DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ (DAG)
YERLEŞKESİ'NDE KOZMİK IŞINLARIN TESPİTİ
VE ASTRONOMİK AYGITLARA ETKİSİ

Ahmet POLATOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mithat KAYA
Doktora Tezi
Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı
2022
(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE ASTROFİZİK ANA BİLİM DALI

DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ (DAG) YERLEŞKESİ'NDE KOZMİK IŞINLARIN TESPİTİ VE ASTRONOMİK AYGITLARA ETKİSİ

(Detection of Cosmic Rays at the Eastern Anatolia Observatory (DAG) Site and its Effect on Astronomical Devices)

DOKTORA TEZİ

Ahmet POLATOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mithat KAYA

Erzurum
Aralık, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Ahmet POLATOĞLU tarafından hazırlanan "Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesinde Kozmik Işınların Tespiti ve Astronomik Aygıtlara Etkisi" başlıklı çalışması 26 / 12 / 2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı, Astronomi ve Astrofizik Bilim Dalında Doktora tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK *Erciyes Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Hamdullah KILIÇ *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Ali GÜROL *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Tolga GÜVER *İstanbul Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Ganim GEÇİM *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
İkinci Tez Danışmanı	Prof. Dr. Mithat KAYA *Marmara Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun …./…/…. tarih ve …… sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma BAP, DAG ve TÜBİTAK projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: BAP (FBA-2021-8833), BAP (FDK-2022-10689), BAP (2010/40), BAP (FBA-11-3283), DAG (2011K120230) ve TÜBİTAK (121F297)

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK danışmanlığında sunulan "**Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi'nde Kozmik Işınların Tespiti ve Astronomik Aygıtlara Etkisi**" başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	*3*	**30**
Kuramsal Temeller	*6*	**30**
Materyal ve Yöntem	*5*	**35**
Araştırma Bulguları ve Tartışma	*1*	**20**
Sonuç ve Öneriler	*1*	**20**
Tezin Geneli	*7*	**25**

Not: *Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının* ***%5'den*** *büyük olmaması gerekir.*

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Ahmet Polatoğlu	Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
27.12.2022	27.12.2022
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun …./…/…. tarih ve …… sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☒ Enstitü Yönetim Kurulunun …./…/…. tarih ve …… sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Hayatımın önemli dönüm noktalarından biri olan doktora çalışmamı tecrübelerle dolu uzun bir sürecin sonunda tamamlamış bulunmaktayım. Bu tezin ilgili konuyu çalışan herkese faydalı olmasını ve yeni ufuklar kazandırmasını diliyorum. Akademik hayatımda kendilerine çok şey borçlu olduğum ve her an yardımlarını gördüğüm tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK ve ikinci tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mithat KAYA hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez süresince deney sistemlerinin kurulumunda katkı sağlayan Prof. Dr. Ali GÜROL ve Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK hocalarıma; Antarktika'da veri alımını gerçekleştiren Dr. Onur Şatır'a; yazılım konusunda desteklerini esirgemeyen kıymetli dostum Mohammad Shameoni Niaei'ye; tezi inceleyen ve fikirler sunan kıymetli dostlarım Dr. Öğr. Üyesi Enes GÜL ve Arş. Gör. Hüseyin ER hocalarıma, tecrübelerinden faydalandığım İsmail Okan Atakişi'ye ve yardımlarından ötürü ATASAM personeline teşekkürü bir borç bilirim. Elbette beni bu günlere getiren, yetiştiren çok kıymetli anne ve babama; ağabeylerime, kardeşlerime, hocalarıma ve tüm dostlarıma teşekkür ederim. Ve her daim yardımcım olan kıymetli eşime ve varlıkları için minik reyhanlarıma büyük teşekkür borçluyum.

Bu çalışmada, bir kozmik ışın dedektörü ve CCD kamera ile elde edilen kozmik ışın verileri analiz edilmiştir. CCD Kara Akım (Dark) görüntüleri için, Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) bünyesinde kurulan ATA50 Teleskobu ve teleskoba bağlı CCD kamera kullanılmıştır. ATA50 Teleskobu Atatürk Üniversitesi (P.No.BAP-2010/40), CCD kamera ise Erciyes Üniversitesi (P.No.FBA-11-3283) Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi (BAP) tarafından finanse edilmiştir. Yine DRS4, Fotoçogaltıcı Tüp (PMT) ve Sintilatör'lerden oluşan Kozmik Işın Dedektörleri tasarlanarak kullanılmış olup bu materyaller Atatürk Üniversitesi (FBA-2021-8833) ve (FDK-2022-10689) Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi (BAP), Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Projesi (2011K120230) ve TÜBİTAK (121F297) kutup projesi kapsamında finanse edilmiştir. İlgili kurum, kuruluş ve personellerine teşekkür ederim.

Ahmet POLATOĞLU

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ (DAG) YERLEŞKESİ'NDE KOZMİK IŞINLARIN TESPİTİ VE ASTRONOMİK AYGITLARA ETKİSİ

Ahmet POLATOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mithat KAYA

Amaç: Bu çalışmada, astroparçacık alanında çok önemli bir konu olan kozmik ışınları, özelde müon parçacıklarını, Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) yerleşkesinde ve farklı noktalarda ölçmek, bölgenin kozmik ışın akı haritasını çıkarmak ve bunun neticesinde düzenli veri alan bir kozmik ışın istasyonu kurmak amaçlanmıştır. Kurulan dedektörler ile uzun periyotlu yapılacak ölçümlerde, kozmik ışınların astronomik gözlemlere ve astronomik aygıtlara nasıl etki ettiğinin incelenmesi ve Güneş aktivitesi, Koronal Kütle Atımı, Nova ve Süpernova gibi astrofiziksel olayların kozmik ışınlar ile bağlantısının incelenmesi amaçlanmaktadır.

Yöntem: Bu çalışmada kozmik ışınların ölçümü plsatik sintilatör ve fotoçoğaltıcı sensör ile tasarlanan kozmik ışın dedektörü ve CCD kamera ile yapılmıştır. Kozmik ışın dedektörü verileri alınırken Uçuş Zamanı (Time of Flight/TOF) metodu kullanılmıştır. Bu yöntem, iki plastik sintilatör arasından geçen parçacığın uçuş süresini hesaplayarak ve parçacık sayımı yaparak akı elde edilmesini sağlamaktadır. İkinci aşamada ise CCD kamera ile alınan Kara Akım (Dark) görüntüleri üzerinde sıcak pikseller temizlenmiştir. Ardından belirli bir seviyenin üzerinde parlaklık gösteren piksel öbekleri kozmik müon ışını izleri olarak tespit edilmiştir.

Bulgular: Tez çalışması sonucunda elde edilen verilere göre kozmik ışınların deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça ve ekvatordan kutuplara gittikçe arttığı gözlenmiştir. Kozmik ışınların sürekli aynı oranda Dünya'ya ulaşmadığı, akıyı etkileyen birçok fiziksel ve astrofiziksel parametrenin olduğu görülmüştür. Ayrıca CCD kamera üzerine düşen kozmik müon izleri sayılmış ve akı oranı çıkartılmıştır. Bu parçacıkların CCD görüntülerinde bir dezenformasyona yol açtığı ve yazılımlar ile temizlenmesi gerektiği bilinmektedir. Fakat teleskoplardaki CCD kameraların aynı zamanda bir kozmik ışın algılayıcısı olduğu ve depolanan binlerce kara akım verisi ile kozmik ışın çalışmalarının yapılabileceği gösterilmiştir.

