizliği nedeniyle sadece yüksek enerjili X-ışınları (15-150 keV) ile düşük enerjili X-ışınlarında (2-20 keV, 10-20 keV, 4-10 keV ve 2-4 keV) gözlenen patlamalar dikkate alınmıştır. Daha sonra seçilen patlamalara ait gün zaman ölçeğinde korelasyonlar hesaplanmıştır. Tüm bu ışık eğrilerinin seçim sürecinde Python programlama dili ile geliştirilen betikler kullanılmıştır. Bu ışık eğrilerine ait korelasyonlar Fortran programlama dilinde yazılmış ZDCF kodu ile hesaplanmıştır. Korelasyon katsayılarına ait şekiller ve grafiklerin üretilmesinde yine Python programlama dili kullanılmıştır.

AGÇ'lerde ışınım daha çok yığılma diski ve jette üretilmektedir. Yumuşak X-ışınları yığılma diskine ait koronada üretilmektedir. Fakat daha sert X-ışınları karadeliğe yakın bölgede üretilmektedir. 10 keV'e kadarki X-ışınları, yığılma diskinin koronasında ve kara deliğe yakın bölgede üretildiğinden, bu X-ışınları ile daha yüksek enerjili yani sert X-ışınları (15-150 keV) arasında bir ilişkinin olup veya olmadığını görmek için bu enerji bantları arasında korelasyonların hesaplaması amaçlanmıştır. Sert X-ışınları ile gama-ışınları, jetin içinde daha çok ters-Compton saçılması sonucu üretilmektedir. Hem yumuşak X-ışınları (2-4 keV, 4-10 keV) hem de sert X-ışınları (15-150 keV) jette üretilebildiğinden, korelasyon analizi sonucu ışınım üretim mekanizmasının (Compton saçılması, Senkrotron ışınımı) aynı olup ya da olmadığı görülebilir. Benzer şekilde,

X-ışınları ile çok yüksek enerjili gama-ışınları (0.1-300 GeV) arasında yapılan korelasyonlar sonucu, bu ışınımın aynı ışınım mekanizması ile oluşup oluşmadığı görülebilmektedir. Isısal olmayan ışınım süreçleri, özellikle SSC gibi modelleri doğrulamaktadır. Sonuç olarak tezde, yumuşak X-ışınları, sert X-ışınları ve gama-ışınlarının aynı ışınım süreçlerine sahip olduğunu görmek amaçlandığı için farklı enerji bandları seçilmiş ve korelasyonlar hesaplanmıştır. Bununla birlikte, yumuşak ve sert X-ışınlarının, yığılma diskinde ve jette ayrı ayrı üretildiği veya yığılma diskinin jeti beslediği hakkında somut sonuçlar da elde edilebilmektedir.

Kaynaklardan farklı zamanlarda gelen fotonlar arasında, Dünyamızın Güneş etrafındaki hareketinden dolayı zaman gecikmeleri olmaktadır. Zaman gecikmelerini düzeltmek için barisentrik düzeltme yapılmaktadır. Böylece gelen fotonların zaman gecikmesi hesaplanmakta ve daha doğru sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu gecikmenin analizlere olan olası etkisi yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Korelasyonlar için seçilen ışık eğrilerine ait patlamalar ortalama 30 gün civarındadır. Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketi dolayısıyla gelen ışığın gecikmesinde ışığın aldığı yol: $30 \pi \times (150,000,000 \text{ km})/360 = 39,269,908 \text{ km}$ 'dir. Alınan yolun ışık hızına bölünmesi ile geciken zaman bulunur ve $39,269,908 \text{ km} / 300,000 \text{ km sn}^{-1} = 130 \text{ sn}$ elde edilir. Yani, ortalama 30 günde Dünyanın Güneşin etrafındaki hareketinden dolayı ~130 saniye gecikme meydana gelir. Bu gecikme 30 gün (2,592,000 saniye) içinde çok küçük bir değer olduğu için zaman tez kapsamında kullanılan verilerde bu düzeltmenin yapılmasına gerek duyulmamıştır. Ayrıca benzeri durum Dünya etrafında dolanan MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT için de geçerlidir. Bu durumda oluşacak etki, örnek olarak Fermi/LAT uydusu için hesaplanmıştır. Fermi uydusu Dünya'dan yaklaşık 565 km uzaktaki bir yörüngede hareket etmektedir. Bir tam dönüşünün yarısında aldığı yol: $2\pi \times 565/2 = 1,775 \text{ km}$ 'dir. Uydunun aldığı yol ışık hızına bölünürse: $1,775/300,000 \text{ km sn}^{-1} = 6 \times 10^{-3} \text{ saniye}$ elde edilir. Bu değer 1 gün (86,400 sn) ile kıyaslandığında çok küçük olduğundan yine ışık eğrilerinde herhangi bir zaman düzeltmesine gerek duyulmamıştır. Ancak daha yüksek zaman çözünürlüklü çalışmalar yapılmak istediğinde bu düzeltmelerin yapılması gerekli olacaktır. Zaman analizinde MJD (Modified Julien Date) kullanılmıştır.

3.2. UYDU VE ALICILAR

3.2.1. Fermi/LAT (Large Area Telescope)

Gama-ışınları optik ışınımın aksine yakalanamaz ya da bir ayna ile yansıtılamaz. Gama-ışınları çok küçük dalgaboylarına ve yüksek enerjilere sahip oldukları için yıldızlararası ortam ve dedektörlerden kolaylıkla geçebilmektedir. Gama-ışınlarını yakalamak için yapılan dedektörler ağır kristal bileşimler içerir. Gama-ışınları bu dedektörlerin içinden geçerken kristalin içindeki madde ile etkileşir. Bu etkileşim neticesinde enerjisinin bir miktarını kaybeder ve madde içinde çift (elektron ve pozitron) oluşumuna neden olur. Gama-ışınlarını radyoaktif madde bozunması ve ters-Compton saçılması gibi süreçlerde üretilir².

Fermi gama-ışın teleskobu 11 Haziran 2008 tarihinde Kennedy Uzay Merkezinden fırlatılmıştır. Fermi, iki gama-ışın enstrümanına sahiptir: Geniş alan teleskobu (Large Area Telescope, LAT) ve gama-ışın patlama monitörü (Gamma-ray Burst Monitor, GBM). Fermi/LAT geniş alan gama-ışın teleskobu olup duyarlı olduğu enerji aralığı 20 MeV ile 300 GeV arasındadır. Fermi LAT, yer küresi etrafında her turunu üç saatte tamamlayarak görevini gerçekleştirmektedir³.

Fermi/LAT: İz sürücü (*Precision Converter-Tracker*), kalorimetre (*Calorimeter*), ACD (*Anticoincidence Detector*) dedektör ve veri toplama sistemi (*Data Acquisition System*, DAQ) temel parçalarından oluşmaktadır (Şekil 3.1).

İz sürücü (*Precision Converter-Tracker*): Gama ışınlarının elektron ve pozitrona dönüşmesini sağlayan 16 modüle sahiptir. Her bir modülde 18 (x, y) izleme düzlemi bulunmaktadır. Her x ve y düzlemi tek taraflı silikon (Single-Sided Silicon, SSS) şeritlerinden oluşmaktadır ve bunun içinde pozitronlara hassas dedektörler bulunur. Böylece çift oluşumu sonucunda meydana gelen pozitronlar takip edilmektedir. Sonuç olarak gama-ışınlarının geliş yönlerinin tayinini yapılabilmektedir.

Kalorimetre (*Calorimeter*): Bu enstrümanın temel iki görevi bulunmaktadır. Gama-ışınlarının elektron ve pozitrona dönüşü sırasında açığa çıkan enerjiyi ölçmek ve gelen

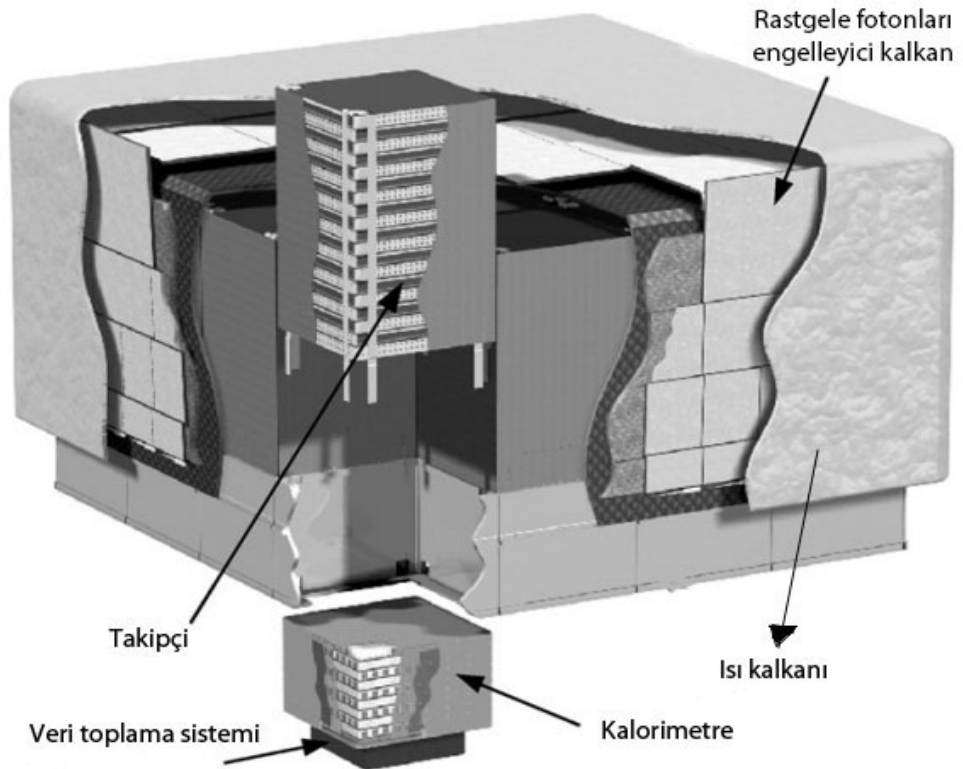
² <https://www-glast.stanford.edu/instrument.html> [1 Mayıs 2016]

³ <https://www-glast.stanford.edu> [1 Mayıs 2016]

gama-ışınlarını resmetmek. Her kalorimetre 96 CsI(Tl) (Sezyum İyodür) kristal bileşimi içermektedir. Bu kristal bileşimleri birbirlerinden tamamen izole edilmiştir. Bu kristal bileşimin alt ve üst tarafına fotodiyotlar eklenmiştir. İki çeşit fotodiyot bulunmaktadır. Geniş olan 147 mm² alana sahiptir ve 2 MeV-1.6 GeV enerji aralığına duyarlıdır. Küçük olan 25 mm² alana sahiptir ve 100 MeV-70 GeV enerji aralığına duyarlıdır.

Rastgele fotonları engelleyici kalkan (*Anticoincidence Detector, ACD*): Bu ekipmanın temel görevi kozmik ışınları engellemektir. 0.9997 gibi büyük bir hassasiyetle kozmik ışınları engelleyebilmektedir.

Veri toplama sistemi (*Data Acquisition System, DAQ*): LAT enstrümanlarının tüm alt sistemlerinden gelen bilgileri toplamaktadır. Bu toplama işlemi kendi içinde hiyerarşik bir sistemle yapılmaktadır (Atwood ve diğ., 2007).



Şekil 3. 1: Fermi/LAT'ın temel enstrümanları (Atwood ve diğ., 2007)

3.2.2. Swift/BAT (Burst Alert Telescope)

X-ışınları yüksek enerjili fotonlar olmakla beraber genelde sert ve yumuşak X-ışınları olarak ikiye ayrılmaktadır. Yumuşak X-ışınlarının parabolik-hiperbolik ayna düzenekleri yardımı ile odaklanması mümkündür. Ancak burada kritik açı 1° den büyük olduğu durumlarda X-ışınları yansımaz bunun aksine ya soğrulurlar ya da yüzeyden etkileşmeden geçerler. Odaklanan X-ışınları bir CCD yardımı ile okunabilir. Sert X-ışınları için daha farklı bir yöntem kullanılmaktadır. Gelen X-ışınları çok yüksek enerjili fotonlar olduklarından kodlanmış maske yöntemi kullanılır. Bu yöntemde bir metalin üzerine işlenmiş bir desen bulunur. Bu desen dolu-boş kısımlarından oluşmaktadır. Gelen fotonların desenlerdeki dolu ve boş kısımlara denk gelmesine göre algılayıcı üzerinde gölge oluşturmaktadır. Gölgenin şekli foton yönüne bağlı olduğundan matematiksel bir dönüşüm yoluyla fotonun geliş yönü tayin edilebilmektedir⁴.

Swift, NASA tarafından Delta 7320 roketi ile 20 Kasım 2004 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Donanımı Amerika, İngiltere, İtalya gibi ülkelerin yanı sıra birçok bilim insanının (Japonya, Almanya, Fransa, Danimarka) katılımı ile oluşturulan bir takım tarafından geliştirilmiştir⁵. Swift uydusu üzerinde üç tane algılayıcı bulunur.

*BAT (Patlama Alarm Teleskobu, The Burst Alert Telescope) algılayıcının enerji aralığı 15 ile 150 keV'dir.

*XRT (X-Işın Teleskobu, The X-ray Telescope) algılayıcının enerji aralığı 0.2 ile 10 keV dir.

*UVOT (Morötesi Optik Teleskop, The Ultraviolet Optical Telescope) algılayıcının dalgaboyu aralığı 1600 ile 6500 Å arasındadır.

BAT algılayıcısı: Dedektör düzlemi (The Detector Plane), kodlanmış maske (Coded Aperture Mask), saçak kalkanı (Fringe Shield), termal kontrol sistemi (The Thermal Control System) ve görüntü işlemci (The Image Processor) kısımlarından

⁴ <http://docplayer.biz.tr/8192487-Uydular-ile-gokbilim-emrah-kalemci-doc-dr-fizikci-ogretim-uyesi-sabanci-universitesi-muhendislik-ve-doga-bilimleri-fakultesi.html> [1 Mayıs 2016]

⁵ <http://swift.gsfc.nasa.gov/> [1 Mayıs 2016]

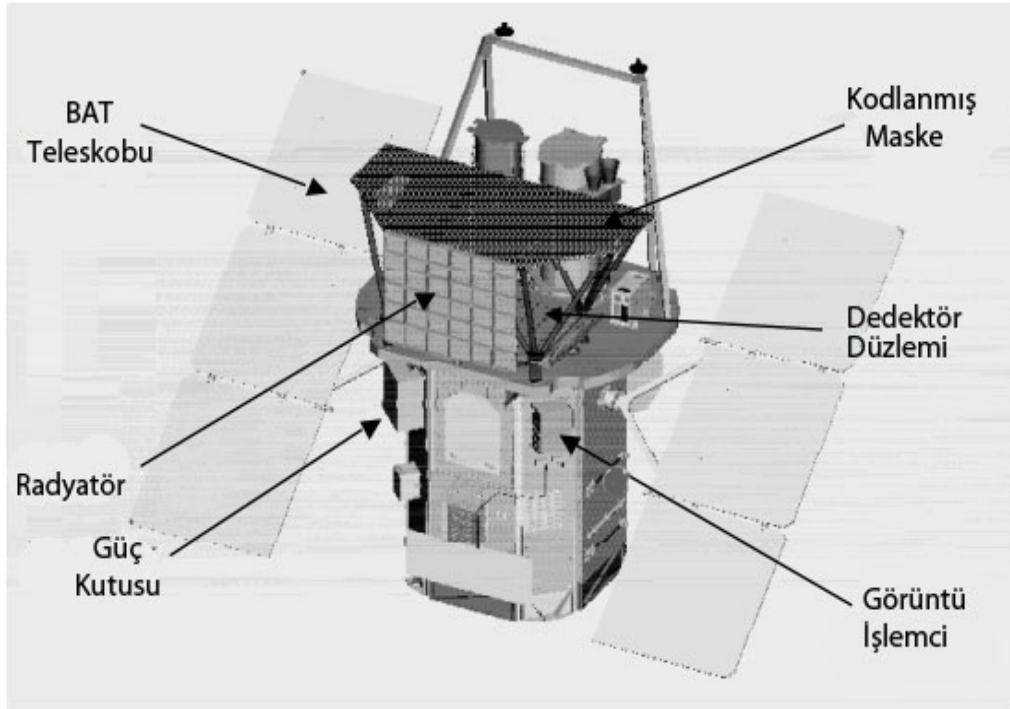
oluşmaktadır (Şekil 3.2).

Dedektör düzlemi (The Detector Plane): Bu aparat CdZnTe (Cd: Kadmiyum, Zn: Çinko, Te: Tellür, CZT) kristalinden ibaret 32,768 parçadan oluşmaktadır.

Kodlanmış maske (Coded Aperture Mask): CZT dedektörünün 1 m üstünde yaklaşık 52,000 parça ve fiberden oluşmaktadır. Bu parçalar 5 mm alana ve 1 mm kalınlığına sahiptir.

Saçak kalkanı (Fringe Shield): Bu aparat kodlanmış maske ile dedektör düzlemi duvarları arasında yer almaktadır. Bu kalkan beş katmandan meydana gelir: Pb (Kurşun), Ta (Tantal), Sn (Kalay) ve Cu (Bakır). Bu aparat, kozmik ışınları ve yeryüzünden yansıyan ışınları %95 kadar engellemektedir.

Görüntü işleme (The Image Processor): BAT algılayıcısının kontrol işlemcisidir ve bir kaç fonksiyonu bulunmaktadır. Patlama olaylarına ilişkin bilgileri taramak ve toplamak, yeni nokta kaynakların artış oranlarını hesaplamak, BAT enstrümanlarını kontrol etmek ve bilgileri biriktirmek olarak sıralanabilir (Krimm ve diğ., 2013).



Şekil 3. 2: Swift/BAT algılayıcısına ait temel parçalar (Barthelmy ve diğ., 2005).

Swift teleskobunun yaptığı gözlemlerin temel amacı: Gama-ışın patlamalarını kullanarak erken Evreni anlamak ve gama-ışın patlamalarının kökenini belirlemek. Swift, bu süreç içerisinde 1000'den fazla gama-ışın patlaması gözleyip yerini tespit etmiştir⁶.

3.2.3. MAXI (Monitor of All sky X-ray Image)

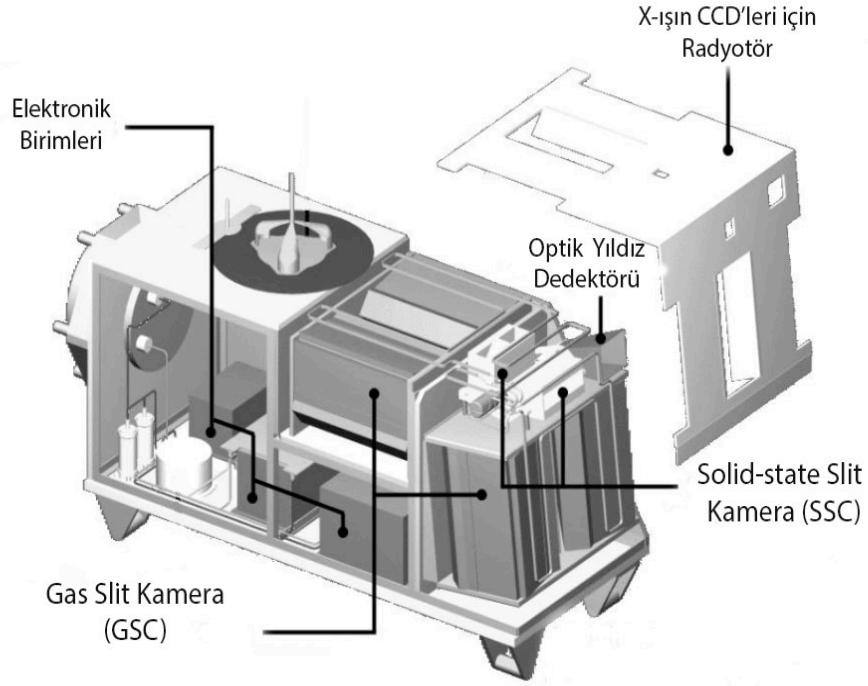
Uluslararası Uzay İstasyonu (International Space Station, ISS) üzerine Haziran 2009 tarihinde astronomik gözlemler yapmak amacıyla yüklenen ilk teleskoptur. Yerküre etrafında 90 dakikada bir tur atarak gökyüzünün %90 civarını sürekli olarak tarar. MAXI iki ana kameraya sahiptir: GSC (Gas Slit Camera) ve SSC (Solid-State Slit Camera) (Şekil 3.3).

GSC (Gas Slit Camera): Ana X-ışın kamerasıdır ve 2-30 keV enerji aralığındaki fotonları tespit etmektedir. Bu kamera 84 derece açıyla birbirinden ayrık ve iki görüş alanına sahiptir. Bunlar yatay ve dikey görüş alanlarıdır. Bu görüş alanlarından dolayı, MAXI otomatik olarak her 96 dakikada bir neredeyse tüm gökyüzünü tarayabilmektedir (Matsuoka ve diğ., 2009).

SSC (Solid-State Slit Camera): Enerji aralığı 0.5 ile 12 keV arasındadır. Yatay ve dikey birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler yarık kolimatöre sahiptir. Her kolimatör 1.5×90 derecelik görüş alanına ve 16 CCD çipine sahiptir. Her CCD 1024×1024 pikseldir ve her piksel 24×24 nanometredir (µm). Kullanılan CCD'ler -60° C derecenin altındaki sıcaklıklarda çalışmaktadır (Matsuoka ve diğ., 2009).

MAXI'nin sistematik gözlemleri kara delik çiftleri, AGÇ'lerin oluşturduğu aktivitelerin nasıl ve nerede oluştuğunu araştırmak ve bütün gökyüzünü yumuşak X-ışın (<0.5 keV) ile orta X-ışınları (3-7 keV) arasında haritalamaktır (Matsuoka ve diğ., 2009).

⁶ http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/bat_desc.html [1 Mayıs 2016].



Şekil 3. 3: MAXI'ye ait ana bileşenler (Matsuoka ve diğ., 2009).

3.3. ANALİZDE KULLANILAN YÖNTEM

Genelde istatistikte kullanılan korelasyon yöntemlerinin astronomik amaçlara yönelik olanları gün geçtikçe gelişerek artmaktadır. Bu yöntemler iki veri arasında bir düzenin veya birbiri ile ilişkinin ne seviyede olduğunu gösteren matematiksel olarak ifade edilmiş istatistiksel önermelerdir. Korelasyon, tam artan doğrusal bir ilişki varsa +1 değerini alır. Ama tam bir azalan ilişki varsa -1 değerini alır. Dolayısıyla korelasyon katsayısı +1 ile -1 arasında değerler almaktadır. Korelasyon katsayısı 0.5 ve bu katsayıdan küçükse kullanılan veriler arasında bir ilişkinin varlığından söz etmek zorlaşır⁷. AGÇ'lerin ışık eğrisi verileri arasındaki ilişkileri anlamak için istatistikten bolca faydalanılır. Ancak, AGÇ'lerdeki veriler arasından eksiklikler bulunabilmektedir. Bu eksiklikler gözlemsel ve aletsel olabilir. Örneğin a dalga boyunda yeterince gözlem verisi mevcutken, b dalga boyunda böyle bir durum söz konusu olmayabilir ve ne yazık ki gerçekte de böylesine bir durum astronomlara çeşitli problemler yaşatabilir. Ne var ki, veriler arasındaki bu düzensizlik problemini yine astronomlar çözüme

⁷ <https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon> [24 Mayıs 2016]

kavuşturabilmişlerdir. Özellikle, astrofizikçi Prof. Alexander Tal Fortran dilinde yazdığı bir program ile birçok problemde kurtulabilmemizi sağlamıştır. Bu program özellikle bahsi geçen düzensiz verilerde başarı oranını artırmıştır. Program içindeki matematiksel ifadeler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Geniş bir alanda kullanılan Çarpaz Korelasyon Fonksiyonu (Cross-Correlation Function, CCF) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$CCF(\tau) = \frac{E[(\alpha(t)-E_\alpha)(b(t+\tau)-E_b)]}{\sqrt{V_a V_b}} \quad (3.1)$$

Burada $\alpha(t)$ ve $b(t)$ ışık eğrilerini, E_α ve E_b ortalama değerleri, V_a ve V_b varyansları, τ zaman gecikmesini temsil eder. Bir diğer yöntemde gözlenmiş noktaların hesaplanmasında kullanılır. Kesikli-Korelasyon Fonksiyonu (Discrete Correlation Function, DCF) Edelson ve Krolik (1988) tarafından bulunan bir yöntemdir, ve şu şekilde ifade edilir:

$$DCF_{ij} = \frac{(a_i - \bar{a}')(b_j - \bar{b}')}{s'_a s'_b} \quad (3.2)$$

Burada a_i, b_j ışık eğrileri; \bar{a}', \bar{b}' ışık eğrilerinin ortalaması; s'_a, s'_b ışık eğrilerine ait varyanslardır. Bu formül her ışık eğri çifti için uygulanır. Son olarak DCF'den bir adım önde olan Z-Dönüşüm Kesikli Korelasyon Fonksiyonu (Z-transformed Discrete Correlation Function, Z-DCF)'yi Eşitlik 3.5'deki gibi ifade edilir.

Öncelikle CCF (r) katsayısı olan r aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$r = \frac{\sum_i^n [(a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})]/(n-1)}{s_a s_b} \quad (3.3)$$

CCF'ye ait varyanslar

$$S_a^2, S_b^2 = \sum_i^n (a_i - \bar{a})^2 / (n - 1) \quad (3.4)$$

ile ifade edilir. Burada a_i ve b_i ışık eğrilerini, \bar{a} ve \bar{b} ışık eğrisinin ortalamasını, S_a ve S_b standart sapmayı temsil eder. Elde edilen korelasyon katsayısından sonra Fisher'in (Kendall ve Stuart, 1969) standartlaştırılmış z değerine geçilir:

$$z = \frac{1}{2} \log \left(\frac{1+r}{1-r} \right), \quad \xi = \frac{1}{2} \log \left(\frac{1+\rho}{1-\rho} \right), \quad r = \tanh z \quad (3.5)$$

z değerine ait ortalama aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\bar{z} = \xi + \frac{\rho}{2(n-1)} \left[1 + \frac{5+\rho^2}{4(n-1)} + \frac{11+2\rho^2+3\rho^4}{8(n-1)^2} + \dots \right] \quad (3.6)$$

z değerine ait varyans ise

$$S_z^2 = \frac{1}{n-1} \left[1 + \frac{4-\rho^2}{2(n-1)} + \frac{22-6\rho^2-3\rho^4}{6(n-1)^2} + \dots \right] \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir ve burada ρ grupların (bin) bilinmeyen korelasyon katsayısını temsil eder. Denklemde ait hata bir σ_{\pm} içinde $\delta r_{\pm} = | \tanh(\bar{z}(r) \pm s_z(r)) - r |$ şeklinde

ifade edilir. Ölçüm hatalarından kurtulmak için Monte Carlo simülasyonu kullanılır. Ancak istatistiksel olarak anlamlı yorum yapmak için en az 11 çift noktanın olması gerekir. Bu yöntem denenen ışık eğrilerinde daha başarılı olmuş ve hatta küçük örneklerde de geçerliliğini sürdürmüştür (Tal, 2013).

Işık eğrilerine ait korelasyon katsayılarının kendi hatalarına bölünmesi ile elde edilen her bir değer σ olarak hesaplanmıştır. Bunlar ayrıca bulgular kısmındaki şekillerde de gösterilmiştir.

3.4. PROGRAMA VERİ GİRİŞİ

Işık eğrilerinin seçimi yapıldıktan sonra korelasyon için Alexander Tal tarafından Fortran programlama dilinde hazırlanmış kodu kullanılmıştır. Veri girişi için, üç veri sütunu içeren bir metin dosyalarının hazırlanması gerekir. Dosya içinde veriler şu sırada yer alır: Işık eğrisine ait zaman, akı/mutlak parlaklık ve akı/mutlak parlaklık hatası. Program veriyi okumadan önce kullanıcı tarafından girilmesi gereken seçenekler sunar, bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

```

! ZDCF V2.2 begins.

(1)! Auto-correlation or cross-correlation? (1/2):

! 2      <-USER

(2)! Enter output files prefix:

! verilen_isim  <-USER

(3)! Uniform sampling of light curve? (y/n):

! n      <-USER

(4)! Enter minimal number of points per bin (0 for default):

! 0      <-USER

(5)! Omit zero-lag points? (y/n):

```

```

! y      <-USER

(6)! How many Monte Carlo runs for error estimation?

! 100    <-USER

(7)! Enter name of 1st light curve file:

! inp1   <-USER

(8)! Enter name of 2nd light curve file:

! inp2   <-USER

!

(9)! dbg.lc1  written (contains 59 points) ...

! dbg.lc2  written (contains 63 points) ...

```

(1) İlk seçenek; Auto-correlation veya cross-correlation (1/2) seçimi ile ilgilidir. Bizim çalışmamızda cross-correlation yapıldığı için klavyeden 2 seçilerek programa başlanır.

(2) İkinci seçenekte derlenen veri çıktısının ismi girilir.

(3) Bu seçenek ışık eğrisinin düzenli ya da düzensiz olduğunu ve girilen seçeneğin hangisi olduğunun (y/n) (evet/hayır) belirtilmesini ifade eder. Çalışmamızda kullanılan veriler düzensiz alındığı için, seçenek n (hayır) olmalıdır.

(4) Burada da bin'lenecek (gruplanacak) ışık eğrisinin sayısı girilir, 0 seçeneği otomatik ayarlanmış bin sayısını göstermektedir.

(5) Bu seçenek ışık eğrilerinin arasındaki zaman gecikmesinin hesaplanmasının istenip istenemediğini sorar (y/n) ?

(6) Hata tahmini için kaç Monte Carlo simülasyonunun uygulanmasını sorar, tercihen 100 adet önerilir, çalışmamızda her bir analiz için 10000 tane simülasyon yapılmıştır.

(7) ve (8) seçeneklerinde ise 1. Işık eğrisi ve 2. Işık eğrisinin verisi girilir.

Program bittikten sonra (9) parametreleri üretilir, burada ışık eğrilerini ayrı ayrı dosyalara yazar.

Program biterken yaptığı işlemleri kısaca özetler:

```

! ZDCF PARAMETERS:
! Autocorrelation?    F
! Uniform sampling?   F
! Omit zero lags?     T
! Minimal # in bin:   11
! # of Monte Carlo: 100 Monte Carlo seed: 123 59 points in inp1 63
! points in inp2

```

Daha sonra korelasyon ile ilgili bir dosya çıktısı verir ve verilen_isim.dcf şeklinde olur. Bu çıktıya ait içeriğin örneği aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

```

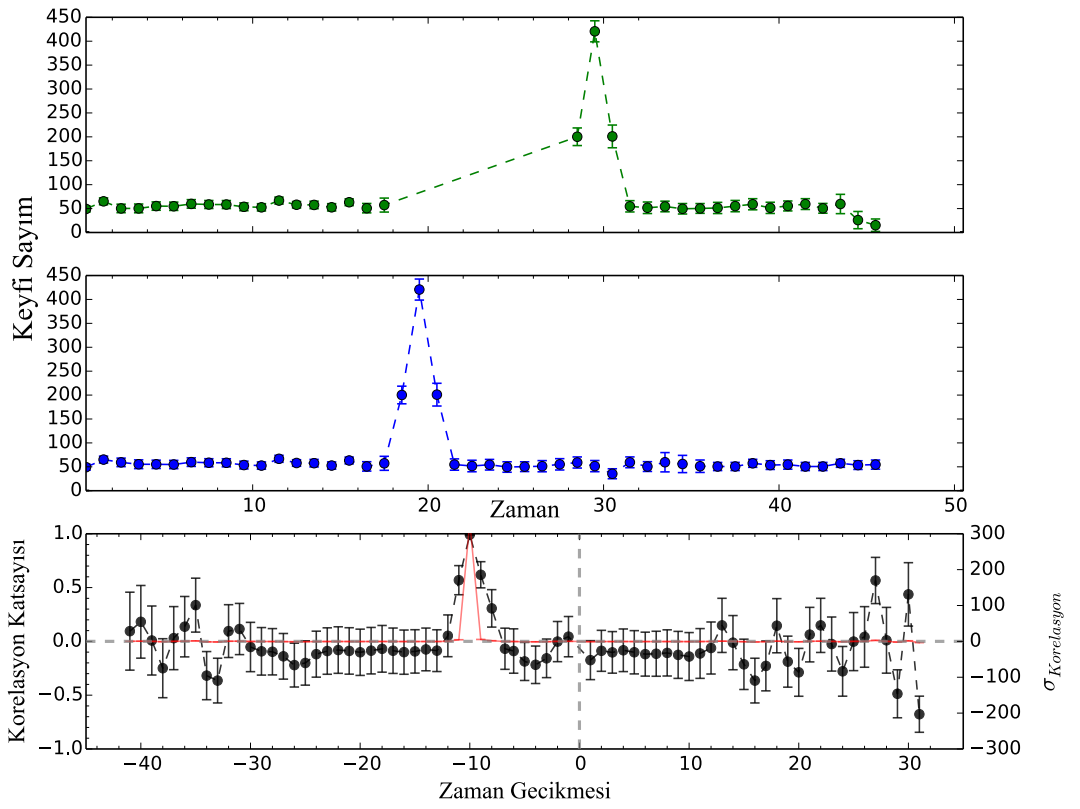
C Binning with minimum of 11 points per bin and resolution of 1.00E-03.
c 71 bins actually used,307 inter-dependent pairs discarded.
C
c
c tau      -sig(tau)  +sig(tau)  dcf      -err(dcf)  +err(dcf) (#bin)
c -5.104E+01 9.915E-01 1.058E-01 6.378E-01 2.524E-01 1.636E-01 (11)  c
c 5.203E+01 1.396E-01 9.683E-0 5.681E-02 3.433E-01 3.304E-01 (11)  c
c 5.498E+01 1.020E+00 2.047E+01 1.553E-01 3.704E-01 3.313E-01 (10)
c
c
c verilen-isim.dcf written...
c
c Program ended.

```

Bu çıktıda belirlenen tau değeri zaman farkını gösterir ve $\tau = t$ (2. Işık eğrisi) - t (1. Işık eğrisi) ile ifade edilir; $-\text{sig}(\tau)$ ve $+\text{sig}(\tau)$ kısmı tau'ya ait hataları ifade eder. dcf korelasyon katsayısı; $-\text{err}(dcf)$ ve $+\text{err}(dcf)$ korelasyon katsayısına ait hataları ifade eder. Son olarak, ($\#bin$) bin'lenme (gruplama) sayısını ifade etmektedir.

Korelasyon ile ilgili sonuca ulaşıldıktan sonra grafik çizdiren bir program (Python, IDL...) ile tau (zaman gecikmesi) ve dcf (korelasyon katsayısı) kolonları çizdirilir. Elde edilen grafik korelasyon katsayısı ve zaman gecikmesini gösterir bir çıktı verir. Nihayet iki veri arasındaki korelasyonun varlığı ve derecesi üzerine fikir sahibi olurken aynı zamanda iki veri arasında geciken zamanın ne kadar olduğu ve bütün bu değerlerin hataları bulunmuş olur.

Program bir gün çözünürlüklü veri kullanılarak çalıştırılmıştır. Verilen keyfi değerler rastgele seçilmiş ve en yüksek değerler arasında 10 günlük zaman gecikmesi ve korelasyon katsayısı hesaplanması amaçlanmıştır. ZDCF programına girilen Şekil 3.4'de keyfi değerler, sonuçta hesaplanan korelasyon katsayısı ve zaman gecikmesi gösterilmiştir. Beklendiği gibi korelasyon katsayısı 0.98 gibi yüksek bir değer olarak hesaplanmış ve zaman gecikmesi de 10 gün bulunmuştur.



Şekil 3. 4: Bir gün çözünürlüklü sayım ve korelasyon katsayıları gösterilmektedir. Pneller üstten alta doğru 1. keyfi değerler, 2. keyfi değerler ve korelasyon katsayılarını ifade eder.

4. BULGULAR

4.1. MAXI, SWIFT/BAT VE FERMI/LAT ARASINDAKİ KORELASYONLAR

Tez kapsamında kullanılan ışık eğrileri: MAXI 2-4 keV, 4-10 keV, 10-20 keV, 2-10 keV ve 2-20 keV; Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır. MAXI ve Swift/BAT ışık eğrileri günlük ortalama olarak alındığından genelde ışık eğrilerinde bir gün veya birkaç gün içinde bir veya birkaç noktanın patlama yaptığı görülmektedir. Bu durumun gerçekte ne kadar olası olduğunu görmek amacıyla, uydunun her bir geçişinde elde ettiği fotonların gerçekten günlük ortalama sağladığı el ile yapılan günlük ağırlıklı ortalama hesabı ile teyit edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, yapılan günlük ağırlıklı ortalama ışık eğrilerindeki günlük ortalama ile tutarlılık göstermiştir. Ayrıca, Şekil Ek 7.1’de görüldüğü üzere uydunun her geçişinde elde ettiği fotonlar yine günlük ortalama ışık eğrisi üzerine çizdirilmiştir. Gerçekten, günlük ortalama her yörünge geçişinde elde edilen fotonlarla tutarlılık göstermektedir. Ancak, tek yörünge geçişinde elde edilen fotonların sayısı az olduğundan hataları da çok büyük olmaktadır, bu sebeple günlük ortalama ışık eğrisi kullanılmıştır. Bu sebeple yapılan analizler hep maksimum bir günlük zaman çözünürlüğüne sahiptir.

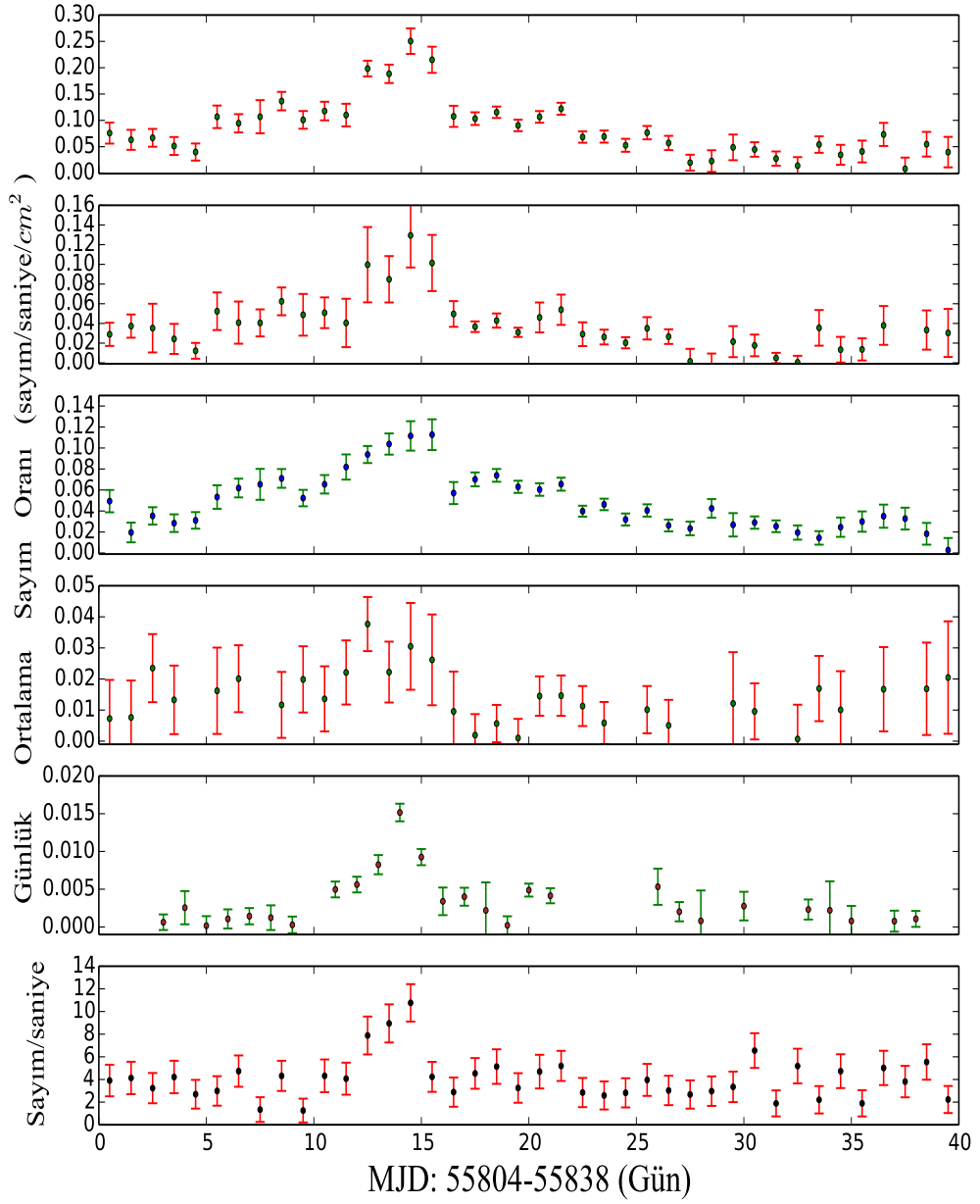
Benzer şekilde diğer veri setleri ile uyumlu olması açısından Fermi/LAT 0.1-300 GeV ışık eğrileri de günlük ortalama sayım olarak çalışmaya dahil edilmiştir.

4.1.1. BL Lac Cisimleri

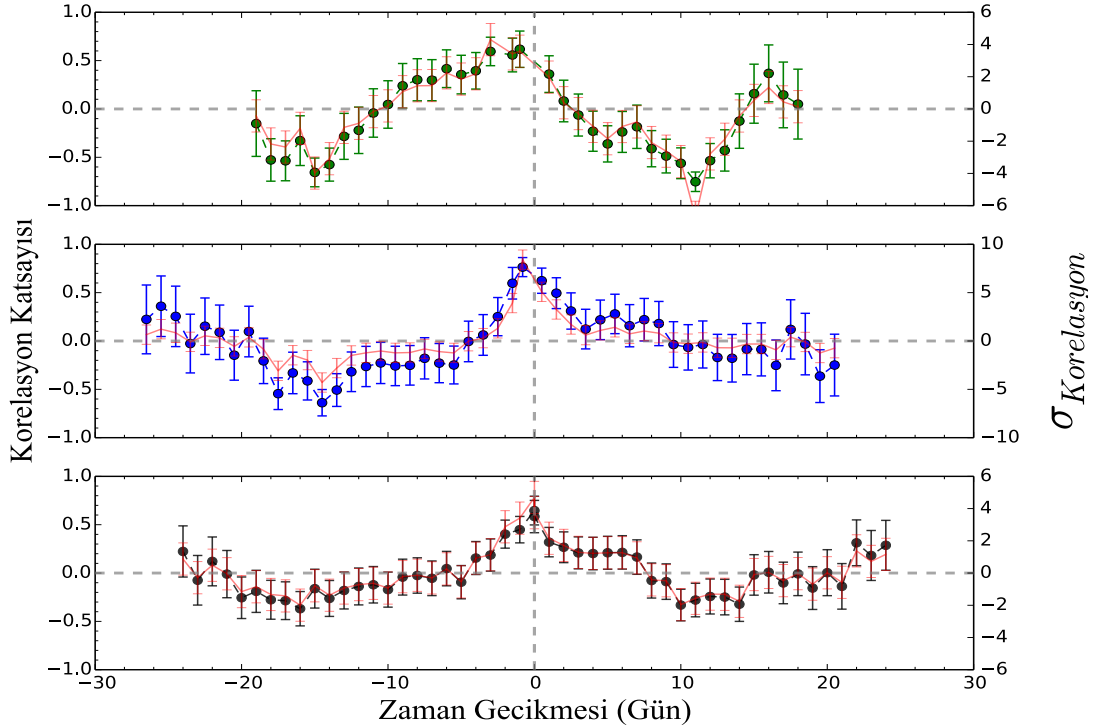
4.1.1.1. Mrk 421

Bu kaynakların uzun ismi ‘*Markarian*’dır ancak genelde bu isimlendirmeler kısaltılmış biçimiyle Mrk veya Mkn olarak kullanılmaktadır. Blazarlar içinde ilk keşfedilen BL Lac türüdür. 1992’de Punch tarafından Whipple teleskobu ile keşfedilen bu kaynak TeV’lere kadar ışınım yaymaktadır ve çok güçlü gama-ışın değişkenliğine sahip olmasının yanında kısa zaman ölçeklerinde de aşırı hızlı (~10 dakika) gama-ışın değişkenliğe sahiptir (Gaidos ve diğ., 1996).

MJD 55804-55838 gün aralığında alınan ışık eğrileri MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT algılayıcıları için Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Her üç uyduya ait verilerde de 15 gün civarında bir patlama olduğu görülmektedir. Verilerde gözlenen korelasyonlar: MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV arasında, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasında Bölüm 3.4'de tanıtilan ZDCF programı ile hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şeklin üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV ışık eğrisine ait korelasyon katsayıları olup maksimum korelasyon katsayısı $0.62^{+0.16}_{-0.19}$ noktasında görülür. Bu iki ışık eğrisi arasında MAXI 10-20 keV'in öncülüğünde iki ya da üç günlük zaman gecikmesi görülmektedir. Şeklin orta panelinde mavi noktalar MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ışık eğrileri arasında korelasyonu göstermekte olup, korelasyon katsayısının maksimum $0.76^{+0.09}_{-0.09}$ değeriyle sıfır ile bir gün arasında maksimum yaptığı görülmektedir. Şeklin alt panelinde siyah noktalar ise MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV ışık eğrileri arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Korelasyon katsayısının maksimum olduğu $0.65^{+0.09}_{-0.10}$ noktasında sıfır günlük bir zaman gecikmesi görülmektedir.



Şekil 4. 1: Mrk 421'e ait MJD 55804-55838 gün aralığındaki ışık eğrileri ve ışık eğrilerinin enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmıştır.