Sonuç: Bu tez kapsamında Türkiye'nin en büyük gözlemevi projesi olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi'nde kozmik müon ışınlarının tespiti, analizleri ve sürekli çalışan bir kozmik ışın istasyonunun kurulabilmesi için bir dedektör tasarlanmıştır. Dedektörün testleri yapılmış, DAG yerleşkesinin yanı sıra Antarktika, Mersin ve Atatürk Üniversitesi ATA50 Teleskobu'nda olmak üzere farklı koordinat ve yüksekliklerde kozmik ışın akı profilleri çıkartılmıştır. Kozmik ışınların CCD kameralar üzerinde bıraktığı izler yazılan python kodları ile tespit edilerek parçacıkların astronomik aygıtlara etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akı, CCD, DAG, Kozmik Işınlar, Müon, Sintilasyon, TOF Metodu

Aralık 2022, 70 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

DETECTION OF COSMIC RAYS AT THE EASTERN ANATOLIA OBSERVATORY (DAG) SITE AND ITS EFFECT ON ASTRONOMICAL DEVICES

Ahmet POLATOĞLU

Supervisor: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
Co-supervisor: Prof. Dr. Mithat KAYA

Purpose: The aim of this study is to measure cosmic rays, especially muon particles, which is a very important issue in the field of astroparticles, at the Eastern Anatolia Observatory (DAG) campus and at different points, to create a cosmic ray map of the region and as a result, to establish a cosmic ray station that receives regular data.

Method: In this study, the measurement of cosmic rays was made with a scintillation detector and a CCD camera. Scintillation detector data were acquired using the Time of Flight (TOF) method. This method provides flux by calculating the flight time of the particle passing between two plastic scintillators and counting the particles. In the second stage, hot pixels were cleaned on Dark images taken with CCD cameras. Then, clusters of pixels showing brightness above a certain level were detected as cosmic rays.

Findings: According to the data obtained as a result of the thesis study, it has been observed that cosmic rays increase above sea level and from the equator to the poles. It has been seen that cosmic rays do not reach the Earth at the same rate all the time, and there are many physical and astrophysical parameters that affect the flux. In addition, the cosmic muon traces falling on the CCD camera were counted and the flux ratio was calculated. It is known that these particles cause disinformation in CCD images and should be cleaned with software. However, it has been shown that CCD cameras in telescopes are also cosmic ray detectors and that cosmic ray studies can be done with millions of Dark data stored.

Results: Within the scope of this thesis, a detector was designed for the detection and analysis of cosmic muon rays and the establishment of a continuously operating cosmic ray station at the Eastern Anatolia Observatory (DAG) campus, which is Turkey's largest observatory project. The detector's tests were carried out, and cosmic ray flux profiles were obtained at different coordinates and heights, in Antarctica, Mersin and ATA50 Telescope, as well as at the DAG campus. The traces left by cosmic rays on CCD cameras were detected with their written codes, and the effects of particles on astronomical devices were examined.

Keywords: Cosmic Rays, DAG, CCD, Muon, Flux, Scintillation, Time of Flight (TOF) Method

December 2022, 70 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
TABLOLAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ xi
GİRİŞ 1
KURAMSAL TEMELLER 3
Kozmik Işın Çalışmalarının Tarihçesi 3
Kozmik Işınların Temelleri 6
Kozmik Işınların Enerji Spektrumları, Manyetik Alan ve Güneş ile İlişkisi 9
Kozmik Işınların Gözlemsel Astronomide Odak Düzlemi Aygıtlarına Etkisi 12
Kozmik Işınların Tespit Yöntemleri 15
Kozmik Işın Dedektörlerine Sahip Gözlemevleri 16
MATERYAL ve YÖNTEM 18
MATERYAL 18
Plastik Sintilatör 18
Fotoçoğaltıcı Sensörler 19
Sinyal Okuma Kartı (DRS4) 20
CCD Kamera 20
YÖNTEM 22
Tezin Çalışma Takvimi ve Süreçler 22
Kozmik Işın Dedektör Sisteminin Kurulumu 23
Ölçüm Yapılan Lokasyonlar 25
Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi 25
Atatürk Üniversitesi, ATA50 Teleskop Binası 25
Antarktika 26
Mersin 26
Kozmik Işın Dedektörü ile Ölçümlerin Yapılması 26

Uçuş Süresi (Time of Flight/TOF) Metodu ve Kullanılan Programlar 27
CCD ile Elde Edilen Verilerde Kozmik Işın Tespiti ve Yöntemi 31
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 34
Kozmik Işın Dedektörünün Test Sonuçları 34
Kozmik Işın Dedektörü Ölçüm Sonuçları 38
CCD Dark Görüntüleri Üzerindeki Kozmik Işınların Analizi 43
SONUÇ ve ÖNERİLER 47
KAYNAKLAR 49
ÖZGEÇMİŞ 56

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Bazı kozmik ışınların olası bozunma reaksiyonları 9
Tablo 2. ATA50 Teleskobu'nda kullanılan CCD kameranın teknik özellikleri 21
Tablo 3. DAG ve farklı noktalarda kozmik ışınların akı ölçümü 38
Tablo 4. ATA50 Teleskobu'nda kozmik ışın akısının farklı açılarda ölçümü 40
Tablo 5. CCD kamera ile yapılan kozmik ışın ölçümleri 45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Galaktik kozmik ışınlar (GCR) ve Güneş sistemindeki (SS) elementlerin bolluğu 7
Şekil 2. Yüksek enerjili kozmik ışınlardan gelen hava duşları 8
Şekil 3. Kozmik ışınların akı-enerji grafiği.....10
Şekil 4. Kozmik ışınlar ve solar aktivite bağlantısı.....12
Şekil 5. CCD'deki kozmik ışınlar.....14
Şekil 6. CCD üzerindeki kozmik ışın sayısının açısal dağılımı 14
Şekil 7. SP101 Plastik sintilatör 19
Şekil 8. PMT'nin iç yapısı ve deney sisteminde kullanılan Hamamatsu PMT.....19
Şekil 9. DRS4 Evaluation Board ver. 5.1'in ön, arka ve içten görünümü 20
Şekil 10. Apogee Alta U230 CCD kamera 21
Şekil 11. Hamamatsu H10721 PMT'nin bağlantı kablolarının şeması.....23
Şekil 12. Plastik Sintilatörler, DRS4 ve PMT'lerden oluşan dedektör parçaları ve iki farklı boyutta kurulan kozmik ışın müon dedektör sistemi.....24
Şekil 13. Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi 25
Şekil 14. DRS4'ün ürettiği verinin içeriği 27
Şekil 15. Kozmik ışın dedektör düzeneği şeması.....27
Şekil 16. DRS4 Çıkış Sinyali a)İki sintilatörden geçen bir kozmik ışın b)Elektronik gürültü.....28
Şekil 17. Dedektör sisteminin küresel yapıyla benzeşimi.....29
Şekil 18. a) CCD Kara Akım görüntüsü b) Kara Akım görüntüsü üzerine düşen kozmik ışın izleri 31
Şekil 19. Görüntülerin işlenme akış çizelgesi 33
Şekil 20. DRS Osc ile alınan bir günlük veri, d=170 cm 35
Şekil 21. DAG yerleşkesindeki iki detektör arası 170 cm olan kozmik ışın deney sistemi ile bir günlük ölçülen verinin ham ve TOF metodu uygulanmış grafikleri.....36
Şekil 22. a) Antarktika b) Mersin c) ATA50 Teleskobu için TOF metodu uygulanmış grafikleri 37
Şekil 23. Mayıs-Ekim 2022 aralığında yaptığımız kozmik ışın ölçümleri 39
Şekil 24. Oulu nötron istasyonu kozmik ışın ölçümleri 40
Şekil 25. Açısal dağılım ölçümleri.....41
Şekil 26. Kozmik ışın akı ölçümlerinin literatürdeki diğer deneylerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....42
Şekil 27. Mayıs-Ekim 2022 aralığında Güneş Lekesi değişimi 42