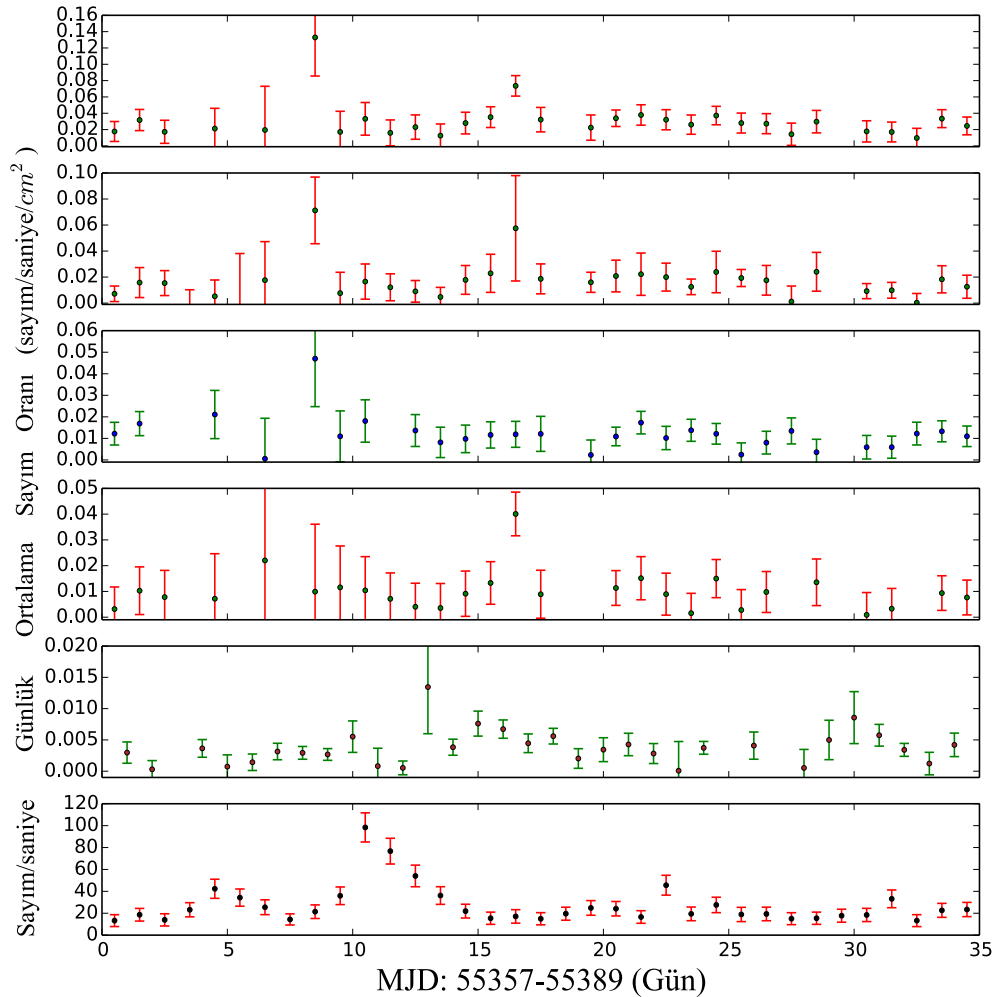
Şekil 4. 2: Mrk 421 kaynağının MJD 55804-55838 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

4.1.1.2. 3C 273

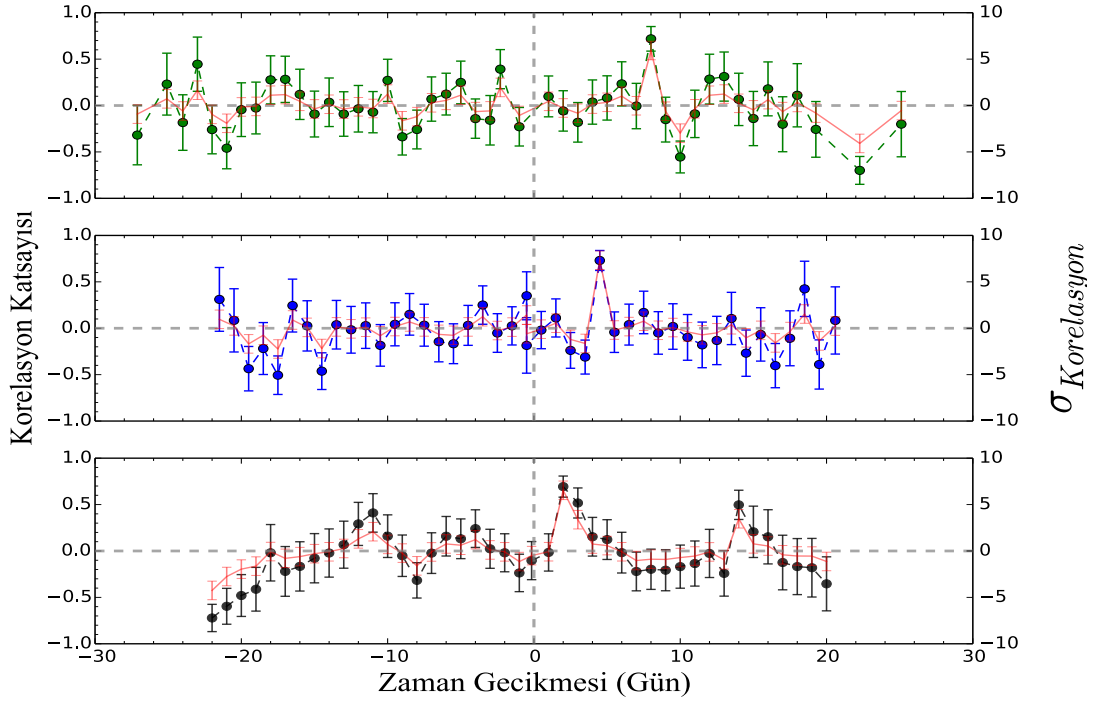
Radyo bölgede sessiz sınıflanmış bir kaynak olan 3C 273 keşfedilen ilk kuazar (Schmidt, 1963) olmakla birlikte ilk gama-ışınımı alınan galaksi olarak bilim tarihine geçmiştir (Swanenburg ve diğ., 1978).

MJD 55355-55389 gün aralığında alınan ışık eğrilerinin MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT için enerji aralıkları Şekil 4.3'de verilmiştir. Her üç algılayıcıdan alınan verilerde korelasyonlar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV arasında, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında ve MAXI 2-10 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasında araştırılmıştır. ZDCF programıyla hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Şekilde üst panelde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV ışık eğrisine ait korelasyon katsayıları olup maksimum korelasyon

katsayısı $0.72^{+0.11}_{-0.13}$ noktasında görülmektedir. Bu iki ışık eğrisi arasında MAXI 2-4 keV'in öncülüğünde sekiz günlük zaman gecikmesi görülmektedir. Şeklin orta panelinde mavi noktalar MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ışık eğrileri arasında korelasyonu ifade eder ve korelasyon katsayısı maksimum $0.65^{+0.13}_{-0.13}$ olduğu noktada her iki ışık eğrisi arasında MAXI 2-10 keV'in önde olduğu ve yaklaşık 4 günlük bir zaman gecikmesi görülmektedir. Yine aynı şeklin alt panelinde siyah noktalar ise MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV ışık eğrileri arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Korelasyon katsayısının maksimum olduğu $0.65^{+0.09}_{-0.10}$ noktasında MAXI 2-20 keV'in önde olduğu yaklaşık iki günlük bir zaman gecikmesi görülmektedir.



Şekil 4. 3: 3C 273'e ait MJD 55357-55389 gün aralığındaki ışık eğrileri ve ışık eğrilerinin enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmıştır.



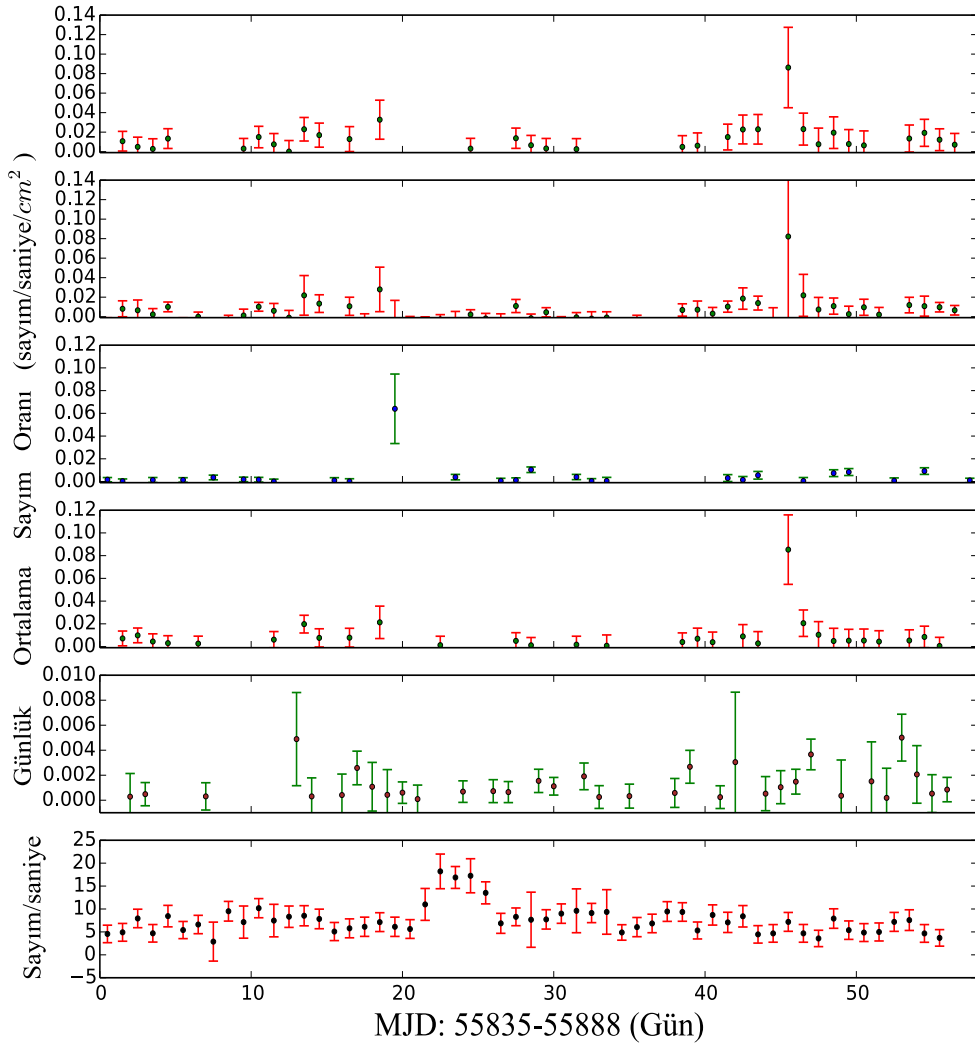
Şekil 4. 4: 3C 273 kaynağının MJD 55357-55389 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

4.1.1.3. PKS 0716 + 714

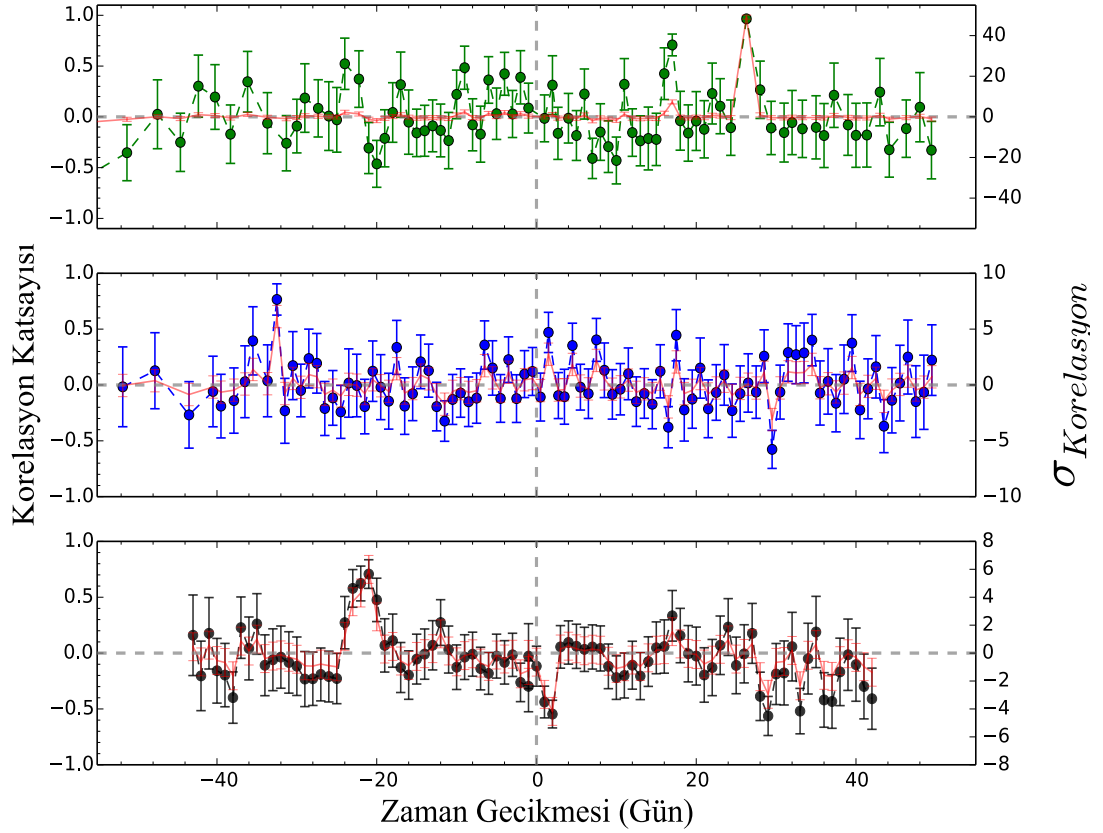
S5 0716 + 714 olarak da bilinen bu kaynak literatürde en parlak ve en fazla ışınım değişkenliği gösteren bir blazar olarak bilinir. Radyo kaynağı olarak keşfedilmesi ile beraber BL Lac sınıfına yerleştirilmiştir (Biermann ve diğ., 1981). Güçlü gama ışınımına sahip olan bu kaynak Fermi uydusunun gözleme başlamasıyla birlikte Fermi LAT kataloglarında da yer almıştır.

MJD 55835-55888 gün aralığında MAXI, Swift ve Fermi/LAT için ışık eğrileri gösterilmiştir (Şekil 4.5). Her üç algılayıcıdan alınan verilerde korelasyonlar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV arasında, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındadır incelenmiştir. Korelasyon katsayıları ZDCF programıyla hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şeklin üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV ışık eğrilerine

ait korelasyon katsayılarını gösterirken her iki ışık eğrisine ait maksimum korelasyon katsayısı $0.97_{-0.02}^{+0.02}$ görülmektedir. Bu iki ışık eğrisine ait zaman gecikmesi MAXI 2-4 keV 26 gün öndedir. Şeklin orta panelinde mavi noktalar MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ışık eğrileri arasında olup en yüksek korelasyon katsayısı $0.77_{-0.14}^{+0.14}$ olduğu noktada her iki ışık eğrisi arasında Swift/BAT 15-150 keV'in önde olduğu yaklaşık 32 gün zaman gecikmesi görülmektedir. Şeklin alt panelinde siyah noktalar ise MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV ışık eğrileri arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Korelasyon katsayısı maksimum $0.66_{-0.15}^{+0.12}$ olduğu noktada Fermi/LAT 0.1-300 GeV'in yaklaşık 21 gün önde olduğu bir zaman gecikmesi görülmektedir.



Şekil 4. 5: PKS 0 716 + 714 kaynağının MJD 55835-55888 gün aralığı için enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır.



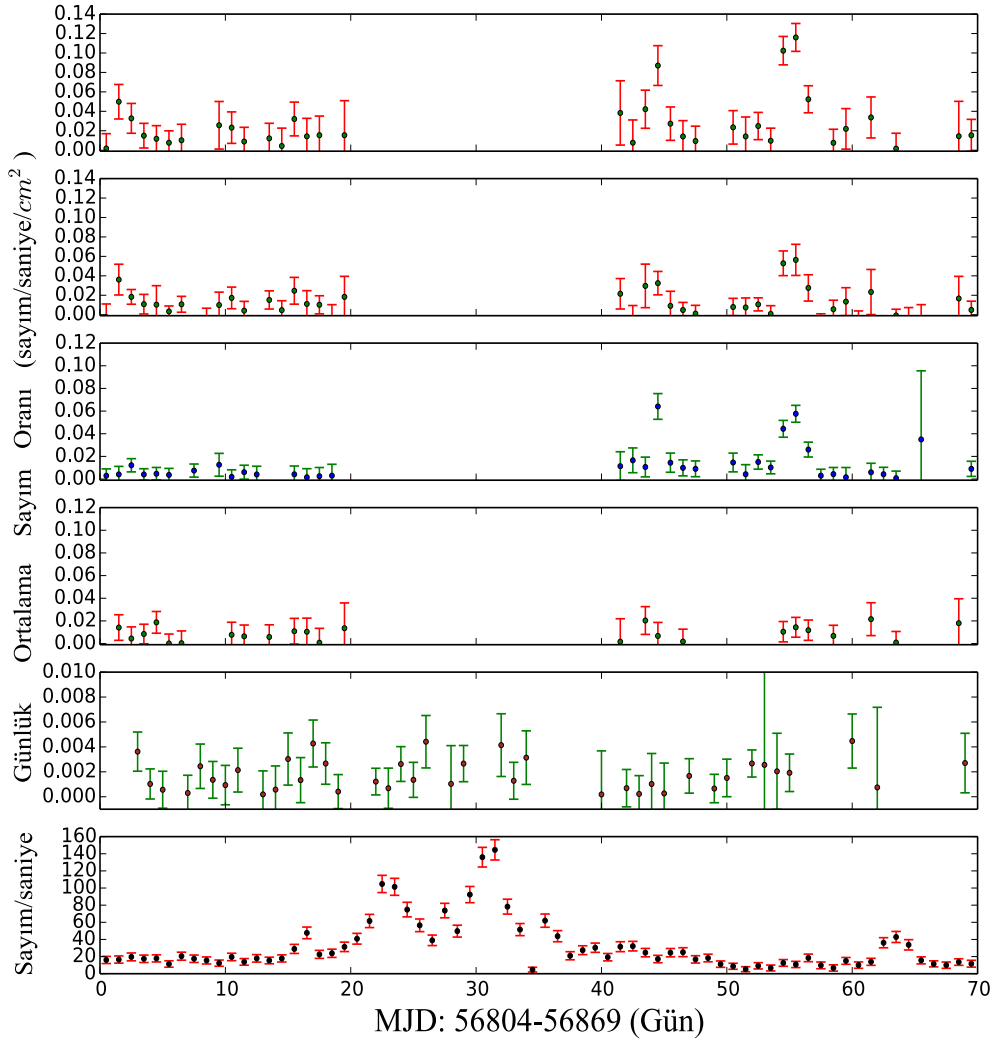
Şekil 4. 6: PKS 0716+714 kaynağının MJD 55835-55888 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

4.1.1.4. 3C 454.3

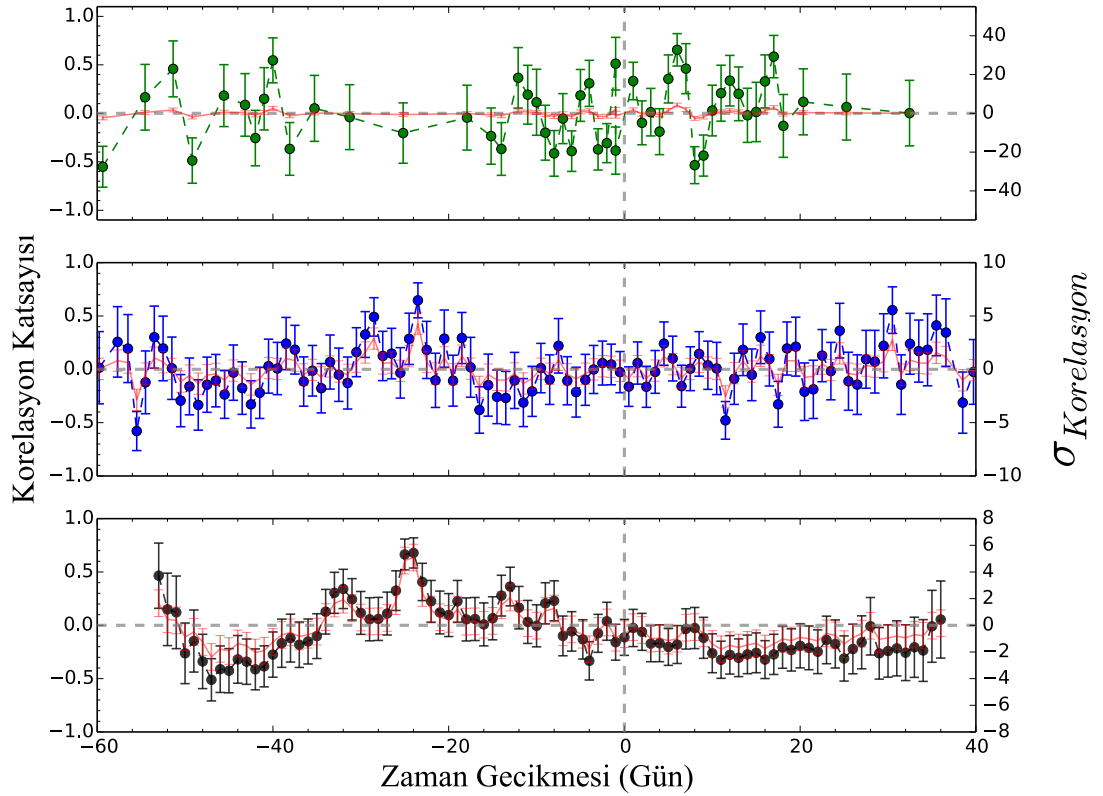
III. Cambridge kataloğunda bir radyo kaynağı olarak keşfedilmiştir. FSRQ sınıflamasına girer ve bu sınıfın içindeki en parlak kaynaklardan biridir. Neredeyse tüm elektromanyetik tayfa ışınım yayar (Lister ve Homan, 2005; Nandikotkur ve diğ., 2007).

MJD 56804 - 56869 gün aralığında alınan ışık eğrilerinin MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT'ın ışık eğrileri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Her üç algılayıcıdan alınan verilerde korelasyonlar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV arasında, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300

GeV arasındaki ilişkinin varlığı ZDCF programıyla hesaplanmıştır (Şekil 4.8). ZDCF Korelasyonuna ait grafikte üst panelde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV ışık eğrilerine ait korelasyon katsayılarını gösterir ancak burada anlamlı korelasyon görülmemektedir. Şeklin orta panelinde mavi noktalar MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ışık eğrileri arasındaki korelasyonları göstermektedir. Bu iki ışık eğrisi arasında anlamlı bir korelasyon görülmemektedir. Şeklin alt panelinde siyah noktalar ise MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV ışık eğrileri arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir ve en yüksek korelasyon katsayısı $0.68^{+0.12}_{-0.14}$ noktasında Fermi/LAT 0.1-300 GeV'in önde olduğu yaklaşık 24 günlük bir zaman gecikmesi görülmektedir.

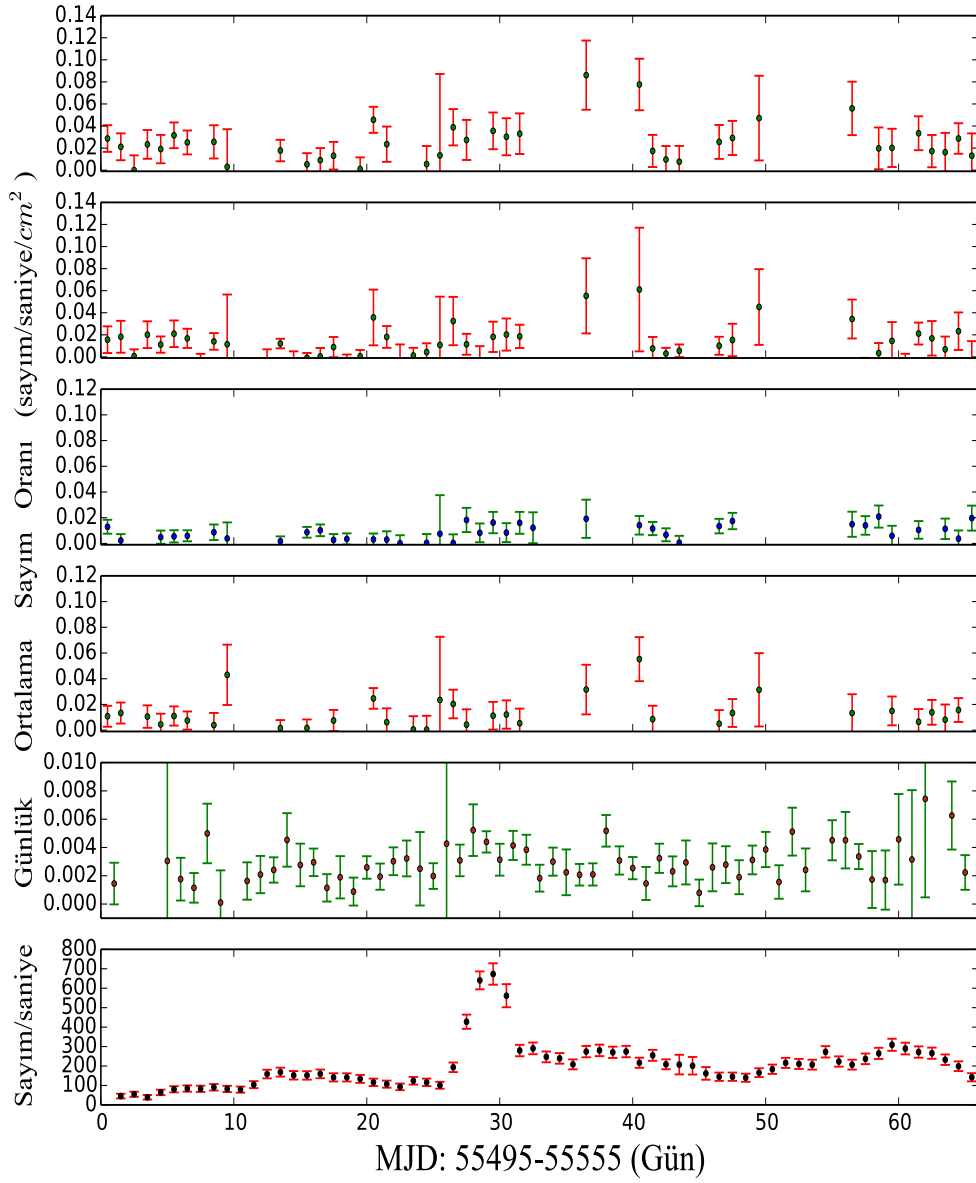


Şekil 4. 7: 3C 454.3 kaynağına ait MDJ 56804 – 56869 gün aralığı için enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır.

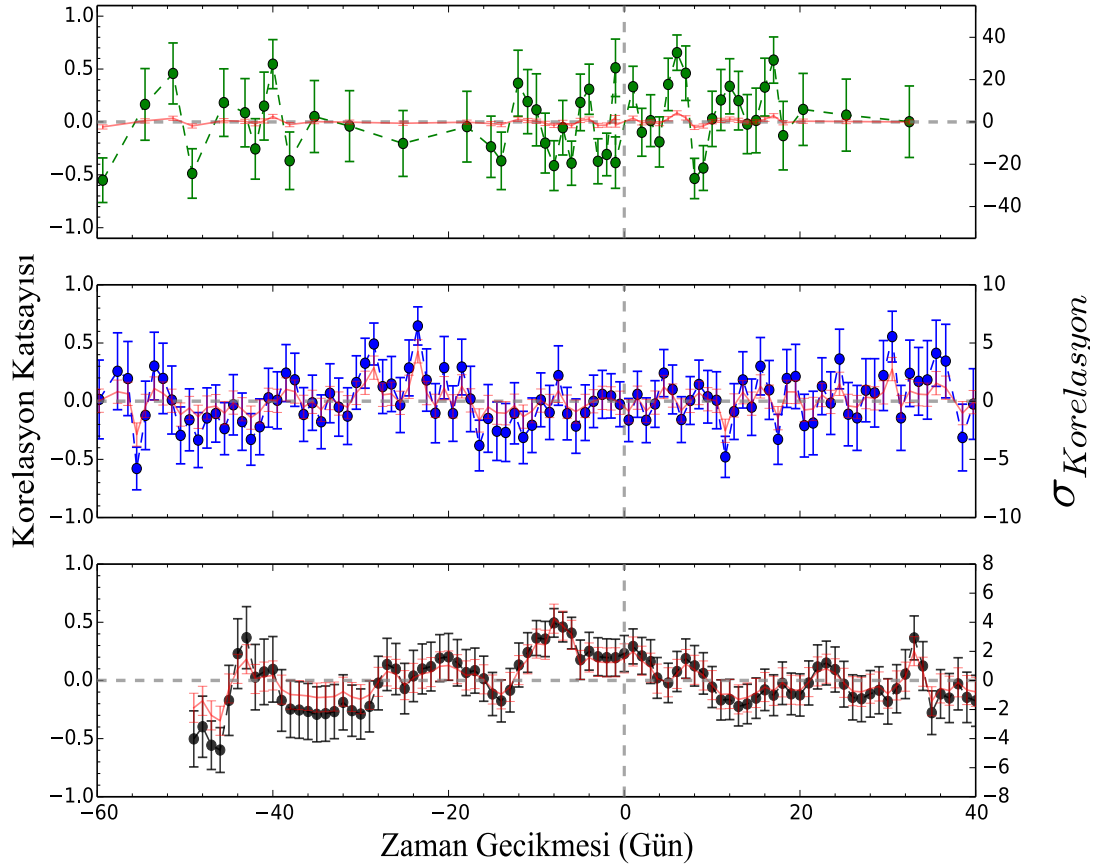


Şekil 4. 8: 3C 454.3 kaynağının MDJ 56804 – 56869 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV; MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV; MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

MJD 55495 – 55555 gün aralığında alınan ışık eğrilerinin MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT'ın ışık eğrileri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Her üç algılayıcıdan alınan verilerde korelasyonlar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV arasında, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyonun varlığı ZDCF programıyla Şekil 4.10'da gösterilmiştir. ZDCF korelasyon katsayılarına ait grafikte üst panelde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV ışık eğrilerine ait korelasyon katsayılarını gösterir. Şeklin orta panelinde mavi noktalar MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ışık eğrileri arasındaki korelasyonları katsayısını gösterir. Şeklin alt panelinde siyah noktalar MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV ışık eğrileri arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Ancak her üç korelasyon katsayılarına ilişkin şekillerde anlamlı korelasyon bulunamamıştır.



Şekil 4. 9: 3C 454.3 kaynağına ait MDJ 55495 – 55555 gün aralığı için enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-20 keV, MAXI 2-10 keV, MAXI 2-4 keV, MAXI 10-20 keV, Swift/BAT 15-150 keV ve Fermi/LAT 0.1-300 GeV olarak sıralanmaktadır.



Şekil 4. 10: 3C 454.3 kaynağının MDJ 55495 – 55555 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV; MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV; MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarına ait σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

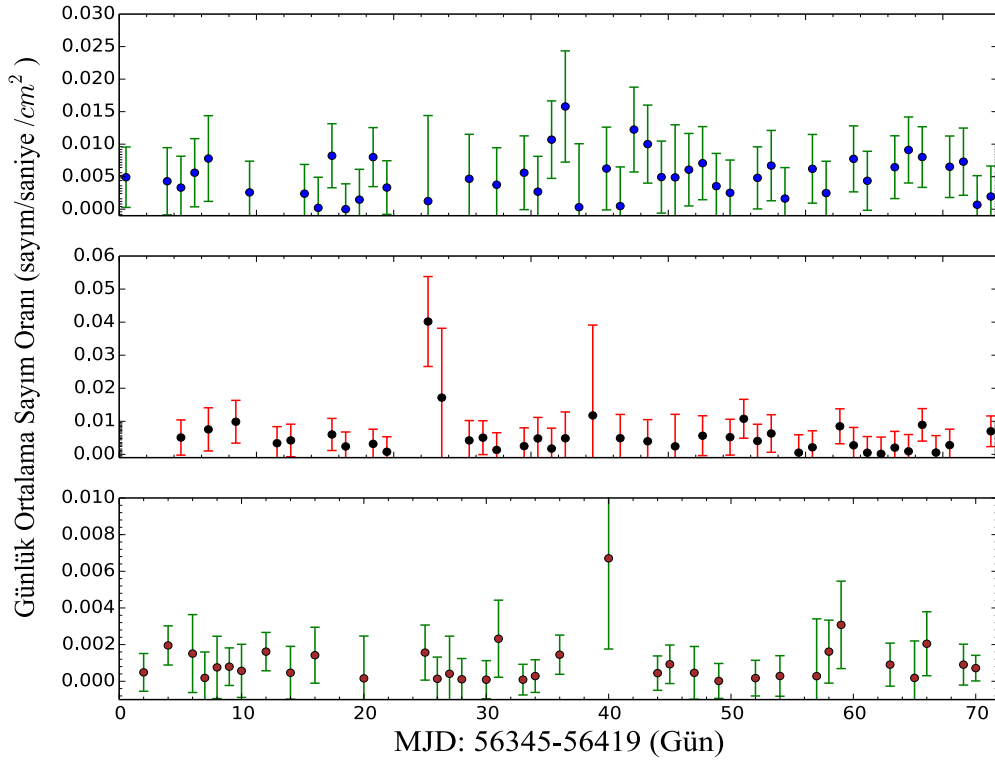
4.2. MAXI VE SWIFT/BAT ARASINDAKİ KORELASYONLAR

4.2.1. BL Lac Cisimleri

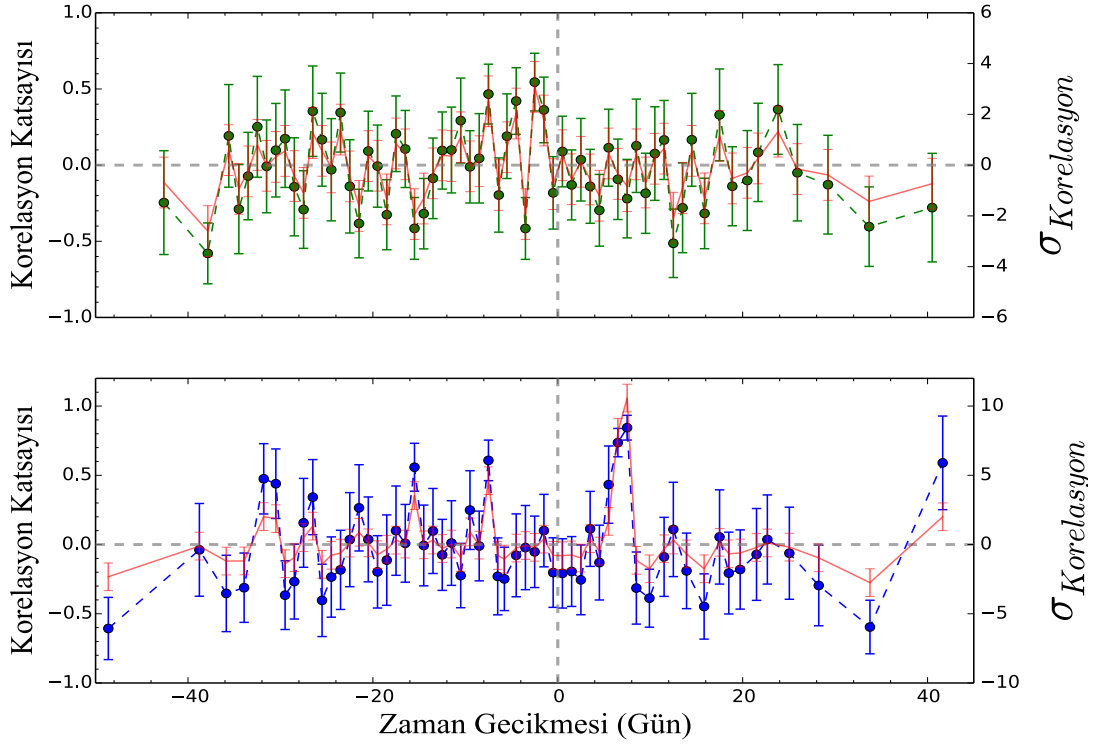
4.2.1.1. 1ES 0502 + 675

Yüksek Enerji Astronomi Gözlemevi Programı (High Energy Astronomy Observatory Program, HEAO 2) tarafından keşfedilmiştir (Elvis ve diğ., 1992). Bu kaynak Hubble Uzay Teleskobu tarafından da gözlenmiştir. Güvenilir kırmızıya kayma ($z = 0.341$; Perlman, 2009) miktarının yüksek olması neticesinde BL Lac'lar arasında en uzak kaynak olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra 1ES 0502+675 kaynağı kütle çekim merceği etkisi (Gravitational Lens) gösteren galaksi adaylarındandır.

MJD 56345-56419 gün aralığına ait ışık eğrilerinin MAXI ile Swift/BAT algılayıcıları arasındadır. Şekil 4.11’de gösterilen ışık eğrileri paneller üstten alta doğru; MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmıştır. Hesaplanmış korelasyon katsayıları MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Şekil 4.12’de üst panelde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir ve burada anlamlı korelasyon görülmemektedir. Şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.71_{-0.12}^{+0.12}$ noktasında görülürken MAXI 4-10 keV’in önde olduğu yaklaşık yedi günlük bir zaman gecikmesi vardır.



Şekil 4. 11: 1ES 0502 + 675 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56345-56419 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.

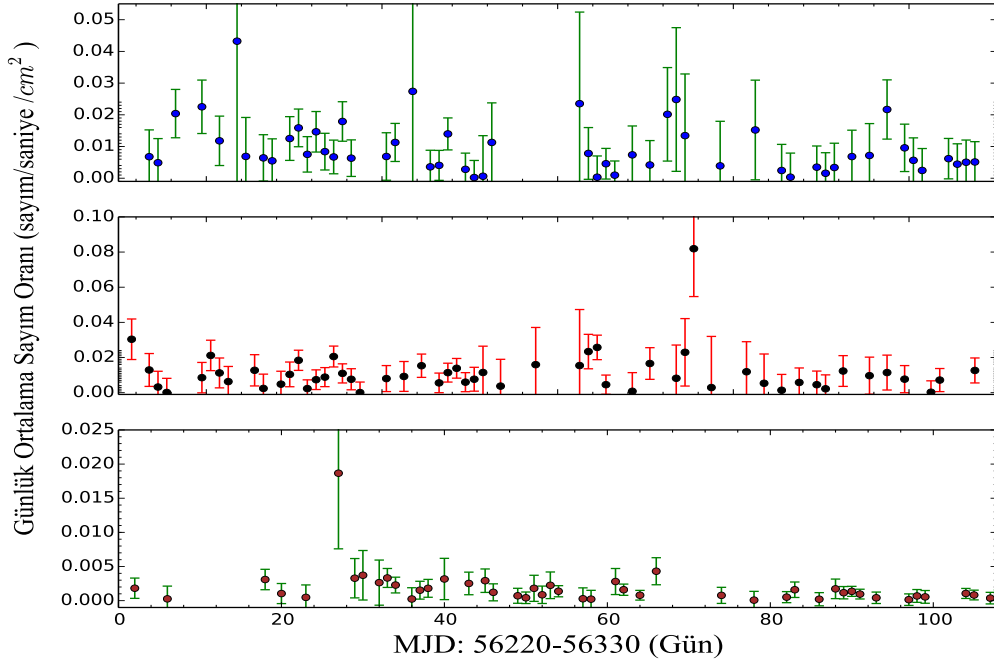


Şekil 4. 12: 1ES 0502+675 kaynağının MJD 56345-56419 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV, MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

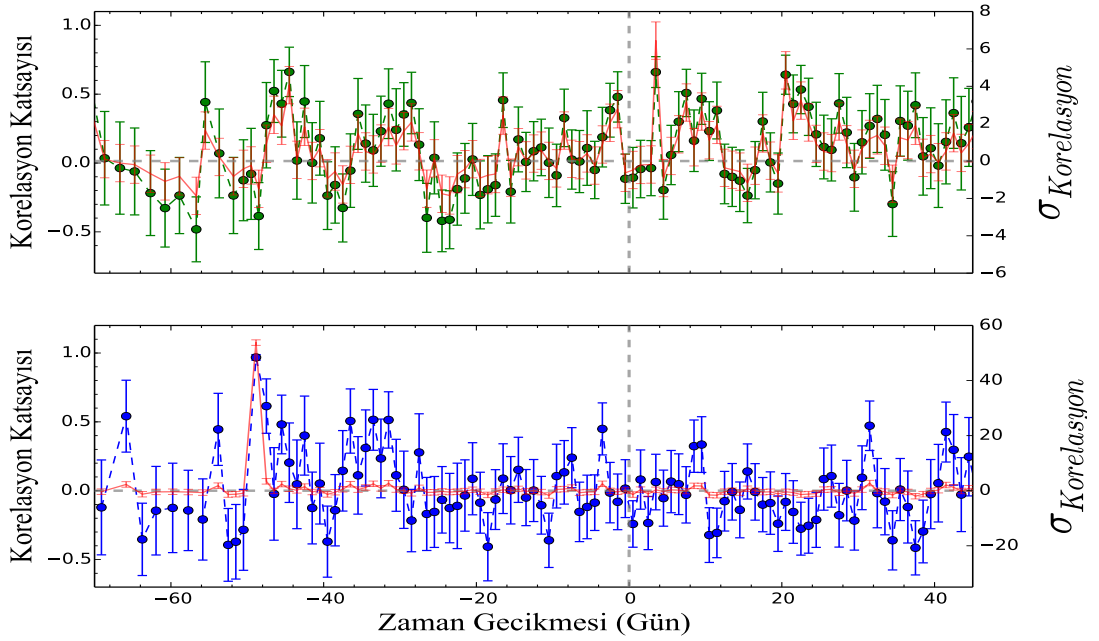
4.2.1.2. 1ES 1011+496

MAGIC teleskobu ile ilk defa çok yüksek enerji (Very High Energy, VHE) kaynağı olarak keşfedilmiştir (Albert ve diğ., 2007). X-ışınlarında sürekli olarak dik bir spektruma sahip olduğu Einstein ve Swift/RXT uydusu tarafından tespit edilmiştir. Ayrıca, Fermi/LAT gözlemi sonucunda gama-ışınlarında da sert spektruma sahip olduğu gösterilmiştir.

MJD 56220-56330 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru: MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Hesaplanmış olan korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Hesaplanmış korelasyon



Şekil 4. 13: 1ES 1011 + 496 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56220-56330 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.

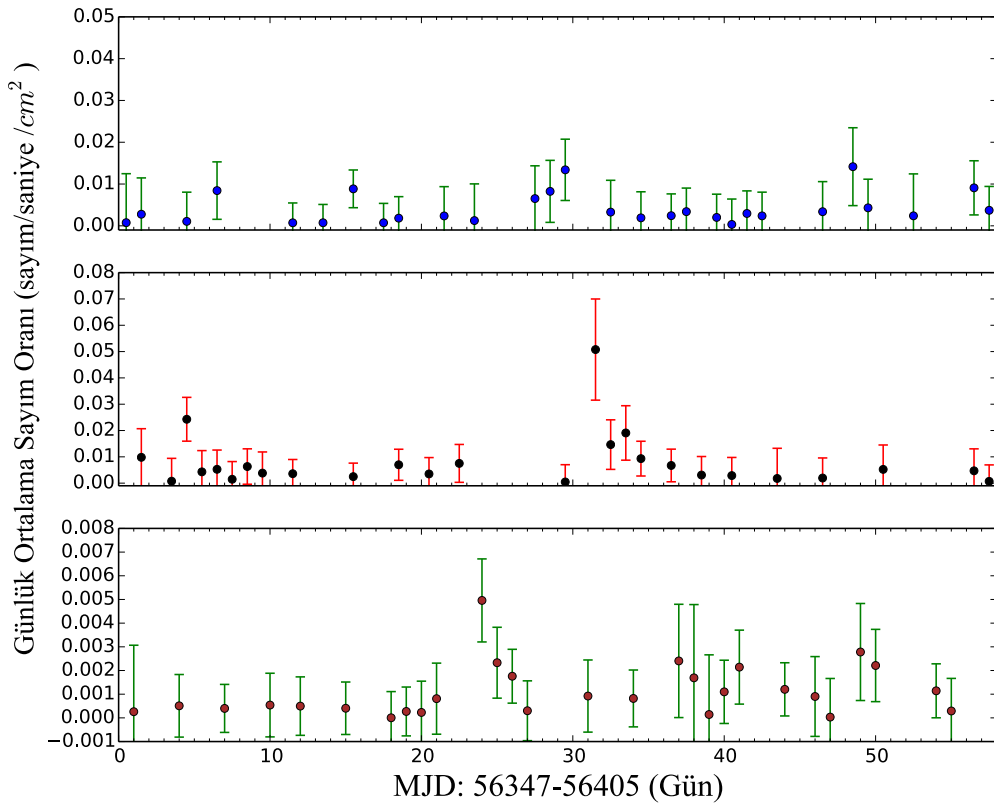


Şekil 4. 14: 1ES 1011 + 496 kaynağının MJD 56345-56419 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

katsayıları Şekil 4.14’de gösterildiği gibidir. Şekil 4.14’ün üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Ancak şekilde görüldüğü üzere anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.97_{-0.02}^{+0.02}$ noktasında görülürken Swift/BAT 15-150 keV’in önde olduğu yaklaşık 49 günlük bir zaman gecikmesi vardır.

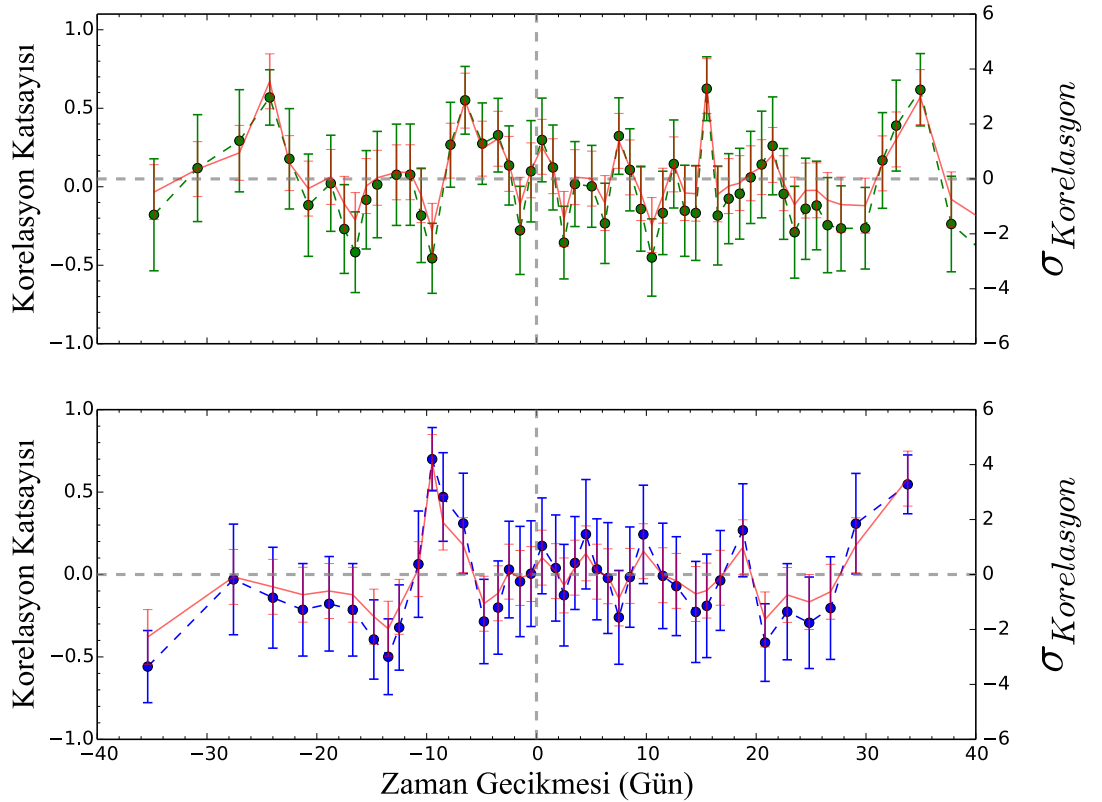
4.2.1.3. 4C 09.57

IV. Cambridge radyo kataloğunda bir radyo kaynağı olarak keşfedilmiştir. Güçlü ışınım değişkenliği genelde radyodan X-ışınlarına doğru görülür. VLBI, toplam 65 gözlem ve yaklaşık 10 yıllık bir çalışma sonucu bu kaynağa ait jetin güneydoğusunda ve merkezi bir jet yapısına sahip olduğunu tespit edilmiştir (Lu ve diğ., 2012).