Şekil 28. CCD yeterince soğutulmadan alınan görüntülerin sayım-zaman grafiği.....43
Şekil 29. CCD Dark görüntüleri üzerindeki sıcak ve parlak pikseller.....44
Şekil 30. CCD Dark görüntüleri üzerinde tespit edilen kozmik ışın izleri.....44
Şekil 31. Kozmik ışın dedektörünün CCD ile eş zamanlı kozmik ışın ölçümleri.....46

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ATA50 : Atatürk Üniversitesi'ne ait 50 cm ayna çaplı Teleskop

ATASAM : Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi

CCD : Charged Coupled Device

CERN : Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi)

CMBR : Cosmic Microwave Backround Radiation (Kozmik Mikrodalga Arkaplan Radyasyonu)

CME : Coronal Mass Ejection (Koronal Kütle Atımı)

CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor

CR : Cosmic Ray (Kozmik Işın)

DAG : Doğu Anadolu Gözlemevi

Dark : CCD ile Elde Edilen Kara Akım Görüntüleri

DRS4 : Domino Ring Sampler Chip 4 (Sinyal Okuyucu Cihaz)

EAS : Extensive Air Shower (Yoğun Kozmik Işın Hava Duşu)

eV : Elektron Volt

FD : Forbush Decrease (Forbush Azalması)

GCR : Galactic Cosmic Rays (Galaktik Kozmik Işınlar)

GeV : Giga Elektron Volt (10^9 eV)

MeV : Mega Elektron Volt (10^6 eV)

ns : Nano saniye

PMT : Photomultiplier Tube (Fotoçoğaltıcı Tüp)

sr : Steradyan

TOF : Time of Flight (Uçuş Süresi Metodu)

VERITAS : Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System

Ω : Katı Açı

θ : Kozmik Işınların Düşeyle Yaptığı Açı

μ^- : Müon

d : Düşey İki Sintilatör Yüzeyi Arasındaki Mesafe

e^- : Elektron

e^+ : Pozitron

$\mathbf{K^-}$	**:** Kaon
n	**:** Nötron
p	**:** Proton
Δt	**:** Toplam Müon Ölçüm süresi
ν	**:** Nötrino
$\boldsymbol{\pi^-}$	**:** Pion
Φ	**:** Flux (Akı)

GİRİŞ

Kozmik ışınlar, uzaydan Dünya'ya ulaşan yüksek enerjili yüklü parçacıklardır. Atmosferin üst katmanlarındaki atomlarla etkileşen birincil kozmik ışınlar milyarlarca yeni parçacığa bozunarak Dünya'ya bir yağmur duşu gibi dağılırlar. Bu parçacıkların kaynaklarının, yönlerinin ve enerjilerinin tespit edilmesi, böylece oluşum mekanizmalarının incelenmesi parçacık fiziği alanını geliştirmiştir. Kozmik ışınlar, atomaltı parçacıkların yapısı ve evrenin ilk hali hakkında bilgiler sunmaktadır (Gaisser et al. 2016). Bu parçacıkların incelenmesi ve ölçülmesi için uluslararası düzeyde çok büyük projeler yürütülmekte olup sintilasyon sayaçları,

Çerenkov teleskopları, müon teleskopları ve su altı detektörleri gibi çok farklı dedektör sistemleri kurulmuştur (Bonomi et al. 2020). Bütün bu gelişmelere rağmen kozmik ışınların orijinleri, farklı türleri, ultra yüksek enerjili olanların tespiti, hızlanma mekanizmaları gibi konularda bilinmezlikler devam etmektedir.

Son yıllarda geliştirilen müon radyografisi ve müon saçılma tomografisi gibi alanlarla maddelerin iç kısımları incelenebilmektedir. Kasım 2017'de, bir araştırma ekibi, MÖ. 2560 yılında inşa edilen Büyük Giza Piramidi'nde kozmik ışınlar kullanarak olası bir boşluğu keşfetmiştir. Araştırmacılar bu boşluğu, kozmik müon ışınları ve girintilerini katı nesneler aracılığıyla inceleyen muon tomografiyi kullanarak tespit etmiştir (Morishima et al. 2017).

Kozmik ışın biliminde ileriye doğru büyük çalışmalardan biri 2017'de başlatılan, 3.000 km^2'lik alana yayılan Pierre Auger Gözlemevi'nin 30.000 kozmik parçacığın varış yörüngelerini incelediği projedir. Konuma bağlı olarak, kozmik ışınların ne sıklıkla geldiği konusunu aydınlatmaktadır. Araştırmacılar, nereden bakılacağını bilmenin kozmik ışınların nereden geldiğini öğrenmenin ilk adımı olduğunu söylemektedir (Aabp et al. 2017).

Kozmik ışınlar sadece parçacık fiziği alanının değil aynı zamanda astronomi ve astrofizik sahasının da önemli bir konusudur. Astronomi gözlemlerinin yapıldığı büyük teleskopların Charged Coupled Device (CCD) ve Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) kameraları üzerine düşen kozmik ışınlar bir arka plan gürültüsü oluşturmaktadır. Kozmik ışın akısı gözlem çalışmalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple yıldız gibi özel gözlemlerde kamera üzerine düşen kozmik ışınlar yazılımlar yardımıyla temizlenmektedir. Bunun yanı sıra kozmik ışınların bu görüntülerden ayıklanması ile kozmik ışın akısı, enerjisi ve türleri üzerinde çalışmalar yapılabilmektedir (Groom 2004). Gözlemler sırasında alınan Kara Akım (Dark) görüntüleri, kozmik ışınların birim alana birim zamanda ne kadar düştüğünün

incelenmesi için önemli bir imkandır. Kozmik ışınlar nova, süpernova, aktif galaktik çekirdekler, Güneş ve diğer astrofiziksel yapılar ile çalışmayı da gerektirmektedir. Güneş'in aktivitesi, iklim, hava olayları, enlem-boylam farkları, manyetik ve elektrik alan kozmik ışın miktarını etkileyebilen önemli parametrelerdir (Grieder 2001).

Bu tez kapsamında tasarladığımız taşınabilir kozmik ışın müon dedektörü ile kozmik ışın akı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca CCD kamera ile düzenli Kara Akım (Dark) verileri alınmıştır. Kozmik ışınların, teleskobun CCD kameraları gibi astronomik aygıtlara etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın temelinde kozmik ışınlar ile astronomi arasındaki bağlantıları inceleme düşüncesi yatmaktadır. Deneysel çalışmalar Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) yerleşkesinde, Atatürk Üniversitesi ATA50 Teleskobu, Mersin ve Antarktika'da yapılmıştır. Türkiye'nin en büyük ve Avrupa kıtasındaki sayılı kırmızı öte ve optik bölgede çalışabilen gözlemevlerinden biri olan DAG, Erzurum'un Konaklı tepelerinde inşa edilmiştir (Atasam 2022). Ülkemiz için büyük bir bilimsel yatırım olan gözlemevi 3170 metre gibi önemli bir yükseklikte kurulmuştur. Bu yükseklik kozmik ışınların tespiti açısından önemli bir kriterdir. Çünkü yükseklere çıkıldıkça kozmik ışın akısı artmaktadır. Türkiye'de ilk defa bu yükseklikte bir kozmik ışın ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yine ilk defa Antarktika'da bir kozmik ışın dedektörü ile ölçüm yapılmıştır.