Şekil 4. 15: 4C 09.57 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56347-56405 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.

MJD 56347-56405 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.16’da gösterildiği gibidir. Şekil 4.16’nın üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Ancak şekilde görüldüğü üzere anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.70^{+0.20}_{-0.20}$ noktasında Swift/BAT 15-150 keV’in önde olduğu yaklaşık dokuz günlük bir zaman gecikmesi vardır.



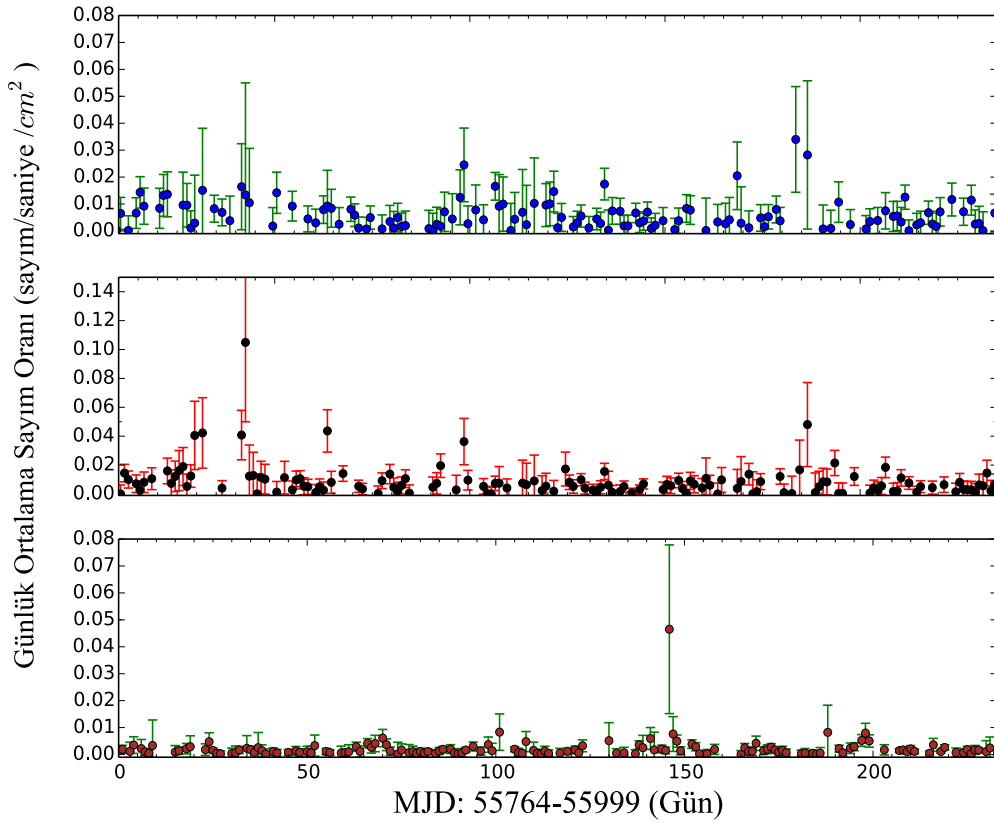
Şekil 4. 16: 4C 09.57 kaynağının MJD 56347-56405 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

4.2.2. Seyfert I Galaksileri

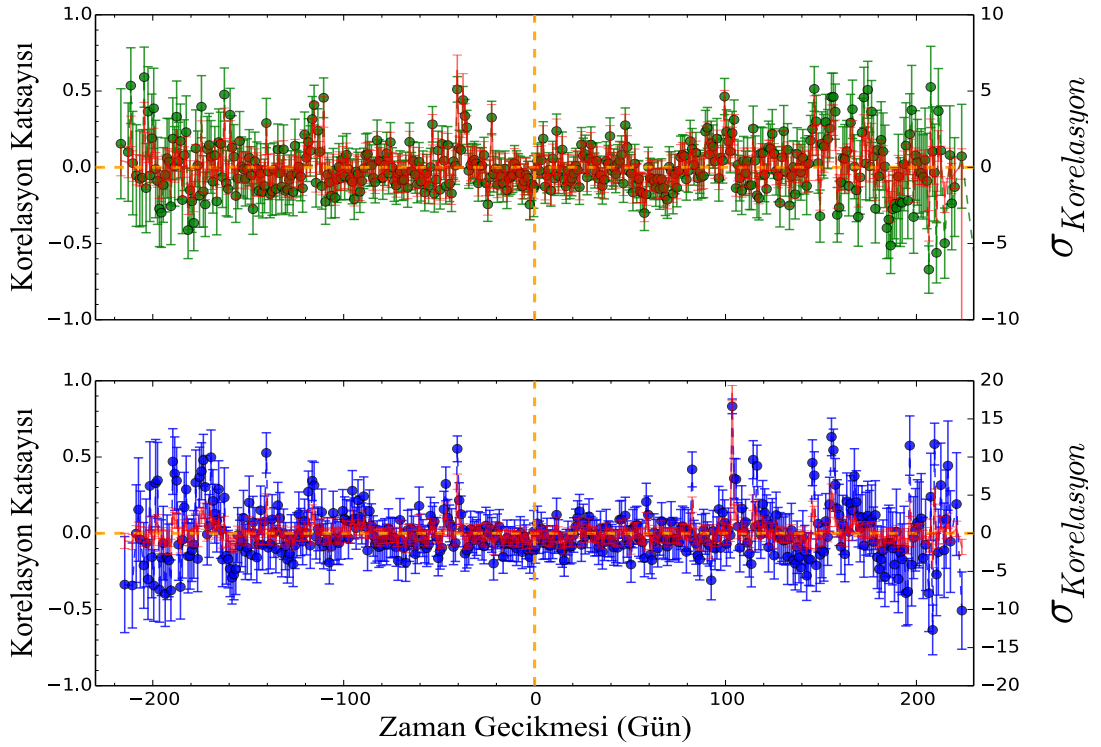
4.2.2.1. Ark 120

Bu kaynak parlak bir Seyfert I galaksisidir. Bolometrik parlaklığı $L_{bol} > 10^{45}$ erg s⁻¹ dir. Merkezi kara delik $2 \times 10^8 M_{\odot}$ kütlelidir (Vaughan ve diğ., 004). Spiral bir galaksi ve S0/a tipindedir (Nordgren ve diğ., 1995).

MJD 55764-55999 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır.



Şekil 4. 17: Ark 120 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55764-55999 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.



Şekil 4. 18: Ark 120 kaynağının MJD 55764-55999 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

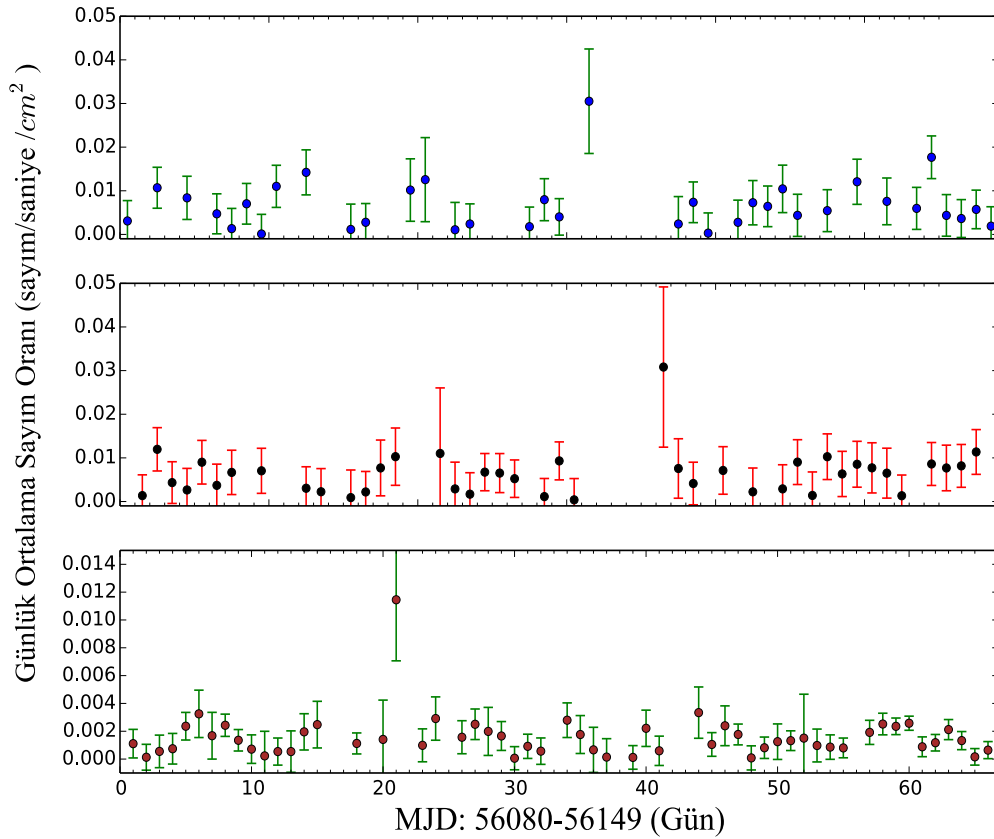
Hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Şekil 4.18’in üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve şekilde görüldüğü üzere anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.83^{+0.05}_{-0.05}$ noktasında ve MAXI 4-10 keV’in önde olduğu yaklaşık 103 günlük bir zaman gecikmesi vardır.

4.2.2.2. 3C 390.3

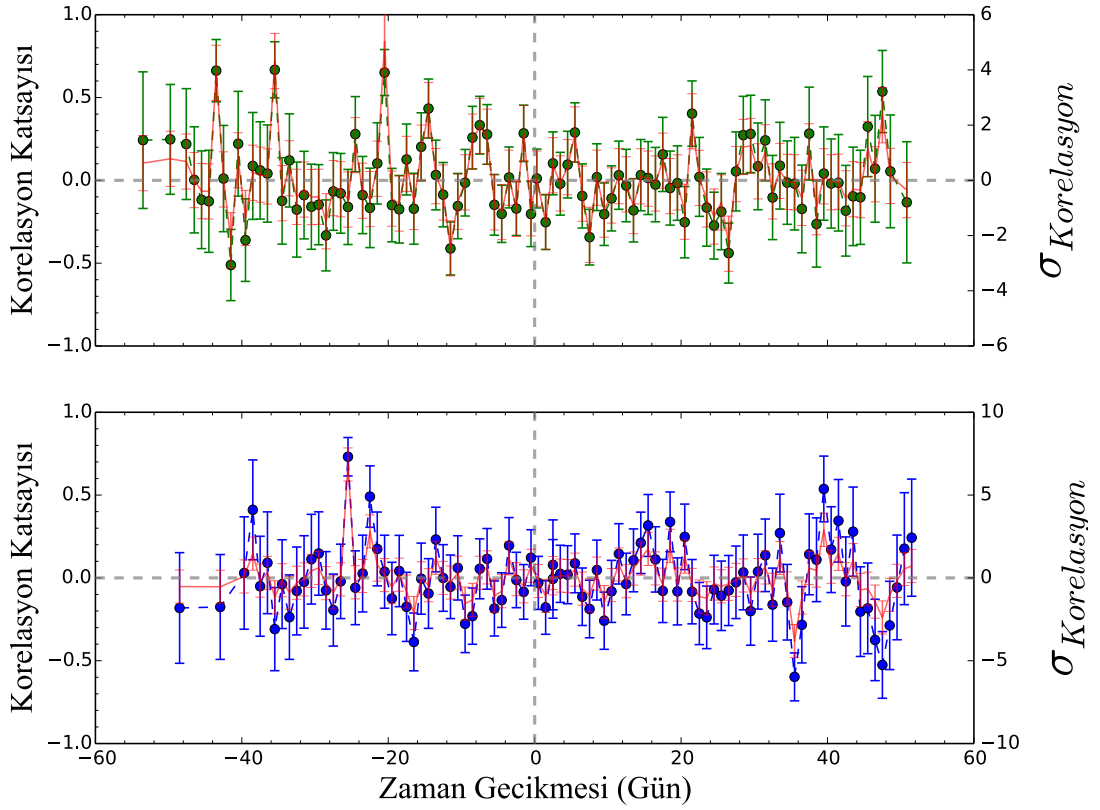
Eliptik galaksi türündedir ve FR II radyo kaynağı sınıfına girmektedir. Zayıf büyük mavi yumruya (big blue bump) sahiptir. X-ışınlarında parlak bir kaynaktır. İki tane kpc radyo jetine sahiptir (Alef ve diğ., 1996).

MJD 56080-56149 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV,

MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.20'de gösterildiği gibidir. Şekil 4.20'nin üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve şekilde görüldüğü üzere anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.73^{+0.12}_{-0.12}$ noktasında ve Swift/BAT 15-150 keV'in önde olduğu yaklaşık 23 günlük bir zaman gecikmesi vardır.



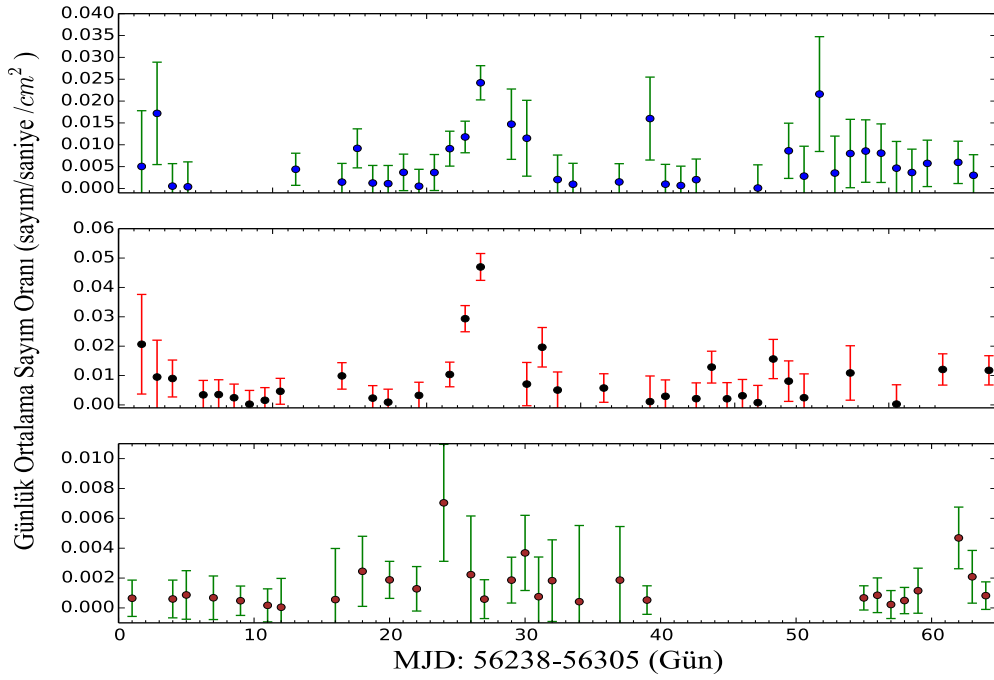
Şekil 4. 19: 3C 390.3 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56080-56149 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.



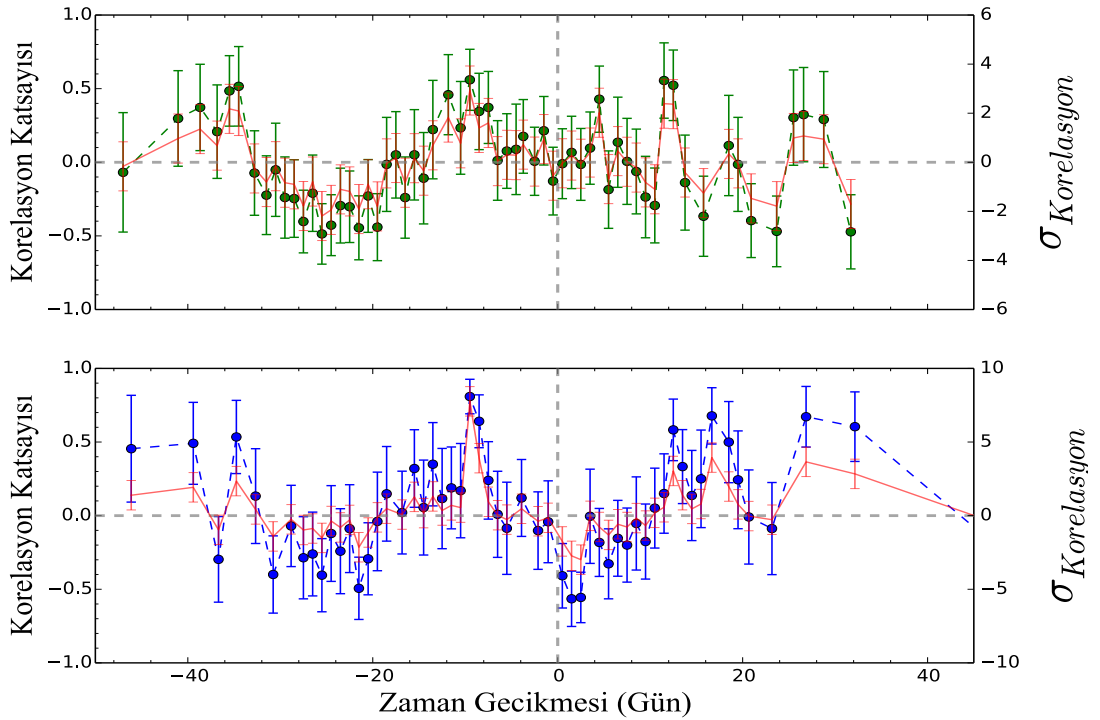
Şekil 4. 20: 3C 390.3 kaynağının MJD 56080-56149 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi göstermiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

4.2.2.3. ESO 548 – 81

MJD 56238-56305 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Şekil 4.22’nin üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve şekilde görüldüğü üzere anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.85^{+0.11}_{-0.11}$



Şekil 4. 21: ESO 548-81 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56238-56305 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.



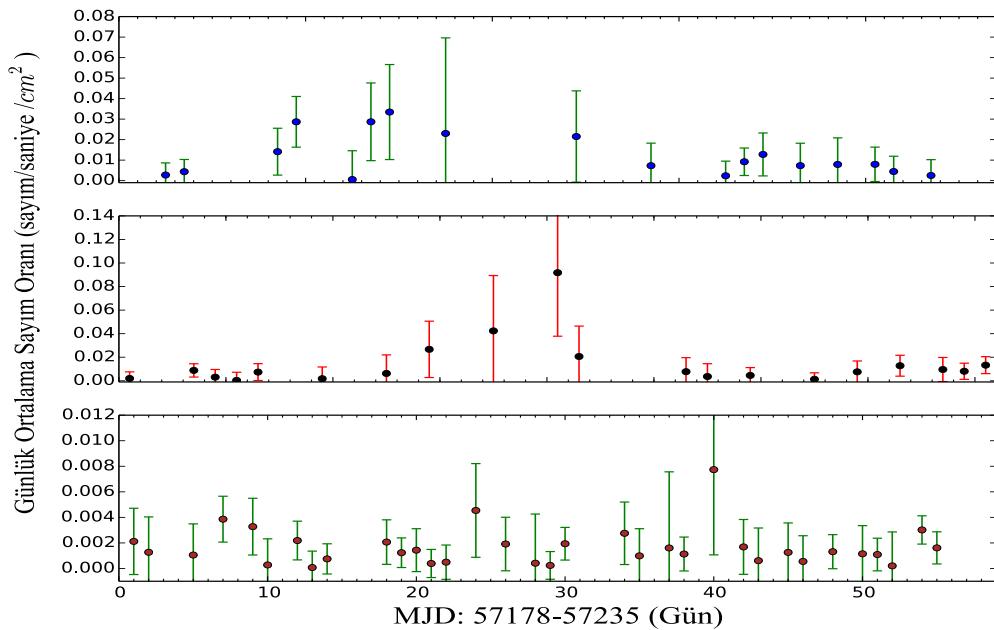
Şekil 4. 22: ESO 548-81 kaynağının MJD 56238-56305 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

noktasında ve Swift/BAT 15-150 keV'in önde olduğu yaklaşık 10 günlük bir zaman gecikmesi görülmektedir.

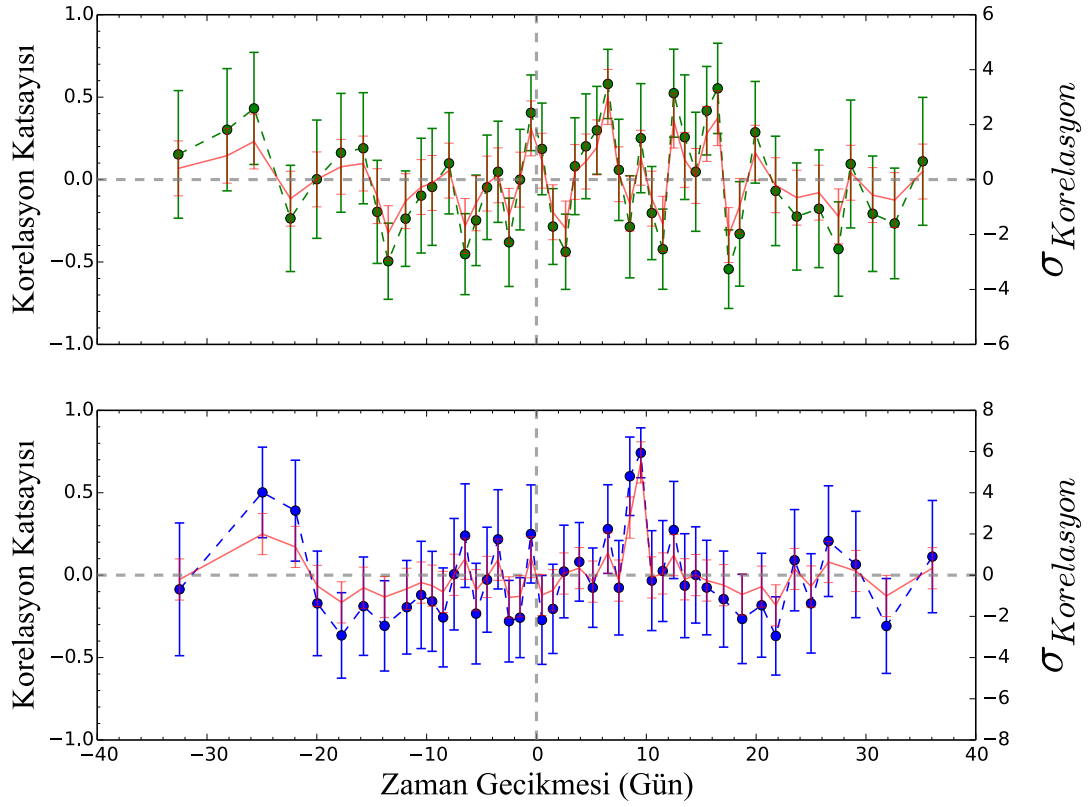
4.2.2.4. FAIRALL 9

Fairall (1977) tarafından spektroskopik Seyfert I galaksisi olarak keşfedildi. Spiral galaksi sınıfına girmektedir. Merkezi kara delik $2.55 \pm 0.55 \times 10^8 M_{\odot}$ kütesindedir.