DAG projesi içerisinde optik, elektronik, meteorolojik ve astrofiziksel sistemler yanında kozmik ışın dedektörlerinin de olması projenin geleceğe yönelik iz bırakacak ve çok kapsamlı bir gözlemevi kurulacağını göstermektedir. Bu çalışmanın planlanan çıktısı sürekli veri akışı sağlayan bir kozmik ışın istasyonun ve daha kapsamlı dedektör sistemlerinin kurulmasıdır. Tez çalışması ulusal ve uluslararası yeni iş birlikleri ve farklı türden dedektör sistemlerinin kurulmasına kapı aralayacaktır. Uzun periyotlu kozmik ışın ölçümleri ile Güneş aktivitesi, koronal kütle atımları (CME), proton akısı, nötron akısı ve diğer astrofiziksel olaylarla bağlantılar incelenebilecektir.

KURAMSAL TEMELLER

Dünya atmosferine metre kareye saniyede yaklaşık 1000 tane kozmik ışın parçacığı çarpmaktadır. Gelen bu iyonize çekirdeklerin yaklaşık %99'u hidrojen ve helyum parçacıklarıdır. Çoğu kozmik ışın görecelidir ve kütleleriyle benzer veya biraz daha büyük enerjilere sahiptir. Küçük bir kısmı 10^{20} eV' a kadar uzanan ultra rölativistik enerjilere sahiptir. Kozmik ışın fiziğinin en temel iki sorusu, bu parçacıkların hangi kaynaktan geldiği ve bu kadar yüksek enerjilere nasıl hızlandırıldığıdır (Gaisser et al. 2016). Kozmik ışınların kökeni sorusunun cevabı henüz tam olarak verilememiştir. Bununla birlikte, nispeten az miktarda Güneş kaynaklı parçacık dışında neredeyse hepsinin, Samanyolu Galaksisi merkezinden ve Aktif Galaktik Çekirdek'lerden geldiği yapılan son çalışmalardan anlaşılmaktadır (Castellina and Donato 2011).

Kozmik Işın Çalışmalarının Tarihçesi

Kozmik ışınlar iyonize radyasyon kaynaklarından biridir. Henri Becquerel 1896'da radyoaktiviteyi keşfetti. Havanın iyonlaşmasının, yalnızca yerdeki radyoaktif elementlerden veya ürettikleri radon gibi radyoaktif gaz izotoplarından kaynaklandığı düşünülüyordu. Yaklaşık 15 yıl boyunca yükseklere çıkıldıkça artan iyonlaşma oranı ölçümleri, iyonlaştırıcı radyasyonun deniz seviyesine doğru araya giren hava tarafından soğurulması ile açıklanıyordu (Allisy 1996). Theodor Wulf 1909'da hava geçirmez şekilde kapatılmış bir kap içindeki iyon üretim oranını ölçmek için elektrometre (elektroskop) adında bir cihaz geliştirdi. Elektrometreyi Eyfel Kulesi'nin tepesinde yüksek radyasyon seviyelerini ölçmek için kullandı. 1911'de Domenico Pacini, bir göl kıyısında, deniz kenarında ve yerden 3 metre yükseklikte iyonlaşma hızının eşzamanlı değişimlerini gözlemledi. Pacini, su altındaki radyoaktivitenin azalmasından, iyonlaşmanın belirli bir bölümünün Dünya'nın radyoaktivitesi dışındaki kaynaklardan gelmesi gerektiği sonucuna vardı (Angelis and Pimenta 2018).

Gerçek anlamda kozmik ışın çalışmaları ilk defa Victor Hess'in 1912'de üç adet geliştirilmiş hassas Wulf elektrometresi kullanarak gerçekleştirdiği balon deneyi ile başlamıştır. Deney sonucunda deniz seviyesinden 4-5 km yüksekte tespit edilen iyonlaşma oranının deniz seviyesindeki orandan yaklaşık üç kat olduğu görülmüştür. Hess, Güneş tutulması sırasında yaptığı ölçümlerde kozmik radyasyon oranının çok değişmediğini görünce bu radyasyonun asıl kaynağının yer ve Güneş olmadığı, Dünya'ya uzaydan geldiği sonucuna varmıştır (Dorman 2014). 1913–1914'te Werner Kolhörster, 9 km yükseklikte artan iyonlaşma entalpi oranını

ölçerek Victor Hess'in önceki sonuçlarını doğrulamıştır (Perez-Peraza 2013). Bu tarihten itibaren kozmik ışınlar parçacık ve astroparçacık fiziği alanında merkezi bir konuma yerleşmiş ve bu çalışmaların temelini oluşturmuştur.

Parçacık dünyasının kapısını araladığı için kozmik ışın çalışmaları önemlidir. Parçacık fiziğinin ilk yılları olan 1920'lerde, kozmik ışınların gözlemlenmesi, enerjik parçacıkları incelemenin tek yoluydu. Havanın iyonlaşma oranı gibi kozmik ışınların ilk ölçümleri dolaylı nitelikteydi. Elektroskop tekniği, Erich Regener ve grubu tarafından benzeri görülmemiş bir mükemmellik seviyesine getirildi. Yükseklik ve derinliğin bir fonksiyonu olarak kozmik ışın iyonizasyonunun en doğru ölçümleri yapıldı (Rossi 1964). Aynı yıllarda, havada yaklaşık 30 cm'den daha fazla menzili olduğu bilinen tek iyonlaştırıcı radyasyon gama ışını (>~100 keV enerjili elektromanyetik radyasyon) idi. Bu nedenle Robert Millikan tarafından uzaydan gelen radyasyonun gama ışınları olduğu varsayıldı ve bunlara **Kozmik Işınlar** adı verildi. Bugün incelenen kozmik ışınlar aslında ışın değil parçacık olsa da bu isim literatüre bu şekilde geçti ve hala bu şekilde kullanılmaktadır (Dorman 2014).

1927'de Skobelzyn'in öncülük ettiği kozmik ışın gözlemlerinde bulut odalarının kullanılması ile ilk defa doğrudan gözlenen ölçümler yapılmış oldu. Jacob Clay, Hollanda ve Java arasındaki seyahatleri sırasında nüfuz eden radyasyonu ölçerek yoğunluğun Ekvator yakınında daha düşük olduğunu gözlemledi. Başlangıçta bu değişimi, coğrafi enlemlere bağlı olarak atmosferik etkilere bağladı (Clay 1930). Daha sonraları O ve Arthur Compton, radyasyonun + yüklü parçacıklardan oluştuğuna dair kanıt getirerek varyasyonu jeomanyetik bir etki olarak kabul ettiler (Compton 1932). Bu sonuçlar daha sonra Compton'un jeomanyetik enlem ile yoğunluk değişimini gösteren 69 noktadaki ölçümleri ile desteklendi. Jeomanyetik alandaki yüklü parçacıkların hareketiyle ilgili teorik çalışmaları, Compton'un enlem etkisinin nicel olarak anlaşılmasına ve kozmik ışın yoğunluğunda doğu-batı asimetrisinin, yönün yükün işaretine bağlı olarak tahmin edilmesinin yolunu açtı (Israel 2012).

Kozmik radyasyonda yeni bir parçacığın ilk keşfi, Anderson tarafından yapılan Pozitron'un keşfiydi. Anderson, güçlü bir manyetik alana yerleştirilmiş bir bulut odasında (cloud chamber) bir kurşun soğurucu kullanarak enerjiyi, yükü ve aynı zamanda parçacık yörüngesinin yönünü belirledi. Bu keşiften sonra, birçok grup tarafından kozmik parçacıkların doğası ve etkileşimleri üzerine çalışmalar yapıldı. Anderson ve Hess yaptığı deneyler ile 1936 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştılar (Anderson 1933).