MJD 57178-57235 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.24'de gösterildiği gibidir. Şekil 4.24'ün üst panlinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve şekilde görüldüğü üzere anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.74^{+0.15}_{-0.15}$ noktasında ve MAXI 4-10 keV'in önde olduğu yaklaşık dokuz günlük bir zaman gecikmesi vardır.



Şekil 4. 23: Fairall 9 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 57178-57235 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15150 keV olarak sıralanmaktadır.

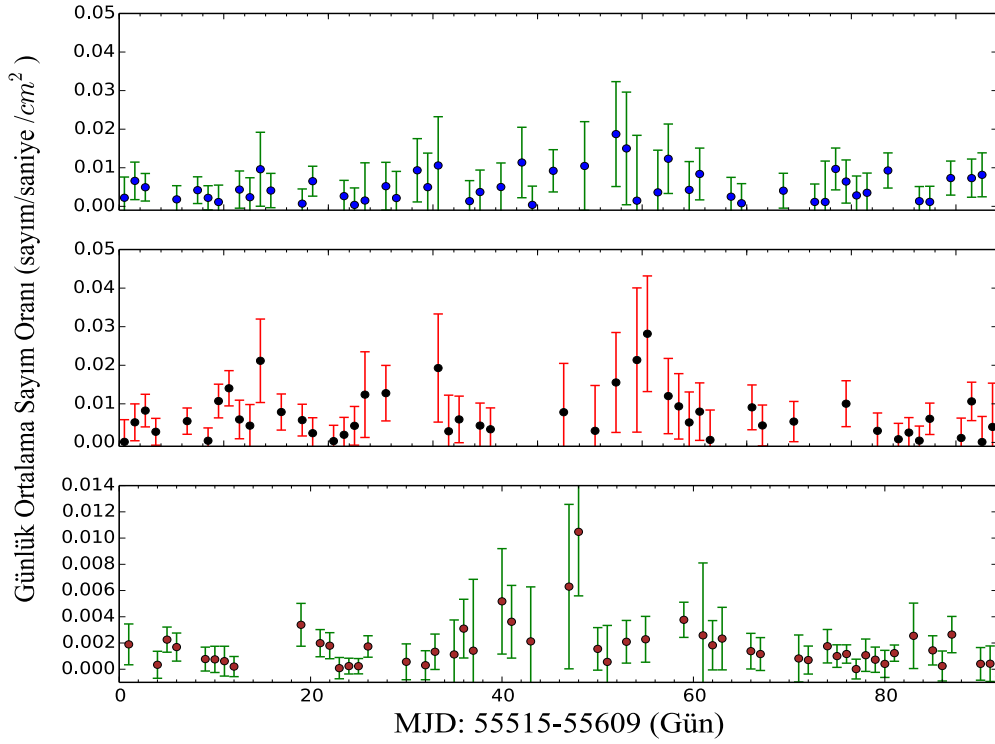


Şekil 4. 24: Fairall 9 kaynağının MJD 57178-57235 gün zaman aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

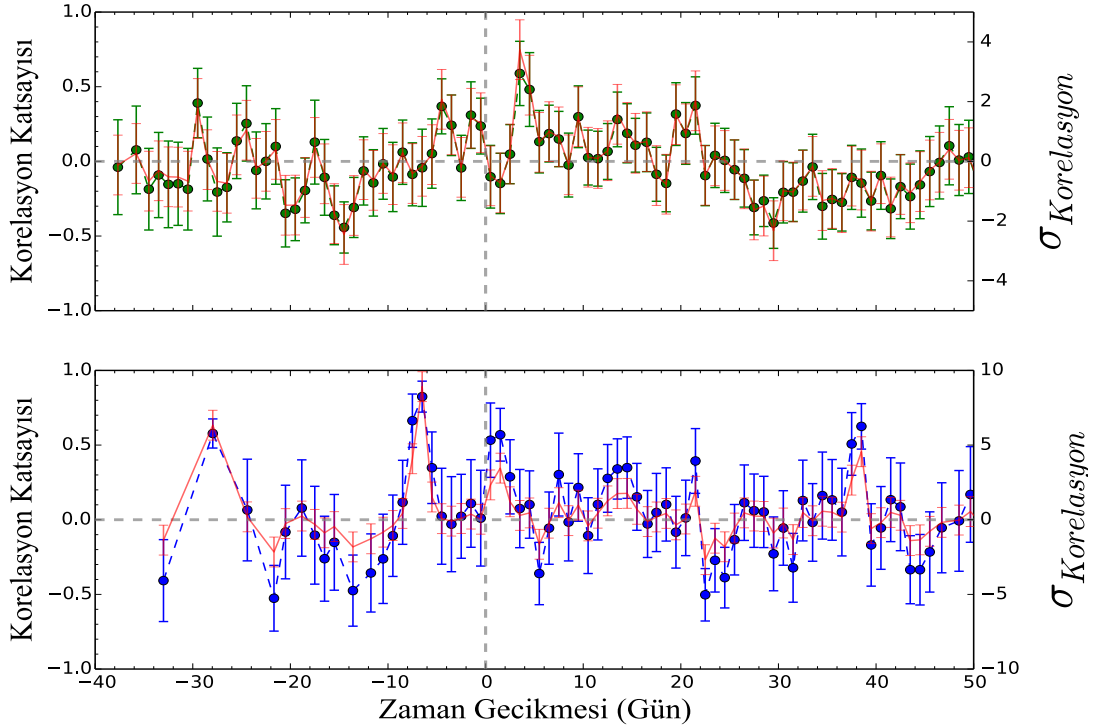
4.2.2.5. NGC 4593

X-ışınlarında parlak Seyfert I galaksisidir. Merkezi karadelik kütlesi $9.8 \pm 0.21 \times 10^6 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır (Denney ve diğ., 2006).

MJD 55515-55609 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır. Hesaplanmış korelasyon katsayıları Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Şekil 4.26'nın üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve burada anlamlı korelasyon bulunamamıştır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar



Şekil 4. 25: NGC 4593 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55515-55609 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.

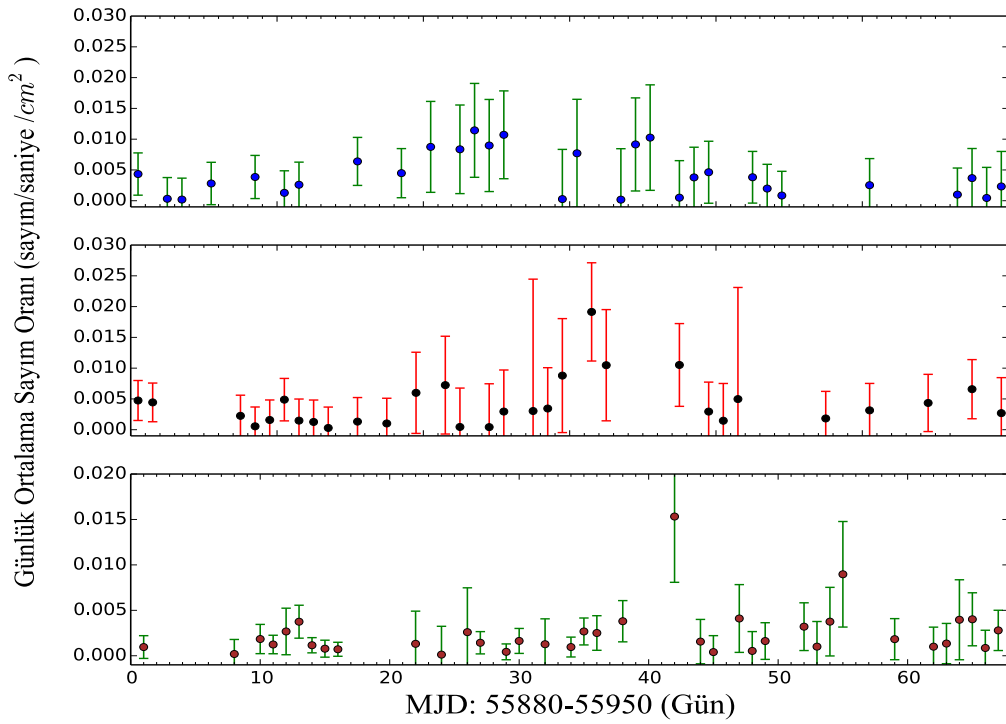


Şekil 4. 26: NGC 4593 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55515-55609 gün zaman aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırayla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

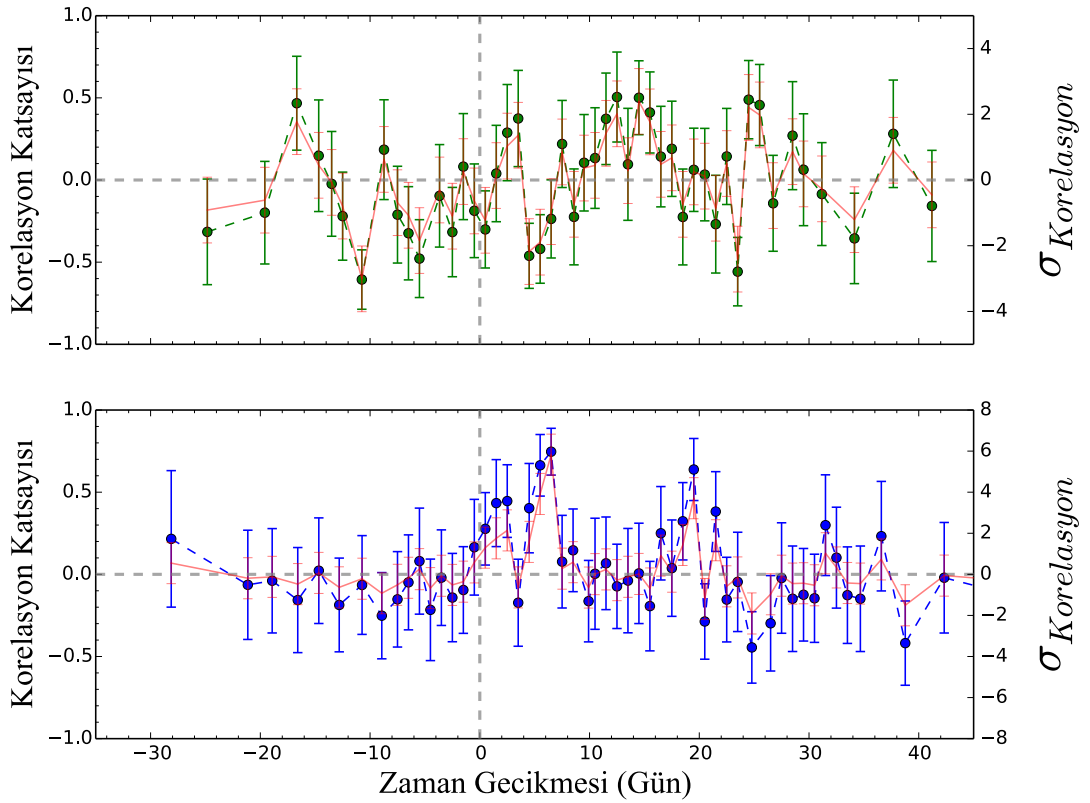
MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.82_{-0.10}^{+0.10}$ noktasında Swift/BAT 15-150 keV'in önde olduğu yaklaşık yedi günlük bir zaman gecikmesi vardır.

4.2.2.6. NGC 6860

MJD 55880-55950 gün zaman aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır ve korelasyon katsayıları Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Şekil 4.28'in üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve



Şekil 4. 27: NGC 6860 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55880-55950 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.



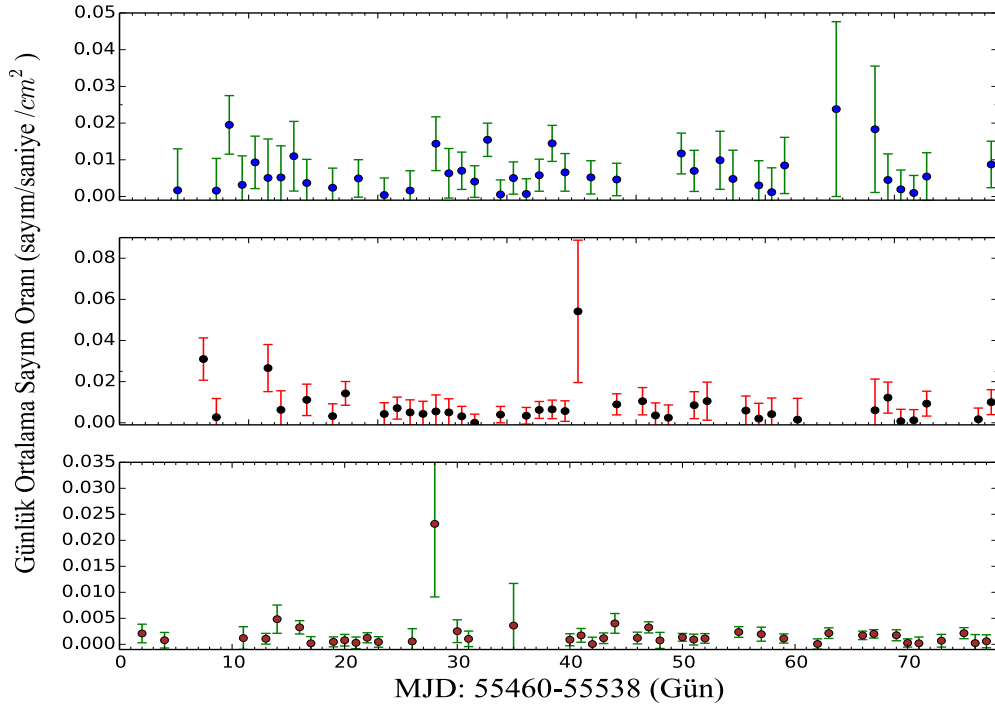
Şekil 4. 28: NGC 6860 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55880-55950 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırasıyla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

burada anlamlı korelasyon bulunamamıştır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını gösterir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.75_{-0.14}^{+0.14}$ noktasında MAXI 4-10 keV'in önde olduğu yaklaşık yedi günlük bir zaman gecikmesi vardır.

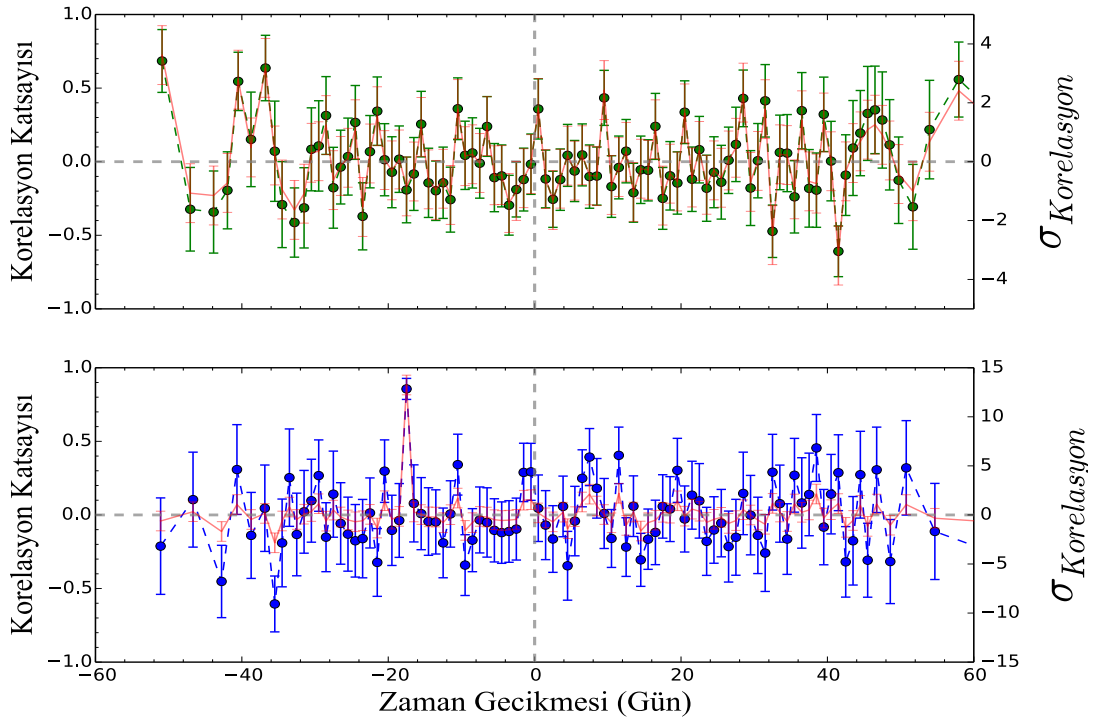
4.2.3. Seyfert II Galaksileri

4.2.3.1. NGC 7469

MJD 55460-55538 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV, MAXI 10-20 keV ile Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve



Şekil 4. 29: NGC 7469 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55460-55538 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.

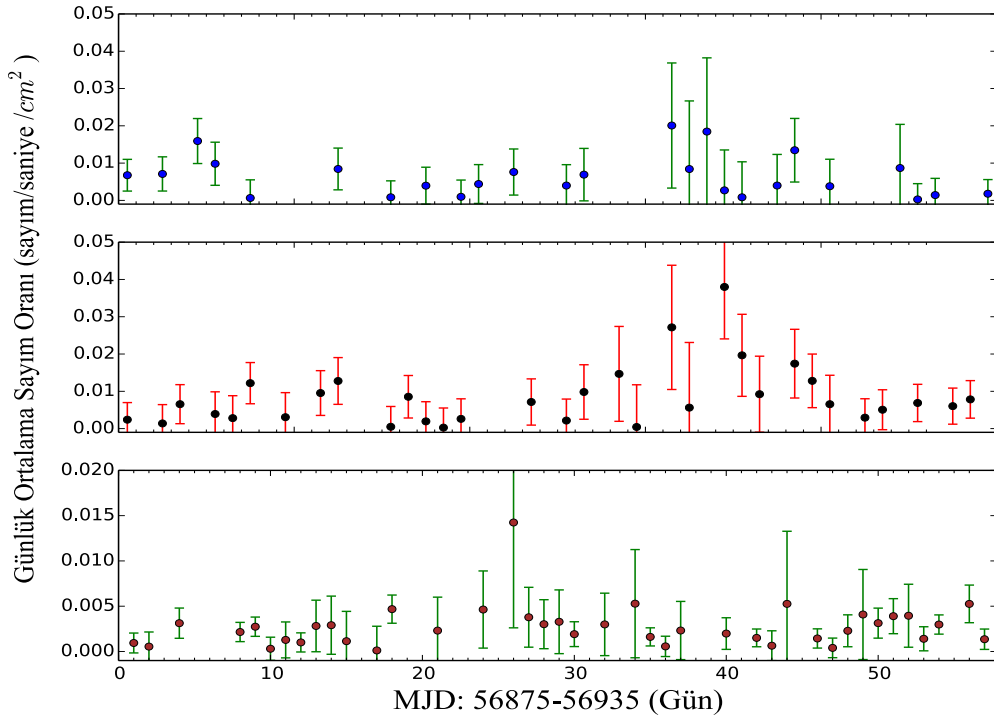


Şekil 4. 30: NGC 7469 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 55460-55560 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırayla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

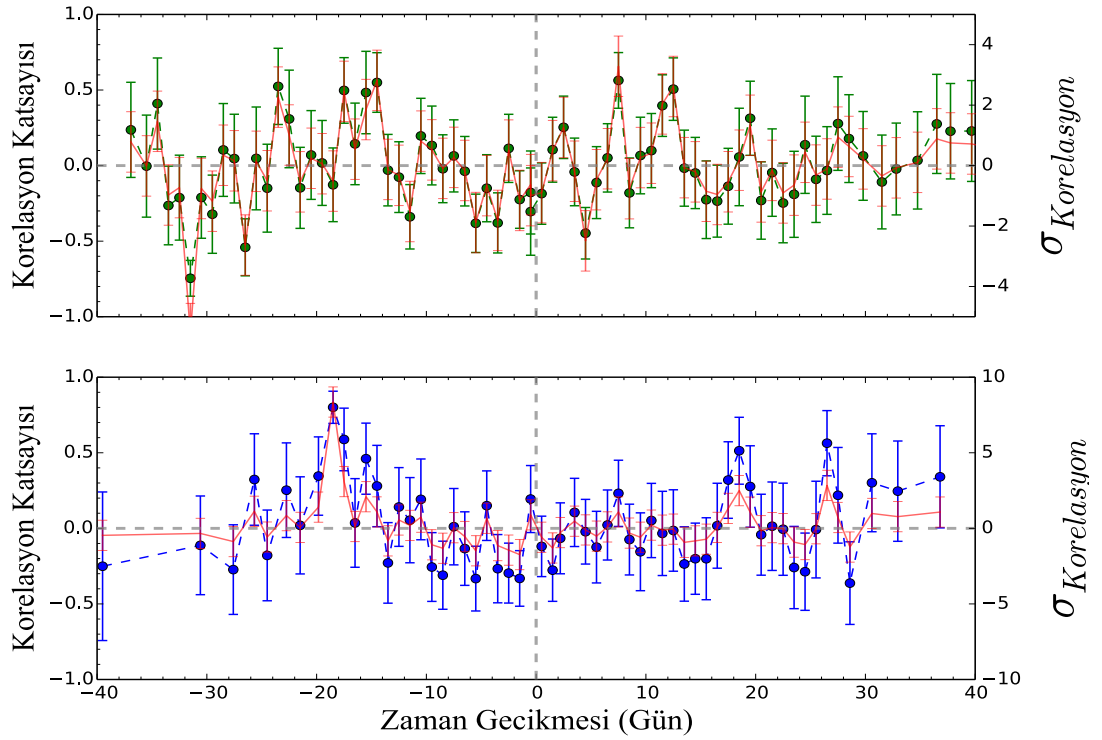
MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır ve korelasyon katsayıları Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Şekil 4.30'un üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir ve burada anlamlı korelasyon bulunamamıştır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.83_{-0.11}^{+0.11}$ noktasında Swift/BAT 15-150 keV'in önde olduğu yaklaşık 17 günlük bir zaman gecikmesi vardır.

4.2.3.2. NGC 7172

MJD 56875-56935 gün aralığına ait MAXI ve Swift/BAT algılayıcılarının ışık eğrileri Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır. Korelasyon



Şekil 4. 31: NGC 7172 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56875-56935 gün aralığını ifade eder. Enerji aralığı paneller üstten alta doğru MAXI 2-4 keV, MAXI 4-10 keV ve Swift/BAT 15-150 keV olarak sıralanmaktadır.



Şekil 4. 32: NGC 7172 kaynağına ait ışık eğrisinin MJD 56875-56935 gün aralığına ait ışık eğrilerinin ZDCF korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. Paneller üstten alta doğru sırayla MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarının zaman gecikmesiyle değişimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayılarının σ değerleri kırmızı çizgiyle verilmiştir.

katsayılarına ait ışık eğrileri MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındadır ve korelasyon katsayıları Şekil 4.32'de gösterilmektedir. Şekil 4.32'nin üst panelinde yeşil noktalar MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Ancak burada anlamlı korelasyon bulunamamıştır. Aynı şeklin alt panelinde mavi noktalar MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Her iki ışık eğrisine ait en yüksek korelasyon katsayısı $0.80^{+0.11}_{-0.11}$ noktasında Swift/BAT 15-150 keV'in önde olduğu yaklaşık 18 günlük bir zaman gecikmesi vardır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez kapsamında X-ışın ve gama-ışın ışık eğrileri arasında korelasyon olup olmadığını bulmak için MAXI, Swift/BAT ve Fermi/LAT'ın düzenli olarak gözlemlediği kaynaklar kullanılmıştır. Her üç uyduya ait belirli zaman ölçeğinde alınan ışık eğrileri ZDCF korelasyon katsayılarını hesaplayan Fortran dilinde yazılmış bir kod ile hesaplanmıştır (Tal, 2013). Ayrıca MAXI ile Swift/BAT tarafından ortak gözlenen kaynakların ışık eğrileri arasındaki olası korelasyonlar hesaplanmıştır. Sonuç olarak, X-ışınları ile gama-ışınları arasında korelasyonlar (MAXI 2-4 keV ile MAXI 10-20 keV, MAXI 2-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 2-20 keV ile Fermi/LAT 0.1-300 GeV) ve daha sonra X-ışınlarının farklı enerji aralıklarına (2-4 keV ile 15-150 keV ve 4-10 keV ile 15-150 keV) ait korelasyonlar araştırılmıştır.

Tablo 5.1'de görüldüğü üzere hem X-ışınları ile gama-ışınları arasında hem de X-ışınlarının kendi aralarında çeşitli korelasyonlar ve zaman gecikmeleri bulunmuştur. Mrk 421 kaynağı için hesaplanan korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir: 2-4 keV ile 10-20 keV, 2-10 keV ile 15-150 keV ve 2-20 keV ile 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri sırası ile: 0.62, 0.76 ve 0.65; 2-4 keV bir gün önde, diğer enerji aralıkları arasında sıfır zaman gecikmesi şeklinde bulunmuştur. Buna göre bulunan korelasyon katsayılarına ait zaman gecikmelerinden görüldüğü üzere düşük enerjili fotonlar negatif zaman gecikmesine sahiptir. Bu sonuç, düşük enerjilere sahip fotonların nispeten daha erken üretildiğini göstermektedir. SSC mekanizmasında, senkrotron ışınması ile üretilen düşük enerjili fotonlar ve bunun akabinde rölativistik hızlarda hareket eden elektronlar ters-Compton saçılması sonucu daha yüksek enerjili fotonlar üretebilmektedir. Bu durumda, gama-ışınlarının üretilmesi senkrotron self-Compton saçılması ile açıklamıştır (Ghisellini ve diğ., 1998). Mrk 421 kaynağına ait korelasyon katsayıları Şekil 4.2'de görüldüğü üzere yayvandır. Bunun nedeni, diğer kaynaklara ait ışık eğrilerinin aksine patlamaların ışık eğrisinde tek bir nokta ile temsil edilmek yerine; Mrk 421'de Şekil 4.1'deki gibi kademeli bir şekilde artmış ve azalmış olmasıdır. Dolayısıyla korelasyon katsayılarına ilişkin şekilde farklı zaman gecikmelerine

yayılmış bir şekilde daha yaygın bir hal almıştır. Zaman gecikmelerinin ortalama bir gün içerisinde olması, üretilen fotonların neredeyse aynı bölge (bir ışık günü) içerisinde üretildiğini göstermektedir. Mrk 421 kaynağı için DCF kullanılarak VHE (MAGIC, Whipple) ile X-ışınları (RXT/PCA ve Swift/XRT (2-10 keV) ve VHE (MAGIC, Wipple) ile X-ışınları (RXT/PCA ve Swift/XRT (0.3-2 keV) arasında sıfır zaman gecikmesi ile korelasyon bulunmuştur (Aleksic ve diğ., 2015). X-ışınları (ASM/RXTE 2-12 keV) ile gama-ışınları (ARGO-YBJ) arasında DCF kullanılarak sıfır zaman gecikmesi ile beraber korelasyon katsayısı 0.77 olarak bulunmuştur (Bartoli ve diğ., 2011). Mart 19-21 2001 parlamasında, 2-4 keV X-ışınları ile TeV gama-ışınları arasında TeV gama-ışınlarının 2.1 ± 0.7 ks (kilo saniye) önde olduğu bir zaman gecikmesi hesaplanmıştır (Fossati ve diğ., 2008) Mrk 421 kaynağının korelasyon ve zaman gecikmelerine ait yapılan bu çalışma daha önceki X-ışın ve gama-ışın arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri ile ilgili çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Fakat, bu çalışmada korelasyon katsayısı daha düşük çıkmıştır.

3C 273 kaynağına ait korelasyon ve zaman gecikme değerleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir. 2-4 keV ile 10-20 keV, 2-10 keV ile 15-150keV ve 2-20 keV ile 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri sırası ile: 0.72, 0.65 ve 0.65; 2-4 keV sekiz gün önde, 2-10 keV dört gün önde ve 2-20 keV iki gün öndedir. 3C 273 kaynağı için MJD 55050-55300 gün aralığında bir GeV altı ve bir GeV üstü akılarına ait DCF kullanılarak korelasyon katsayısı 0.82 ± 0.21 hesaplanmış ve zaman gecikmesi de yaklaşık 0.00 ± 0.25 gün bulunmuştur (Rani ve diğ., 2013). Çalışmamızın sonuçlarına ait korelasyon katsayısı daha düşük hesaplanmıştır ve zaman gecikmesi de daha yüksek çıkmıştır.

PKS 0716+714 kaynağına ait korelasyon ve zaman gecikme değerleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir. 2-4 keV ile 10-20 keV, 2-10 keV ile 15-150 keV ve 2-20 keV ile 0.1-300 GeV arasındaki korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri sırası ile: 0.97, 0.77 ve 0.66; 2-4 keV 26 gün önde, 15-150 keV 26 gün önde ve 0.1-300 GeV 21 gün öndedir. Düşük olan 2-4 keV enerjili fotonlar 10-20 keV enerjili fotonlara göre negatif zaman gecikmesine sahiptir. Tablo 5.1'de gösterildiği gibi 2-20 keV ve 2-10 keV enerjili fotonlar 15-150 keV ve 0.1-300 GeV enerjili fotonlara göre negatif zaman gecikmesine sahiptir.

Tablo 5. 1: MAXI (2-20 keV, 2-4 keV, 2-10 keV, 10-20 keV), Swift/BAT (15-150 keV) ve Fermi/LAT (0.1-300 GeV) ışık eğrilerine ait korelasyon katsayıları ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.

Adı	MJD	2-4 keV/10-20 keV			2-10 keV/15-150 keV			2-20 keV/0.1-300GeV		
		Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi
Mrk 421	55804 55838	0.62	4	10-20 keV 1 gün önde	0.76	8	0 zaman gecikmesi	0.65	6	0 zaman gecikmesi
3C 273	55357 55387	0.72	6	2-4 keV 8 gün önde	0.76	6	2-10 keV 4 gün önde	0.65	6	2-20 keV 2 gün önde
PKS 0716+714	55832 55888	0.97	49	2-4 keV 26 gün önde	0.77	6	15-150 keV 32 gün önde	0.66	6	0.1-300 GeV 21 gün önde
3C 454.3	56804 56869	*	*	*	*	*	*	0.68	6	2-10 keV 2 gün önde
	55491 55556	*	*	*	*	*	*	*	*	*

3C 454.3 kaynağının MJD 56804-56869 gün arasında alınan ışık eğrisine ait korelasyon ve zaman gecikmeleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Ancak, sadece 2-20 keV ile 0.1-300 GeV arasında korelasyon ve zaman gecikmesi bulunmuştur. Dolayısıyla sadece 2-20 keV ile 0.1-300 GeV aynı ışınım mekanizmasında üretilmiş olabilir. Fakat, 2-4 keV, 10-20 keV, 2-10 keV ve 15-150 keV enerjili fotonlar bağımsız bir ışınım mekanizması ile üretilmiş olabilir. 2-20 keV ile 0.1-300 GeV ışık eğrileri arasında korelasyon bulunmuştur ve zaman gecikmesi Şekil 4.8’de görüldüğü üzere yaklaşık 25 gündür. Ancak Şekil 4.7’de görüldüğü gibi 2-20 keV ışık eğrisinde MJD 56804 +10 ve MJD 56804 +30 gün arasında algılayıcı, kaynağa ait her hangi bir gözlem verisi elde edilemediğinden, 0.1-300 GeV ile 2-20 keV ışık eğrileri arasında korelasyonu sadece yaklaşık MJD 56804 +30. ve +60. günler arasındaki veri kullanılarak korelasyon

bulunmuştur. Dolayısıyla, verinin olmadığı zaman aralığının da bir patlama olmuş olsa da algılayıcı tespit etmediğinden yorum yapmak olanaksızdır.

3C 454.3 kaynağına ait MJD 55495-55556 gün zaman aralığında alınan ışık eğrileri arasında herhangi bir korelasyon ve zaman gecikmesi bulunamamıştır. Şekil 4.9'daki ışık eğrisinde görüldüğü üzere gama-ışınlarında çok yüksek (~700 sayım/saniye) foton artışı olmasına rağmen hem gama-ışınlarından önce hem de gama-ışınlarından sonra sert ve yumuşak X-ışınlarında kayda değer herhangi bir değişiklik (patlama) gözlenmemiştir. Şekil 4.10'daki korelasyon katsayılarına ilişkin anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Böyle bir durum için, özellikle gama-ışın (TeV) parlamalarına eşlik etmeyen X-ışınlarının durumuna genellikle yetim parlama (orphan flare) denilmektedir (Błazejowski ve diğ., 2005). Yetim parlama durumu, 1ES 1959+650 kaynağı için Krawczynski tarafından 2004 çalışmasında gösterilmiştir (Krawczynski ve diğ., 2004).

Tablo 5. 2: BL Lac cisimlerine ait MAXI (2-4 keV, 4-10 keV) ile Swift/BAT (15-150 keV) arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. '*' işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.

		2-4 keV/15-150 keV			4-10 keV/15-150 keV		
Adı	MJD	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi
1ES 0502+675	56345-56419	*	*	*	0.71	7	4-10 keV 7 gün önde
1ES 1011+496	56220-56330	*	*	*	0.97	54	15-150 keV 49 önde
4C 09.57	56347-56405	*	*	*	0.70	4	15-150 keV 9 gün önde

MAXI ve Swift/BAT uydularına ait ortak gözlenen BL Lac cisimlerinin: MAXI 2-4 keV, 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV enerji aralıklarına ait hesaplanmış korelasyonlar ve zaman gecikmeleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında korelasyonlar Tablo 5.2’de gösterildiği üzere üç kaynak için de korelasyonlar ve zaman gecikmeleri bulunamamıştır.

MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında korelasyonlar Tablo 5.2’de gösterilmiştir. En yüksek korelasyon katsayısı 0.97 ile 1ES 1101+496 kaynağına aittir. En düşük korelasyon katsayısı 0.70 ile 4C 09.57 kaynağına aittir. Korelasyon katsayılarının hatalarına bölünmesi ile bulunan σ değerleri; en küçük değer 4σ ile 4C 09.57 kaynağına ait ve en yüksek değer ise 55σ ile 1ES 1011+496 kaynağına aittir.

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere 2-4 keV enerjili fotonlar ile 15-150 keV enerjili fotonlar arasında korelasyon üç kaynak için bulunamamıştır. Bu durum, 2-4 keV enerjili fotonların 15-150 keV enerjili fotonlardan bağımsız süreçler ile üretildiklerini işaret etmektedir. 2-4 keV enerjili fotonlar yığılma diski civarında olduğu düşünülen koronada veya dış (external) Compton saçılması ile jette üretilmiş olabilir.

4-10 keV enerji aralığında elde edilen veri ile 15-150 keV enerji aralığında elde edilen veri arasında çeşitli zaman gecikmeleri ile beraber korelasyonlar bulunmuştur. 1ES 0502+675 kaynağında düşük enerjili fotonlar için negatif zaman gecikmesi gözlenmiştir. Ancak diğer kaynaklarda yüksek enerjili fotonlar (15-150 keV) pozitif bir zaman gecikmesi hesaplamıştır. Bu gözlemlere uygun mümkün senaryolardan biri, SSC mekanizmasıdır. Bu durumda önce senkrotron mekanizması ile üretilen fotonlar daha sonra aynı bölgedeki yüksek enerjili (manyetik alan ile ivmelendirilmiş) elektronlarca ters-Compton saçılmasına uğratılırlar. Böylece ilk oluşan düşük enerjili fotonların gösterdiği negatif zaman gecikmesi bu süreçteki senkrotron ışınımına atfedilebilir.

Düşük enerjili fotonların negatif zaman gecikmesinin olduğu durumda, SSC sürecinde, yani sentrotron ışınımında fotonlar düşük enerjili olurken; aynı zamanda SSC sürecindeki rölativistik elektronların ters-Compton saçılması yaparak ürettiği fotonların yüksek enerjili olmuştur. 4C 09.57 ve 1ES 1011+496 isimli kaynaklarda yüksek enerjili fotonların negatif zaman gecikmesine sahip olduğu durumda ise: rölativistik

elektronların ters-Compton saçılması yaparak; önce yüksek enerjili foton üretmesi ve enerjisinin bir miktarını kaybettikten sonra Compton saçılması yolu ile daha düşük enerjili fotonların üretilmesine neden olmakta olabilir. Yani, küçük zaman ölçeklerinde X-ışın akıları ile TeV akıları arasında güçlü korelasyon görülmektedir; ancak X-ışınları daha küçük genliklere sahip olması ile açıklamak mümkündür (Coppi, 2005).

Tablo 5. 3: Seyfert I galaksilerine ait MAXI (2-4 keV, 4-20 keV) ile Swift/BAT (15-150 keV) arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.

Adı	MJD	2-4 keV/15-150 keV			4-10 keV/15-150 keV		
		Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi
Ark 120	55764 59999	*	*	*	0.83	18	4-10 keV 103 gün önde
3C 390.3	56080 56149	*	*	*	0.73	8	15-150 keV 25 gün önde
ESO 548-81	56240 56305	*	*	*	0.85	7	15-150 keV 10 gün önde
FAIRALL 9	57178 57235	*	*	*	0.74	6	4-10 keV 10 gün önde
NGC 4593	55515 55609	*	*	*	0.82	9	15-150 keV 20 gün önde
NGC 6860	55880 55950	*	*	*	0.75	6	4-10 keV 7 gün önde

Seyfert I galaksilerinin MAXI ile Swift/BAT algılayıcıları arasında alınan ışık eğrileri ve bunlar arasında korelasyon ve zaman gecikmeleri hesaplanmıştır. Korelasyonlar: MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV ve MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV enerji aralıkları arasındadır.

MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında korelasyonlar Tabloda 5.3'te gösterilmiştir; ancak kaynaklara ait ışık eğrileri arasında herhangi bir korelasyon bulunamamıştır.

MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında korelasyonlar Tabloda 5.3'te gösterilmiştir. En düşük korelasyon katsayısı 0.73 ile 3C 390.3 kaynağına aittir. En yüksek korelasyon katsayısı 0.83 Ark 120 kaynağına aittir. Korelasyon katsayılarının kendi hatalarının ortalamasına bölünmesi ile elde edilen σ değerleri; en düşük değer altı σ ve en yüksek değer 28 σ 'dır.

MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında çeşitli korelasyonlar ve zaman gecikmeleri bulunmuştur. Fakat, 2-4 keV enerji fotonlar 15-150 keV fotonlar arasında korelasyonlar bulunamamıştır. 4 keV'den 150 keV'e kadar fotonların ve çeşitli korelasyon katsayılarına sahip olması ve bu fotonlar arasında farklı zaman gecikmelerine rağmen pozitif anlamda birbiri ile ilişkili olması, üretilen fotonların aynı üretim sürecine sahip olduğunu göstermektedir. Ancak 2-4 keV enerjili fotonların korelasyon göstermemesi, bu fotonların farklı ışınım sürecine sahip olabileceğini göstermektedir.

MAXI 2-4 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında zaman gecikmeleri Tablo 5.3'te gösterilmiştir. Fakat, korelasyon ile ilgili anlamlı değerler bulunamadığından zaman gecikmeleri de hesaplanamamıştır.

MAXI 4-10 keV ile Swift/BAT 15-150 keV arasında zaman gecikmeleri Tablo 5.3'te gösterilmiştir. 3C 390.3, ESO 548-81 ve NGC 4593 kaynaklarında 15-150 keV enerjili fotonlar negatif bir zaman gecikmesine sahiptirler. Ark 120, FAIRALL 9 ve NGC 6860 kaynaklarında ise 4-10 keV enerjili fotonlar negatif bir zaman gecikmesine sahiptirler

En yüksek zaman gecikmesi 103 gün olarak Ark 120'de bulunmaktadır. Bu kaynakta düşük enerjili X-ışınlarını yaklaşık 103 gün sonra yüksek enerjili X-ışınları takip etmektedir. Bu durum SSC modeline uysa da zaman gecikmesi çok fazla olmaktadır. Bu

durum, Fermi/LAT'ın gözlemlendiği 183 kaynağın 0.1-100 GeV ile 15 GHz radyo akısı arasında, 0.1-100 GeV öncülüğünde 1 ile 8 ay arasındaki zaman gecikmesine benzerlik gösterebilir (Pushkarev ve diğ., 2010). Yani, SSC'ye ait elektronun jetin içinde ~103 ışık günü mesafe alması ve ters-Compton saçılması yapması anlamına gelmektedir. Ancak literatürde X-ışınlarına ait böyle yüksek zaman gecikmesine rastlanılmamıştır.

Seyfert I galaksileri, BL Lac galaksilerinden farklı olarak gözlemcinin bakış doğrultuna göre daha çok jet ile yığılma diski arasından gelen ışınım gözlenmektedir. Yani, hem jetten hem de yığılma diskinden ayrı ayrı ışınım gözlenebilmektedir. Tez kapsamında irdelenen X-ışınlarına ait farklı enerji bandlarından dolayı, jetten ve yığılma diskinden gelen X-ışınları arasında bir ilişkinin varlığından söz etmek bazı durumlarda mümkün iken bazı durumlarda ise mümkün olamamaktadır. Eğer bir ilişki söz konusu ise; yığılma diskinde üretilen X-ışınları daha sonra jetin içinde dış Compton saçılması yaparak daha yüksek enerjili X-ışınlarını üretebilmektedir. Dolayısıyla, bu durumda düşük enerjili X-ışınları (2-4 keV) ile yüksek enerjili X-ışınları (15-15 keV) arasında bir ilişki söz edilebilir. Bir diğer durum ise, SSC mekanizması ile X-ışınlarının üretilmesidir. Fakat, X-ışınlarına ait farklı enerji bandlarında bulunamayan korelasyonların, daha yumuşak X-ışınları (2-4 keV) yığılma diskine ait koronada veya karadeliğe yakın bölgede üretilmiş ve daha sert X-ışınları (4-10 ve 15-150 keV) ise jette üretilmiş olabilir. Dolayısıyla, üretilen X-ışınları farklı ışınım mekanizmaları içerisinde olduklarından, bu X-ışınları arasında korelasyonlar bulmak zordur.

Seyfert II galaksilerinin MAXI ile Swift/BAT algılayıcıları arasında alınan ışık eğrileri arasında korelasyon ve zaman gecikmeleri Tablo 5.4'te gösterilmiştir. Kaynaklarda 2-4 keV ile 15-150 keV arasında korelasyonlar bulunamamıştır. 4-10 keV ile 15-150 keV arasında her iki kaynak için korelasyonlar ve zaman gecikmeleri bulunmuştur. Her iki kaynaktaki da 15-150 keV negatif bir zaman gecikmesine sahiptir. 43 kaynağa ait uzun dönemli X-ışın değişkenliklerinde sert X-ışınlarının, yumuşak X-ışınlarını %85 oranında takip ettiği bulunmuştur (Kara ve diğ., 2016). Bu çalışmadaki bulgulara göre, 15-150 keV enerjili fotonların negatif bir zaman gecikmesine sahip olması, Kara ve diğ. (2016) çalışmasına göre %15'lik sert X-ışınlarının negatif zaman gecikmesine dahil edilebilir. Bir diğer duruma göre, sert X-ışınları önce üretilmiş ve daha sonra yumuşak X-ışınları üretilmiştir. Sert X-ışınları daha çok jette üretildiğinden, jetten gelen sert X-ışınlarının

Tablo 5. 4: Seyfert II galaksilerine ait MAXI (2-4 keV, 4-10 keV) ile Swift/BAT (15-150 keV) arasındaki korelasyon ve zaman gecikmeleri gösterilmiştir. ‘*’ işareti bulunamayan korelasyon ve zaman gecikmelerini ifade eder.

		2-4 keV/15-150 keV			4-10 keV/15-150 keV		
Adı	MJD	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi	Korelasyon katsayısı	σ	Zaman gecikmesi
NGC 7469	55460 55538	*	*	*	0.83	9	15-150 keV 17 gün önde
NGC 7174	56875 56935	*	*	*	0.80	8	15-150 keV 18 gün önde

bir miktarı daha sonra yığılma diski veya torusta enerjilerinin bir miktarını kaybetmiş olabilir.

Sonuç olarak: Korelasyon katsayılarına ilişkin elde edilen değerler sonucunda BL Lac cisimlerine ve Seyfert I-II galaksilerine ait hem farklı enerji aralıklarındaki X-ışınlarının kendi aralarında hem de X-ışınları ile gama-ışınları arasında bir çok durumda korelasyonlar ve zaman gecikmeleri elde edilmiştir. İrdelenen kaynaklarda, patlamanın süresine göre geniş bir zaman gecikmesi aralığında ya da belirli tek bir zaman gecikmesi gösterecek şekilde korelasyonlar bulunmuştur. Mrk 421 kaynağına ait X-ışınlarında ve gama-ışınlarındaki patlamaların bir kaç güne yayıldığı görülmüş ve dolayısıyla hesaplanan korelasyon katsayıları farklı zaman gecikmeleri gösterecek şekilde yayılmıştır (Bkz. Şekil 4.1 ve 4.2). Korelasyonun tek bir nokta (gün) yerine bir kaç noktaya (günler) yayılması korelasyon katsayısını düşürse de; patlamanın kademeli olarak artması ve daha sonra azalması, gözlenen olayın gerçek bir olay olma olasılığını artırmaktadır. Ancak, diğer kaynaklara bakıldığında bir patlamanın genelde bir veya birkaç gün zaman ölçeğinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, korelasyon katsayısı bir noktada (gün) maksimum yapmış şekilde görünür ve korelasyon katsayısı da daha yüksek çıkmıştır. Patlamaların genelde bir günde pik yapmasının sebebi MAXI ve

Swift/BAT verilerinin günlük ortalama olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Aslında, bir gün içerisinde her üç uydu ortalama 90 dakikada bir Dünya yörüngesinde dolanır ve her döngüde kaynaklarda yüksek enerjili foton tespit edebilir. Bir gün içerisinde yakalanan fotonlar daha sonra günlük ortalama olarak hesaplanır. Ancak bu algılayıcıların etkin foton toplama alanları küçük olduğu için birim zamanda topladıkları foton sayıları az olmakta bu sebeple de her bir yörünge geçişi sırasında tespit ettikleri fotonların belirsizlikleri büyük olmaktadır. Bu sebeple tez kapsamında günlük ortalama verileri kullanılmıştır; fakat bu da patlamaların genellikle tek bir nokta gibi görünmesine yol açmıştır. Korelasyon katsayılarına ilişkin önemli bir eksiklik bazı kaynakların X-ışın ve gama-ışın verilerinde patlamadan önce veya sonrasında uydunun kaynağı gözlememiş veya gözlemiş olsa da yeterli sayıda foton tespit edememiş olmasıdır. Bu boşluklar bazı durumlarda belli zaman gecikmelerinin incelenememesine yol açmıştır.