İlk deneylerde, tüm bulut odası görüntülerinin %2'sinden fazlası kozmik ışın izleri içermiyordu. Tetikleme için Geiger tüpleriyle çakışan bulut odalarının fotoğraflarını çekmek için kullanılabilecek hızlı elektronik devrelerin geliştirilmesi, bu verimliliği %80'e çıkardı ve

parçacık yörüngelerinin sistematik çalışmalarına izin verdi. Tetiklenmiş deneylerle gözlemlenebilen çok daha fazla sayıda yörünge, Blackett ve Occhialini tarafından e^+ e^- çift üretiminin ve Neddermeyer ve Anderson tarafından elektronun 200 katı ağırlığındaki müonların keşfine yol açtı (Neddermeyer and Anderson 1937). Başlangıçta müon, Yukawa'nın güçlü etkileşim teorisinde tahmin edilen pion olarak yanlış tanımlandı ve mezotron adı verildi.

Bulut odaları ile keşfedilen diğer parçacıklar Λ°, Ξ ve Σ baryonlarıdır. Ayrıca, birbirinden uzak mesafelere yerleştirilmiş Geiger tüplerinin çakışma oranlarının incelenmesi, yüksek irtifa deneylerinde hava duşlarının keşfine yol açmıştır. Cascade teorisindeki yorumlar, o zamanlar bazı kozmik ışınların 10^{15} eV veya daha yüksek enerjilere sahip olması gerektiğini gösteriyordu.

Kozmik ışınların araştırılmasında bir diğer önemli adım, fotoğrafik emülsiyonların kullanılmasıydı. Bugün hala bazı deneylerde kullanılan emülsiyon odaları tekniği, uzun pozlamalara izin verdi ve çok yüksek irtifalar ve uçaklar dahil olmak üzere farklı yerlerde nadir süreçlerin ölçümlerini gerçekleştirdi. Yüklü pionlar ve daha sonra kaonlar (K°, $K^{\pm}$) yüksek irtifalarda açığa çıkan emülsiyonlarda hadronik parçacıkların ürettiği yıldız benzeri izleri analiz ederken keşfedildi (Pickup and Voyvodic).

1950'lerden itibaren kozmik ışın çalışmaları yerini daha kapsamlı parçacık hızlandırıcılara bırakmıştır. 1948'de parçacık fiziği çalışmaları için inşa edilen ilk hızlandırıcı, Berkeley'deki 184 inçlik senkro-siklotron faaliyete geçti ve çok geçmeden hızlandırıcı deneylerinde yapılan keşiflerin oranı kozmik ışın araştırmalarını geçti. Hızlandırıcılardaki ilk parçacık keşifleri, nötr-pionlar ve antiprotonlardı. Bir reaktör deneyinde elektron-antinötrinoların gözlemlenmesinden sonra bozunmaların hızlandırıcı ölçümleri müon-nötrinonun tanımlanmasına yol açarak müon ve müon-nötrinosunu ikinci nesil leptonlar olarak belirledi. Bunu birçok hadron rezonansının keşfi izledi. Gell Mann ve Zweig tarafından kuark modeli içindeki bu parçacıkların yorumlanması ve kuarkların hadronların bileşenleri olarak deneysel olarak doğrulanması parçacık fiziğinin Standart Modeli'ne doğru atılan önemli adımlar olmuştur (Gaisser et al. 2016).

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) 1954'te kurulduğunda kozmik ışınları bilimsel ilgi alanları listesine dahil etmiştir. İlk güçlü hızlandırıcılarda yapılan ölçümler, kontrollü ışınlarla parçacık fiziği çalışmalarının zengin potansiyelini gösterdikten kısa bir süre sonra, kozmik ışın ve parçacık fiziği toplulukları arasında bir ayrılma süreci başlamış ve yüksek enerji fiziğinin canlı ve bağımsız bir araştırma alanı olarak kurulmasına yol açmıştır (Fernandez 2006). Yine de kozmik ışın fiziği ve parçacık fiziği birbirine sıkı sıkıya bağlıdır. Birbirlerini güçlü bir şekilde etkilerler. Bir yandan parçacık fiziği kozmik ışın etkileşimlerini anlamak ve

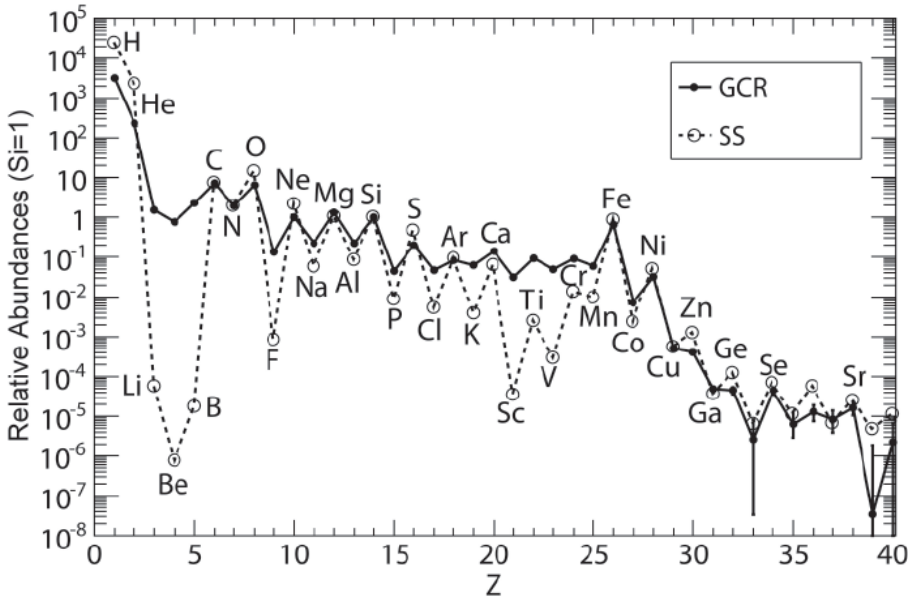
açıklamak için temel sağlarken, diğer yandan kozmik ışın gözlemleri parçacık özellikleri ve etkileşimleri hakkındaki bilgimize yeni bilgiler ekler. Bu etkileşimin yakın tarihli bir örneği, güneş ve atmosferik nötrinoların ölçümü sayesinde nötrino salınımlarının keşfidir (Fukuda et al. 1998). Hem yapay nötrino ışınları hem de atmosferdeki kozmik ışınların etkileşimi veya Güneş gibi astrofiziksel kaynaklar tarafından sağlanan nötrino akıları kullanılarak nötrinoların kütlelerini ve karışım açılarını ölçmek için birçok yeni deney kurulmuştur.

1991 yılında Amerika'da Fly's Eye Kozmik Işın Araştırma Grubu $3x10^{20}$ eV enerjili bir kozmik ışın olayı keşfetmiştir (Sigl et al. 1994). 1995'te Pierre Auger Kozmik Işın Gözlemevi Projesi başlatılmıştır. Bu gözlemevinde ultra yüksek enerjili kozmik ışınlardan oluşan çok sayıda hava duşlarını ölçen devasa düzenekler kurulmuştur (Pierre Auger Col. 2015). 2010'lu yıllarda müon tomografisi yöntemleri geliştirilmiştir. Önümüzdeki yıllarda da kozmik ışın araştırmalarının artan bir ivmeyle devam edeceği öngörülmektedir.

Kozmik Işınların Temelleri

Kozmik Işın terimi yalnızca Güneş ve Güneş Sistemi dışından gelen, $\sim 10^9$ eV'un üzerinde enerjiye sahip yüklü parçacıkları ifade eder. Bu kozmik radyasyon esas olarak proton ve alfa parçacıklarından oluşur, ancak daha ağır atom çekirdekleri, elektronlar, pozitronlar, anti-protonlar, gama ışınları ve nötrinolar da buna dahil olabilmektedir. Fakat gama ışınları ve nötrinolar birincil kozmik ışınlar olarak sayılmazlar çünkü kozmik hızlandırıcıların yalnızca yüklü parçacıkları hızlandırdığı düşünülür. Bu nedenle yüksüz parçacıklar, yüklü bir birincil kozmik ışın parçacığının ikincil bir ürünü olması gerekir. Kozmik ışınlar uzaydan gelen yüksek enerjili yüklü parçacıklardır (Schröder 2012).

Uzaydan Dünya'ya ulaşan ilk parçacıklara **Birincil Kozmik Işınlar** denilir. Bu parçacıkların yaklaşık %90'ı proton (Hidrojen çekirdekleri), %9'u alfa parçacıkları (Helyum çekirdekleri) ve geri kalan kısmı ise diğer ağır elementler ve elektronlardan oluşmaktadır. Birincil kozmik ışınların enerjileri 10^{21} eV seviyesine kadar uzanmaktadır. Yapılan ölçümlere göre üst atmosferin her metrekaresine saniyede 1000 tane kozmik parçacık ulaşmaktadır (Stanev 2010). Kozmik ışınlar proton ve alfa parçacıklarının yanı sıra Sr elementine kadar uzanan elementleri de içerir. Şekil 1, Galaktik Kozmik Işınlardaki (GCR) ve Güneş Sistemi (SS) içindeki elementlerin bolluğunu göstermektedir. Güneş'te, Güneş sisteminin katı cisimlerinde ve diğer yıldızların atmosferlerinde nadir bulunan Lityum, Berilyum ve Bor gibi elementlerin kozmik ışınlarda çok daha fazla olması, ikincil kozmik ışınları üreten yıldızlararası gaz çekirdekleriyle çarpışmalardaki daha ağır kozmik ışınlar tarafından gerçekleştirilen nükleer parçalanmanın kanıtıdır.



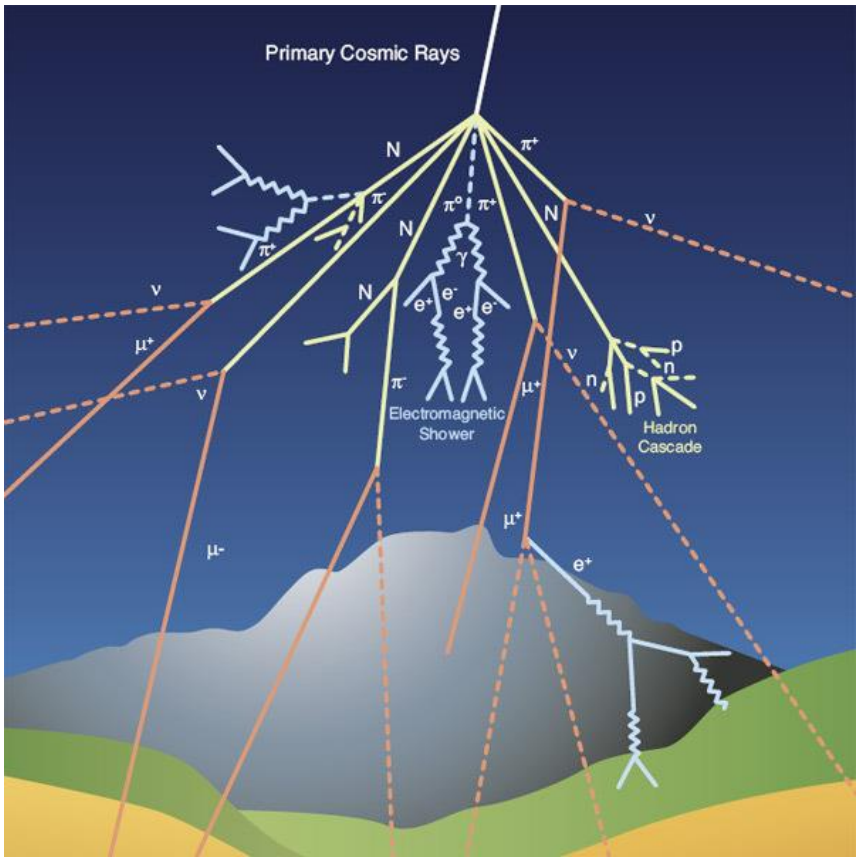
Şekil 1. Galaktik kozmik ışınlar (GCR) ve Güneş sistemindeki (SS) elementlerin bolluğu (Lodders 2003)

Kozmik ışınların izotopik bileşiminin ölçümleri, GCR'ın kaynaklarının anlaşılmasına yol açmıştır. Radyoaktif ikincil maddeler, örneğin Berilyum-10, bilim insanlarının şimdi gözlemlediği çekirdeklerin yaklaşık 15 milyon yıl önce hızlandırıldığını göstermektedir (Yanasak et al. 2001). 70.000 yıllık yarı ömre sahip, atomik elektronları yakalamada kararsız, ancak yalın bir çekirdek kadar kararlı olan Nikel-59'un eksikliği, bu ağır çekirdeklerin, bir süpernovada sentezlendikten sonra başka bir süpernovadan gelen bir patlama dalgasının onları, atomik elektronlarından sıyrıldıkları kozmik ışın enerjilerine hızlandırmasından önce, ortamdaki yıldızlararası malzeme olarak en az 100.000 yıl geçirdiğini kanıtlıyor (Wiedenbeck et al. 1999). Birincil kozmik ışınların ayrıntılı izotopik ve element bileşimi, galaksinin büyük kütleli yıldız topluluklarının bulunduğu bölgelerdeki kökenlerinin kanıtını vermektedir (Binns et al. 2005).

Yüksek enerji ve hızlarda Dünya'ya gelen birincil kozmik ışınlar, yer yüzeyinin yaklaşık olarak 30 km yukarısında, atmosferde bulunan Oksijen ve Nitrojen gibi elementlerle etkileşimi sonucu birçok farklı parçacığa bozunarak daha düşük enerjili **İkincil Kozmik Işınlar** oluşur. Kutuplara yakın bölgelerde gökyüzünde görülen özellikle yeşil renkli kutup ışıkları bu etkileşimlerin bir sonucudur. Dünya yüzeyine sağnak bir yağmur gibi dağılan (Extensive Air Shower/EAS) bu ikincil parçacıklar 20 km^2'lik bir alana kadar yayılabilirler (Hillas 2013). İkincil kozmik ışınlar deniz seviyesinden 15 km yükseklikte maksimum seviyeye ulaşırlar. Pion gibi kısa ömürlü kozmik ışınlar üst atmosferde hızlı bir şekilde müon parçacıklarına bozunurken deniz seviyesine kadar daha çok nötrinolar, müonlar, elektronlar ve yüksek enerjili fotonlar ulaşabilmektedir. İkincil kozmik ışınlar içerisinde müonların yeri çok önemlidir. Çünkü deniz

seviyesine ulaşan kozmik ışınların yaklaşık %90'ı müonlardan oluşmaktadır. Bu sebeple yer tabanlı kozmik ışın ölçünleri çoğunlukla kozmik müon ışınlarının akı ölçümüdür.

Müonlar, pionların aksine madde ile güçlü etkileşimlere girmez ve yeryüzünün derinliklerine kadar ilerleyebilirler. Müon ($\mu\pm$), bir elektronun kütlesinin yaklaşık 200 katı kütleye sahip, Leptonlar grubuna dahil, spini 1/2 ve yükü -1 olan yüklü temel parçacıktır. $\mu\pm \rightarrow e \pm \nu\bar{\nu}$ süreci aracılığıyla zayıf etkileşim yoluyla bozunurlar. Müonlar pi mezonlarının ($\pi\pm$) yani pionların bozunmasından meydana gelir. Ortalama ömürleri yaklaşık 2.2 μs'dir. Müonlar göreli hızlarda hareket ederken zaman genişlemesi de hareketlerine yardımcı olur (Griffiths 2020). Deniz seviyesindeki müonların ortalama enerjisi 4 GeV'dir ve yakalanan parçacıkların neredeyse tamamı müonlardan oluşur (Groom 2004). Şekil 2'de birincil kozmik ışınların atmosferde etkileşime girerek oluşturdukları ikincil parçacıkların hava duşları gösterilmiştir. Müonlar atmosfer ve deniz seviyesinde elementlerle elektromanyetik etkileşime girerler. MeV/c momentumuna sahip müonlar atmosferde nükleer etkileşimler ile, GeV/c momentumlu olanlar yer tabanında iyonize şekilde ve TeV/c momentumlu müonlar ise atmosferde radyatif şekilde durdurulurlar. Bu sebeple yeryüzüne ulaşan müonların çoğunluğu GeV/c momentumuna sahiptir (Workman et al. 2022).