Kullanılan kaynaklara ait sonuçlar neticesinde hem X-ışınlarının kendi aralarında hem de X-ışın ve gama-ışınları arasında korelasyon bulunması aynı ışınım mekanizmasının işlediği kanaatini oluşturmaktadır. Işık eğrileri arasında bulunan korelasyonlarla beraber zaman gecikmesi X-ışın ve gama-ışınlarının üretildiği bölge arasındaki mesafe hakkında bilgi vermektedir. X-ışınları ile gama-ışınları (TeV) akı değişkenlikleri arasında korelasyonların varlığı, her iki enerji bandının aynı fiziksel bölge içinde ve aynı elektron popülasyonuna sahip olduğunu göstermektedir (Fossati ve diğ., 2008). X-ışınları ile gama-ışınlarının üretilmesi sürecinde SSC olarak adlandırılan bir model öne sürülmektedir. Bu modele göre: Özellikle, TeV blazarlarda radyodan X-ışınlarına kadar senkrotron ışınımının etkin olduğu ısısız olmayan bir ışınım mekanizması mevcuttur, bunun yanı sıra Leptonik modele göre; aynı elektron popülasyonuna sahip elektronların ters-Compton saçılması ile gama-ışınlarını ürettiği bir model öne sürülmektedir. Ancak, tek bir gama-ışınımı (TeV) ile beraber X-ışınının parlaması (flare) tek bölge (one-zone) SSC modeli ile açıklanamaz. Bununla beraber dış (external) Compton saçılmasının da etkin olduğu model de öne sürülmektedir (Krawczynski, 2004).

Bu bilgiler ışığında irdelenen X-ışın ve gama-ışın ışık eğrileri arasındaki korelasyonlar daha önceki çalışmalarla uyumaktadır. X-ışınları ile gama-ışınları arasında sıfır zaman gecikmesine sahip yüksek korelasyon bulunmuştur (Fossati ve diğ., 2008). Ancak her

zaman gama-ışınları (VHE) ile X-ışınları arasında korelasyon olmayabilir (Błażejowski ve diğ., 2005). 3C 454.3 kaynağında olduğu gibi (Bkz. Şekil 4.9) X-ışın ile gama-ışınları arasında bir korelasyon görülmemektedir. Böyle bir durum için, özellikle gama-ışın parlamalarına eşlik etmeyen X-ışınlarına genellikle yetim parlama (orphan flare) denilmektedir (Błażejowski ve diğ., 2005). Bu durum, 1ES 1959 + 650 kaynağı için Krawczynski tarafından 2004 çalışmasında gösterilmiştir (Krawczynski ve diğ., 2004). Her ne kadar yetim parlamalar için SSC modeli uygulansa da, bu modelin tek başına böyle durumları açıklamada zorluklar çekmektedir (Aharonian ve diğ., 2004). Ancak, eğer yetim parlama gerçek ise o zaman melez (hybrid) modellerle açıklamak gerekir. Öyle ki; jetin içinde önemli miktarda elektronlar ve protonlar mevcuttur (Błażejowski ve diğ., 2005). Dolayısıyla bu modele göre, TeV ile X-ışınları arasında bir ilişkinin varlığından söz etmemiz zorlaşır.

Seyfert I ve Seyfert II galaksilerine ait X-ışın değişkenlikleri BL Lac cisimlerine göre daha az çalışıldığından literatürde bu galaksilere ait X-ışın değişkenlik çalışmalarına pek rastlanılmamıştır. Dolayısıyla, tez kapsamında yapılan çalışmada daha çok BL Lac cisimlerinin X-ışın ve gama-ışınlarına ait ışınım mekanizmaları dikkate alınmıştır.

SSC gibi ışınım modellerini daha iyi anlamamızı sağlamak için X-ışınları ve gama-ışınlarına ek olarak; radyo, *UV* ve optik gibi ışınımların da dahil olduğu korelasyonlar daha iyi sonuçlar sağlayacaktır. Elde edilen ışık eğrilerinin eksiksiz, yani sürekli bir verinin olması yapılan çalışma için önemli olduğundan gerçek patlamalara ilişkin daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu anlamda, birçok dalgaboyuna ait ve sürekli gözlemlerin olması; bulunan korelasyon ve zaman gecikmeleri, üretilen ışınımların aynı mekanizma içerisinde veya daha farklı ışınım mekanizmalar içersinden üretilğini daha iyi anlamamızı sağlayacaktır. AGÇ'lerde bu ışınımlar daha çok jette ve yığılma diskinde üretildiğinden yapılacak çalışmada bu ayrımı yapmak daha netleşebilecektir. Seyfert galaksilerinin X-ışın değişkenliklerine ait daha fazla bilimsel çalışma yapılması durumunda, tez kapsamında yapılan çalışmanın yapılacak çalışma ile tutarlılık durumu da değerlendirilecektir.

Bu çalışmayı geliştirmek için radyo, kızılötesi, optik ve morötesi bandlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunları, X-ışın ve gama-ışınlarıyla beraber tayfsal enerji dağılımlarını çıkararak; senkrotron, Compton ve ters-Compton saçılmalarının hangi ışınımlarda etkin

olduğu görebilmeyi sağlayabilecektir. Ayrıca her kaynağa ait tayfsal enerji dağılımla elde edilen verilerde, bu kaynakların hangi enerji bandlarında daha etkin olduğu hesaplanabilecektir; X-ışın ve gama-ışınlarına gç kanunu modellenmesi gibi pek çok uygulama yapılabilir.



6. KAYNAKLAR

- Aharonian, F., Akhperjanian, A., Beilicke, M. ve diğ., 2004, The crab nebula and pulsar between 500 GeV and 80 TeV: Observations with the HEGRA stereoscopic air Cerenkov telescopes, *The Astrophysical Journal*, 614, 897-913.
- Albert J., Aliu, E., Anderhub, H., Antoranz, P., Armada, A. ve diğ., 2007, Discovery of very high energy γ -rays from 1ES 1011+496 at $z = 0.212$, *The Astrophysical Journal*, 667, 21-24.
- Alef, W., Wu, S. Y., Preuss, E., Kellermann, K. I., Qiu, Y. H., 1996, 3C 390.3: a lobe-dominated radio galaxy with a possible superluminal nucleus results from VLA observations and VLBI monitoring at 5GHz., *Astronomy and Astrophysics*, 308, 376-380
- Atwood, W. B., Bagagli, R., Baldini, L., 2007, Design and initial tests of the tracker-converter of the gamma-ray large area space telescope, *Astroparticle Physics*, 28, 422-434.
- Aleksic, J., Ansoldi, S., Antonelli L. A. ve diğ., 2015, The 2009 multiwavelength campaign on Mrk 421: Variability and correlation studies, *Astronomy ve Astrophysics*, 576, 18.
- Alfvén, H. ve Herlofson, N., 1950, Cosmic radiation and radio stars, *Physics Review*, 78, 616-616.
- Avdan H., 2012, Yakın galaksilerde X-ışın kaynaklarının XMM-NEWTON ve CHANDRA gözlemleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Barthelmy, Scott D., Barbier, Louis M., ve diğ., 2005, The Burst Alert Telescope (BAT) on the SWIFT midex mission, *Space Science Reviews*, 120, 143-164.
- Bartoli B., Bernardini P., Bi X. J., Bleve C., ve diğ., 2011, Long-term monitoring of the TeV emission from Mrk 421 with the ARGO-YBJ Experiment, *The Astrophysical Journal*, 734, 110.
- Beckmann, V., Shrader, C. R., Active Galactic Nuclei, ISBN-13: 978-3527410781. Wiley-VCH Verlag GmbH, 2012.
- Biermann, P., Preuss, E., Kronberg, P. P. ve diğ., 1981, VLBI and X-ray observations of compact nuclei in pairs of galaxies, *Astrophysical Journal*, 250, 49-53.
- Burbidge, G.R., 1956, On synchrotron radiation from Messier 87, *Astrophysics Journal*, 124, 416.

- Blandford, R.D. ve Znajek, R.L., 1977, Electromagnetic extraction of energy from Kerr black holes, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 179, 433-456.
- Błazejowski, M., Blaylock, G., Bond, I. H., Bradbury, S. M., ve diğ., 2005, A multiwavelength view of the TeV blazar Markarian 421: Correlated variability, flaring, and spectral evolution, *The Astrophysical Journal*, 630, 130-141
- Bonning, E. W., Shields, G. A., 2007, Accretion disk temperatures and continuum colors in QSOs, *The Astrophysical Journal*, 659, 211-217.
- Collin, S. ve Kawaguchi, T., 2004, Super Eddington accretion rates in narrow line Seyfert 1 galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 426, 797-808.
- Collin, S., 2001, Accretion and emission processes in AGN, *advanced lectures on the starburst-AGN Connection*, Proceedings of a conference held in Tonantzintla, Puebla, Mexico, 26-30 June, 2000.
- Coppi, P., 2005, Studying AGN via their gamma-ray emission: Lessons and future prospects, *Prepared for 7th Workshop on Towards a Network of Conference*, France, 269-283.
- Denney, K. D., Bentz, Misty C., Peterson, Bradley M., ve diğ., 2006, The mass of the black hole in the Seyfert 1 galaxy NGC 4593 from reverberation mapping, *The Astrophysical Journal*, 653, 152-158.
- Dunlop, J. S., McLure, R. J., Kukulka, M. J. ve diğ., 2003, Quasars, their host galaxies and their central black holes, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 340, 1095-1135.
- Edelson, R. A. ve Krolik, J. H., 1988, The discrete correlation function: A new method for analyzing unevenly sampled variability data, *The Astrophysical Journal*, 333, 646.
- Elvis, M., Plummer, D., Schachter, J., ve Fabbiano G., 1992, The Einstein slew survey, *Astrophysics Supplement Series*, 80, 257-303.
- Fanaroff, B.L. ve Riley, J.M., 1974, The morphology of extragalactic radio sources of high and low luminosity, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 167, 31-36.
- Fairall, A.P., 1977, 150 southern compact and bright-nucleus galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 180, 391-400.
- Fanali, R., Caccianiga A., Severgnini P., Della Ceca R., ve diğ., 2013, Studying the relationship between X-ray emission and accretion in AGN using the XMM-Newton bright serendipitous survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 648-658

- Fossati, G., Buckley, J. H., Bond, I. H., Bradbury, S. M. ve diğ., 2008, Multiwavelength observations of Markarian 421 in 2001 March: an unprecedented view on the X-Ray/TeV correlated variability, *The Astrophysical Journal*, 677, 906-925.
- Gaidos, J.A., Akerlof, C. W., Biller, S., Boyle, P. J. ve diğ., 1996, Extremely rapid burst of TeV photons from the active galaxy Markarian 421, *Nature*, 383, 319-320.
- Ghisellini, G., Celotti, A., Fossati, G. ve diğ., 1998, A theoretical unifying scheme for gamma-ray bright blazars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 301, 451-468.
- Grupe, D., Komossa, S., Leighly, K.M., ve Page, K.L., 2010, The simultaneous optical-to-X-ray spectral energy distribution of soft X-ray selected active galactic nuclei observed by Swift, *Astrophysics Journal Supplement*, 187, 64-106.
- <http://what-when-how.com/cosmic-gamma-radiation/gamma-ray-astronomy-a-discipline-in-its-own-right-cosmic-gamma-radiation/> [21 Nisan 2016].
- <https://www.bu.edu/blazars/research.html> [21 Nisan 2016].
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon> [24 Mayıs 2016].
- <http://www.asdc.asi.it/bzcat/>.
- <https://www-glast.stanford.edu/instrument.html> [1 Mayıs 2016].
- <https://www-glast.stanford.edu> [1 Mayıs 2016].
- <http://docplayer.biz.tr/8192487-Uydular-ile-gokbilim-emrah-kalemci-doc-dr-fizikci-ogretim-uyesi-sabanci-universitesi-muhendislik-ve-doga-bilimleri-fakultesi.html> [1 Mayıs 2016].
- <http://swift.gsfc.nasa.gov/> [1 Mayıs 2016]
- http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/bat_desc.html [1 Mayıs 2016].
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon> [24 Mayıs 2016].
- <http://www.onlinefizik.com/foton-momentumu-ve-isigin-compton-sacilimi/> [9 Temmuz 2016].
- Kendall, M. G. ve Stuart, A., 1969, The advanced Theory of statistics, 3rd ed., vol. I, Griffin, London.
- Khachikian, E.Y. ve Weedman, D.W., 1974, An atlas of Seyfert galaxies. *Astrophysics Journal*, 192, 581–589.

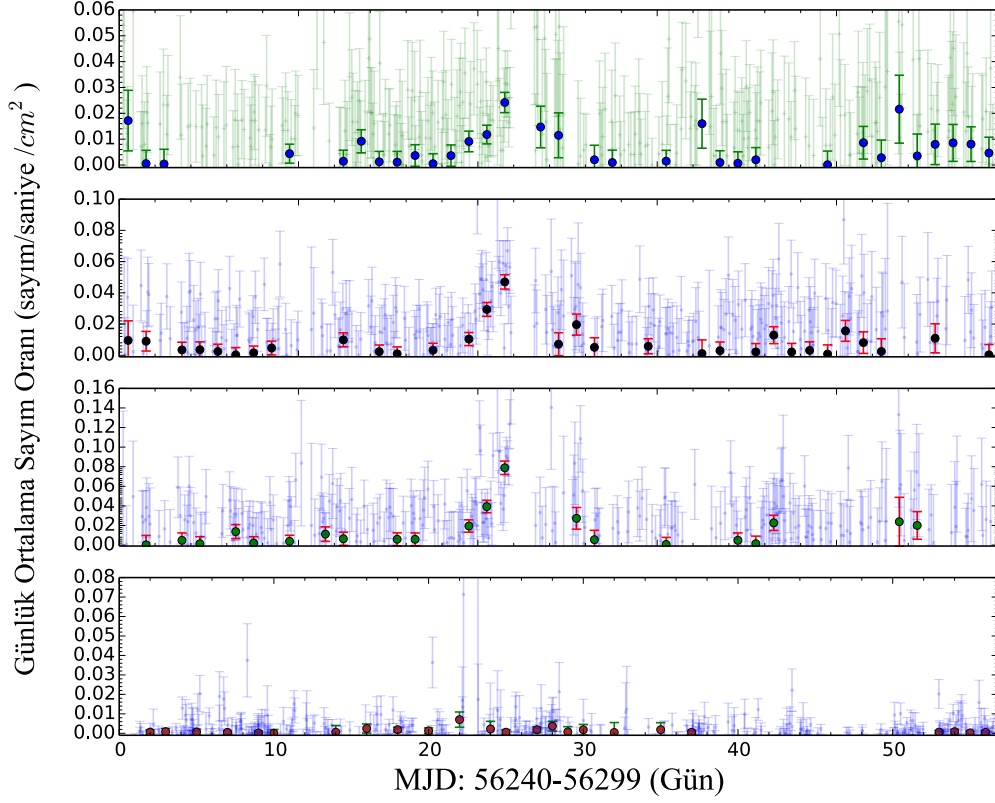
- Krawczynski, H., Hughes, S. B., Horan, D. ve diğ., 2004, Multiwavelength observations of strong flares from the TeV blazar 1ES 1959+650, *The Astrophysical Journal*, 601, 151-164.
- Kraemer, S.B., Schmitt, H. R., Crensha, D. M., 2008, Probing the ionization structure of the narrow-line region in the Seyfert 1 galaxy NGC 4151, *The Astrophysical Journal*, 679, 1128–1143.
- Krimm, H.A., Holland, S. T., Corbet, R. H. D. ve diğ., 2013, The Swift/BAT hard X-ray transient monitor, *The Astrophysical Journal Supplement*, 209, 14-33.
- La Mura, G., Giovanni, C. G., Ciroi, S. ve diğ., 2015, Optical counter partsof undetermined type γ -ray active galactic nuclei with blazar like spectral energy distributions, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 36, 447-455
- Lister, M. L. ve Homan, D. C., 2005, MOJAVE: Monitoring of jets in active galactic nuclei with VLBA experiments. I. First-Epoch 15 GHz linear polarization images, *The Astrophysical Journal*, 130, 1389-1417.
- Lu, R. S., Shen, Z.-Q., Krichbaum T. P. ve diğ., 2012, The parsec-scale jet of PKS 1749+096, *Astronomy & Astrophysics*, 544, 22.
- Lynden-Bell, D., 1969, Galactic nuclei as collapsed old quasars, *Nature*, 223, 690.
- Mallick L., Dewangan G. C., Gandhi P. ve diğ., 2016, Accretion disc-corona and jet emission from the radio-loud Narrow Line Seyfert 1 galaxy RXJ1633.3+4719, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460, 1705-1715.
- Matsuoka, M., Kawasaki, K., Ueno S. ve diğ., 2009, The MAXI Mission on the ISS: Science and instruments or monitoring all-sky X-ray images, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 61, 999-1010.
- Mortlock, D., Warren, S., Patel, M. ve diğ., 2011, The discovery of a luminous redshift 7.1 quasar, *Galaxy Formation: An International Conference*.
- Nandikotkur, G., Jahoda, Keith. M., Hartman, R. C. ve diğ., 2007, Does the blazar gamma-ray spectrum harden with increasing flux? Analysis of 9 years of EGRET data, *The Astrophysical Journal*, 657, 706-724.
- Nordgren, T. E., Helou, G., Chengalur, J. N. ve diğ., 1995, The morphology and kinematics of 16 Markarian galaxies with multiple Nuclei. I. Basic Data, *Astrophysical Journal Supplement*, 99, 461.
- Osterbrock, D.E., 1977, Spectrophotometry of Seyfert 1 galaxies, *The Astrophysics Journal*, 215, 733– 745.
- Osterbrock, D.E. ve Pogge, R.W., 1985, The spectra of narrow-line Seyfert 1 galaxies, *Astrophysical Journal*, 297, 166–176.
- Özdemir S., Gürol B., Demircan O., 2001, *Astronomi ve Astrofizik*, ISBN: 975-9091-

0-5, Asil yayıncılık, 2011.

- Perlman, E. S., Stocke, J. T., Schachter, J. F., ve diğ., 1996, The Einstein Slew Survey Sample of BL Lacertae Objects, *The Astrophysical Journal*, 104, 251.
- Plotkin, R.M., Markoff, S., Trager, S.C., and Anderson, S.F., 2011, Dynamical black hole masses of BL Lac objects from the Sloan digital sky survey, *Astronomy Society*, 413, 805–812.
- Punch, M., Akerlof, C. W., Cawley, M. F., ve diğ., 1992, Detection of TeV photons from the active galaxy Markarian 421, *Nature*, 358, 477-478.
- Pushkarev A.B., Kovalev, Y. Y., Lister, M. L., 2010, Radio/Gamma-ray time delay in the parsec-scale cores of active galactic nuclei, *The Astrophysical Journal*, 722, 1.
- Rani B., Lott, B., Krichbaum, T. P., Fuhrmann, L, Zensus, J. A., 2013, Constraining the location of rapid gamma-ray flares in the flat spectrum radio quasar 3C 273, *Astronomy & Astrophysics*, 557, 11.
- Schmidt, M., 1963, 3C 273 : A star-like object with large red-shift, *Nature*, 197, 1040.
- Schneider, P., 2015, Extragalactic astronomy and cosmology, ISBN: 978-3-642-54082-0, Berlin: Springer.
- Stocke, J.T., Danforth, C.W., ve Perlman, E.S., 2011, Broad Ly α emission from three near- by BL Lacertae objects, *The Astrophysics Journal*, 732, 113.
- Swanenburg, B. N., Hermsen, W., Bennett, K., ve diğ., 1978, COS B observation of high-energy gamma radiation from 3C273, *Nature*, 275, 298.
- Urry, C. M. ve Padovani P., 1995, Unified schemes for radio-loud active galactic nuclei, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 107, 803
- Tchekhovskoy, A., Narayan, R., ve Mc- Kinney, J.C., 2011, Efficient generation of jets from magnetically arrested accretion on a rapidly spinning black hole, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 418, 79-83.
- Tal A., 2013, Is AGN variability correlated with other AGN properties? ZDCF analysis of small samples of sparse light curves, *Astronomical Time Series*, 163.
- Taş, E., 2013, Yüksek kırmızıya kayma değerine sahip blazar 4C71+1'in Fermi-LAT gözlemleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vaughan, S., Fabian, A. C., Ballantyne, D. R. Ve diğ., 2004, An XMM-Newton observation of Ark 120: the X-ray spectrum of a 'bare' Seyfert 1 nucleus, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 351, 193-200 .
- Zhou, H., Wang, T., Yuan, W. ve diğ., 2006, A comprehensive study of 2000 narrow line Seyfert 1 galaxies from the Sloan digital sky survey. I. The sample, *Astrophysics Journal Supplement*, 166, 128-153.

- Wardzinski, G., 2002, Radiative processes in accretion black holes, PhD Thesis, N. Copernicus Astronomical Center Warszawa.
- Walg, S., Achterberg, A., Markoff, S. ve Keppens, R., 2013, Relativistic AGN jets I. The delicate interplay between jet structure, cocoon morphology and jet-head propagation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 1453-1478.
- Wagner, S.J. ve Witzel, A., 1995, Intraday variability in quasars and BL Lac objects, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 33, 163–198.
- Willott, C. J., Albert, L., Arzoumanian, D. ve diğ., 2010, Eddington-limited accretion and the black hole mass function at redshift 6, *The Astronomical Journal*, 140, 546-560.
- Woo, L., 2002, Active galactic nucleus black hole masses and bolometric luminosities, *The Astrophysical Journal*, 579, 530-544.

7. EKLER



Şekil Ek 7 .1: Tez kapsamında kullanılan günlük ortalama ile beraber her yörünge geçişinde tespit edilen fotonlar gösterilmektedir. Enerji aralıkları paneller üstten alta doğru MAXI 2-4keV, MAXI 4-10keV, MAXI 10-20keV ve Swift/BAT 15-150keV olarak sıralanmaktadır. Günlük ortalamaya dahil olan ve her yörünge geçişinde elde edilen fotonlar en üst panelde yeşil ve diğer panellerde mavi renk olarak gösterilmiştir.

Tablo Ek 7.1: Tez kapsamında kullanılan kaynakların ekvatorial koordinatları, kırmızıya kayma değerleri ve optik parlaklıkları verilmiştir.

Adı	Sınıfı	Sağ açıklık (hh mm ss.s)	Dik açıklık (dd mm ss.s)	Kırmızıya kayma (z)	m (kadir)
Mrk 421	BL Lac	11 04 27.3	+3812 31.7	0.030	13.10
3C 273	BL Lac	12 29 06.7	+02 03 08.6	0.158	12.90
PKS 0716+714	BL Lac	07 21 53.4	+71 20 36.3	0.300	14.10
3C 454.3	BL Lac	22 53 57.7	+16 08 53.5	0.859	13.20
1ES 0502 + 675	BL Lac	05 07 56.2	+67 37 24.4	0.416	17.20
1ES 1011+496	BL Lac	10 15 04.1	+49 26 00.7	0.212	15.50
Ark 120	Seyfert I	05 16 11.4	-00 08 59.6	0.323	13.40
3C 390.3	Seyfert I	18 42 08.9	+79 46 17.1	0.056	16.06
ESO 548 – 81	Seyfert I	03 42 03.7	-21 14 39.9	0.014	11.57
FAİRAL 9	Seyfert I	23 45 74.8	-58 48 20.6	0.048	13.34
NGC 4593	Seyfert I	12 39 39.5	-05 20 39.1	0.008	13.15
NGC 6860	Seyfert I	20 08 46.8	-61 05 59.6	0.015	12.14
NGC 7469	Seyfert II	23 03 15.7	+08 52 25.2	0.016	12.34
NGC 7172	Seyfert II	22 02 01.9	-31 52 11.6	0.009	11.15
4C 09.57	BL Lac	17 51 32.8	+09 39 00.7	0.322	15.57

8. ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Muhammed Diyaddin İLHAN
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	27.10.1986
E-mail	diyaddin.ilhan@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri	2016
Lisans	Ankara Üniversitesi/ Fen Fakültesi/ Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2012
Lise	Siirt (Yabancı Dil Ağırlıklı) Lisesi	2005