Şekil 2. Yüksek enerjili kozmik ışınlardan gelen hava duşları (CERN 2020)

İkincil kozmik ışınların bozunma reaksiyonları ve olasılıkları Tablo 1'de sunulmuştur. Buna göre pionların neredeyse tamamı müon, müon-nötrino ve müon-antinötrinolara bozunurlar. Müonlar ise elektron, pozitron, nötrino ve antinötrinolara bozunurlar.

Tablo 1. Bazı kozmik ışınların olası bozunma reaksiyonları (Ludovici 2010; Grieder 2001)

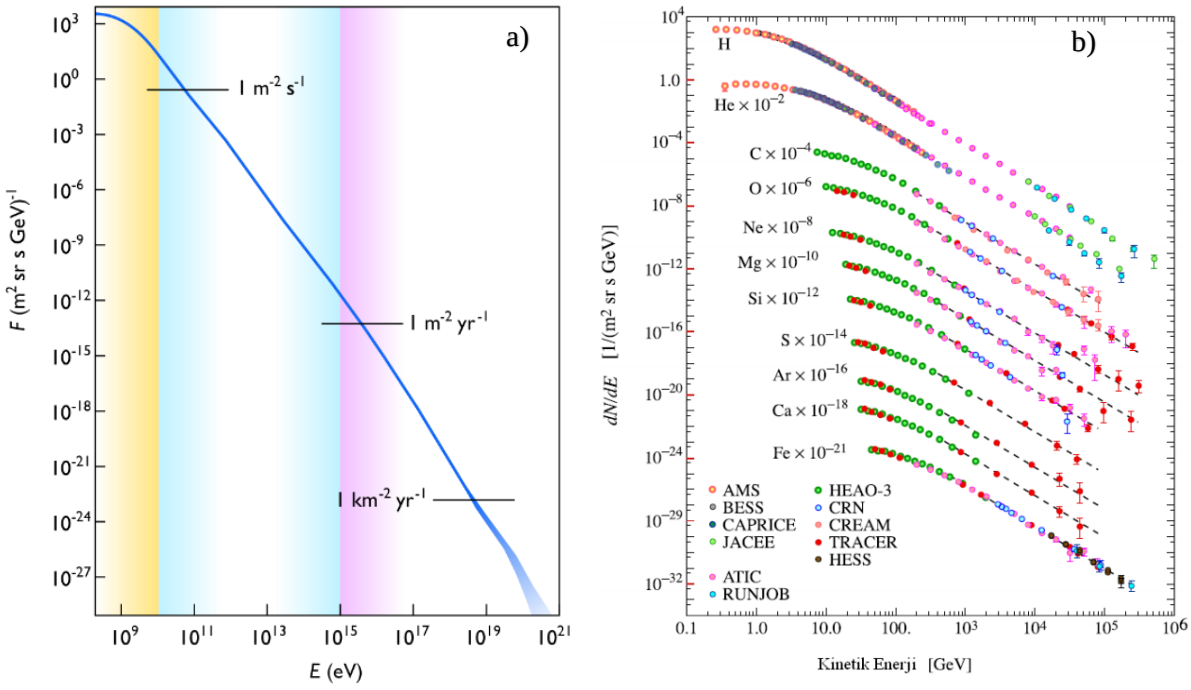
$\boldsymbol{\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \sim\%100}$	$\boldsymbol{\pi^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu_\mu} \quad \sim\%100}$	$\boldsymbol{\pi^\circ \rightarrow \gamma + \gamma \quad \sim\%98.5}$
$\boldsymbol{K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \sim\%63.5}$	$K^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu_\mu} \quad \sim\%63.5$	$K^0 \rightarrow \pi^+ + e^+ + \nu_e \quad \sim\%38.7$
$\boldsymbol{\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \overline{\nu_\mu} \quad \sim\%100}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \overline{\nu_e} + \nu_\mu \quad \sim\%100$	$K^0 \rightarrow \pi^- + e^- + \overline{\nu_e} \quad \sim\%38.7$

Kozmik Işınların Enerji Spektrumları, Manyetik Alan ve Güneş ile İlişkisi

Kozmik mikrodalga arka plan radyasyonu (CMBR) gibi 10^{-3} eV'un altındaki çok düşük enerjilerden 10^{21} eV enerjiye sahip yüklü kozmik ışınlara kadar sayısız parçacık çeşitli akı ve enerjilerde farklı radyasyon türleri Dünya atmosferine ulaşır (Linsley 1963). Kozmik ışınların enerjileri 10^9-10^{21} eV aralığındadır. Kozmik ışın akısı enerji arttıkça hızla azaldığından düşük enerjili parçacıkları ($E \leq 10^{14}\ eV$) ve yüksek enerjili parçacıkları ($E \geq 10^{14}\ eV$) tespit etmek için farklı teknikler gereklidir. Düşük enerjili kozmik ışınlar, balonlar veya uzay araçları üzerindeki parçacık dedektörleri ile doğrudan ölçülebilir. Yüksek enerjili kozmik ışınlar o kadar nadirdir ki doğrudan ölçümlerin sağlayabileceğinden daha büyük algılama alanlarına ihtiyaç duyar. Bu nedenle, kozmik ışınların neden olduğu yoğun hava duşlarının tespitine dayanan dolaylı ölçüm yöntemleri kullanılır. Hava duşları ya yerdeki parçacık dedektörleri ile ya da atmosferdeki hava duşu parçacıklarının neden olduğu elektromanyetik radyasyonun ölçülmesiyle tespit edilebilir. Zorluk, birincil kozmik ışın parçacığı özelliklerinin, yani varış yönü, enerjisi ve kütlesinin yeniden yapılandırılmasında yatmaktadır. Bilinen şu ki birincil kozmik ışınların çoğu pozitif yüklü olduğundan μ^+ oluşumu daha fazladır. Manyetik alan etkisiyle μ^+ doğuya, μ^- batıya doğru hareket ederler (Schröder 2012).

Ultra yüksek enerjili kozmik ışınların tespit edilmeleri çok geniş dedektör dizileri ve uzun poz süreleri gerektirir. Ultra yüksek enerjili kozmik ışınların çalışmasında bir dönüm noktası, New Mexico'daki Volcano Ranch'teki dizide, birincil parçacığın enerjisinin 10^{20} eV olduğu gösterilen bir hava duşunun tespiti olmuştur (Linsley 1963). Bugün, Arjantin'deki ve Utah'daki çok daha büyük dedektör dizileriyle bile, birkaç 10^{20} eV'dan daha büyük enerjiye sahip hiçbir kozmik ışın tespit edilmemiştir (Israel 2012). Bu ultra yüksek enerjili kozmik ışınların kaynağı, modern astrofizikteki en ilginç bilmecelerden biridir. Duşların başlatılmasından sorumlu olan ilk parçacıkların atmosferin üst katmanlarında 500 MeV'u aşan enerjileri olmalıdır (Bütikofer 2018). Bu, yüklü parçacıkların astronomik kaynaklardaki (supernova, aktif galaksiler…) aşırı yüksek enerjilere hızlanmasının doğrudan kanıtı olmuştur.

Çok geniş bir enerji yelpazesi olan kozmik ışın spektrumu, enerjide yıllarca süren güç yasası dağılımları ile tanımlanabilir. Şekil 3, tüm kozmik ışın spektrumuna genel bir bakış sağlamaktadır. Spektrumda 10^{15} eV'da Diz (Knee) ve 10^{18} eV'da Ayak Bileği (Ankle) bölgesi dahil olmak üzere önemli bükülme noktaları vardır. Bu isimlerin verilmesi spektrum çizgisinin bir bacağa ve bükülme noktalarının da diz ve bileğe benzetilmesinden dolayıdır. 10^{9}-10^{15} eV aralığında olan kozmik ışınlara ilk kozmik ışınlar ve bu aralıktan daha enerjili olanlara ise ultra yüksek enerjili kozmik ışınlar denilmektedir (Longair 2011). Kozmik ışın kaynaklarının neler olduğu ve bu kadar yüksek enerjilerde hızlanmasından hangi mekanizmanın sorumlu olduğu tam olarak bilinmemektedir (Blümer et al. 2009). Kozmik ışınlar kaynakları açısından genellikle üç enerji sınıfıyla sınıflandırılırlar. Güneş'ten gelenlere Solar Kozmik Işınlar (SCR), Samanyolu Galaksisi içinden gelenlere Galaktik Kozmik Işınlar (GCR) ve Samanyolu Galaksisi dışından gelen çok yüksek enerjili kozmik ışınlara da Ekstra Galaktik Kozmik Işınlar (EGCR) denir. Bu üç sınıf Şekil 3a'da sırasıyla sarı, mavi ve mor bölgede görülmektedir.



Şekil 3. Kozmik ışınların akı-enerji grafiği (Angelis and Pimenta 2018)

Şekil 3b'de Kozmik ışınlarda bulunan elementlerin enerji-akı grafiği sunulmuştur. Görüldüğü üzere H ve He en bol olan parçacıklardır. Bu spektrum, parçacıkların çekirdek başına kinetik enerjinin bir fonksiyonu olarak Proton, Helyum, Karbon, Demir ve diğer çekirdeklerinin diferansiyel enerji spektrumlarını gösterir. Çeşitli kozmik ışın türlerinin diferansiyel enerji spektrumu Denklem 1'deki güç-yasa dağılımları ile temsil edilir (Gaisser et al. 2016). Yüksek enerjilerde, enerji spektrumları kozmik ışın hava duşu verilerinden elde edilir

ve ışın türlerin tanımlanması, hava duşu verilerindeki parçacık kütlelerinin işaretiyle tahmin edilir.

$$\frac{dN}{dE_N} = 1.7 \times 10^4 (E_N/GeV)^{-x} \frac{nükleon}{m^2 s\ sr\ GeV} \quad (1)$$

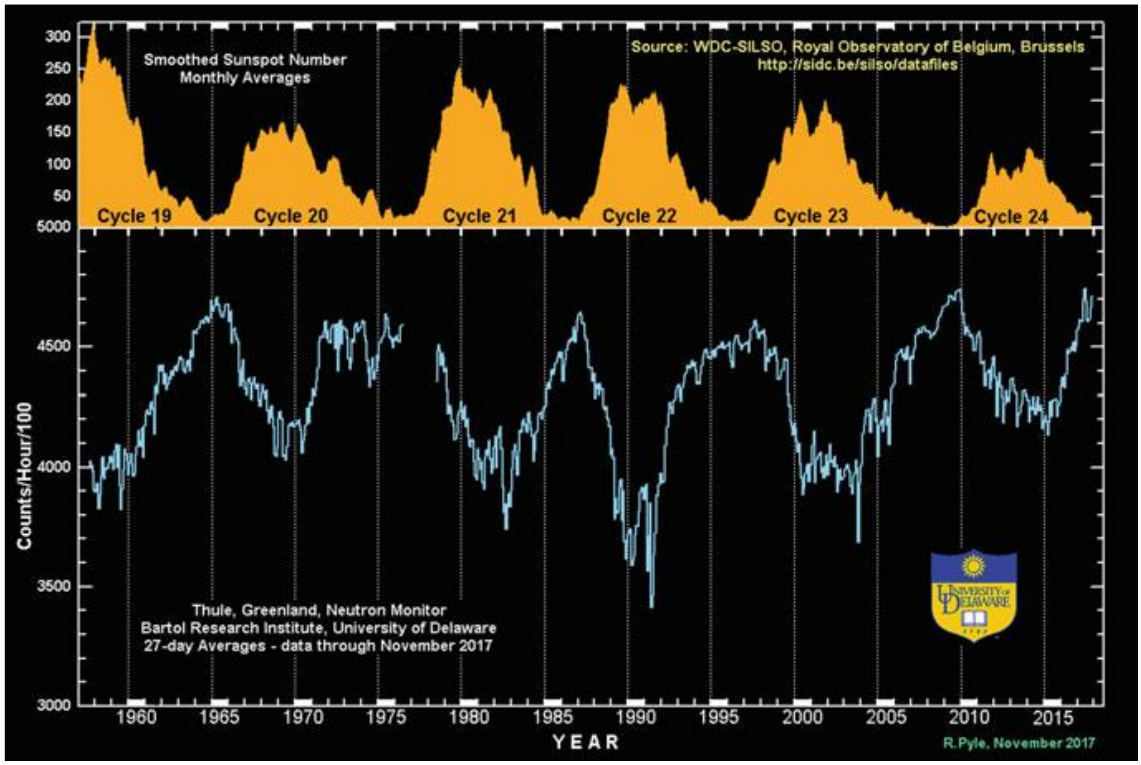
Burada E_N nükleon başına düşen enerji, N toplam parçacık sayısı ve x spektral indistir. Parçacıkların Güneş Rüzgârı yoluyla Dünya'ya yayılmasından etkilenmeyen enerji spektrumunun bölgesinde ($E \geq 10^9\ eV$), kozmik ışın parçacıklarının enerji spektrumları da Denklem 1'de x=2.5-2.7 aralığında tanımlanabilir. Bu ilişkinin, enerjileri 10^9–10^{14} eV aralığında olan protonlar, elektronlar ve çekirdekler için geçerli olduğu bulunmuştur.

Çekirdek başına yaklaşık 1 GeV'den daha düşük enerjilerde, dört türün de enerji spektrumu, yüksek enerjilerde gözlemlenen güç-yasasına göre belirgin bir kesinti göstermektedir. Kesinti enerjisi ve şekli Güneş döngüsü fazına göre değişir (Simpson 1983). Düşük enerjili parçacıkların akıları yüksek Güneş aktivitesi dönemlerinde azalır ve düşük Güneş aktivitesi döneminde maksimumda olur. **Güneş Modülasyonu** veya **Leke Çevrimi** olarak bilinen bu olay, kozmik ışın parçacıklarının Dünya'ya doğru yıldızlararası uzaydan gelen Güneş Rüzgarları yoluyla yayılmasından kaynaklanmaktadır. Güneş'in aktivitesi arttıkça gezegenler arası manyetik alandaki bozulmalar artar ve bu da çekirdek başına yaklaşık 1 GeV'den daha az enerjili olan parçacıkların Dünya'ya yayılmasına engel olur (Jokipii 1973).

Kozmik ışın akı ölçümleri manyetik alan, Güneş aktivitesi, enlem-boylam, irtifa, atmosfer ve bilinmeyen birçok etki ile değişebilmektedir (Ziegler 1996). Jeomanyetik alan düşük enerjili parçacıkların Dünya'ya ulaşmasını engellemektedir. Kutuplarda manyetik alan çizgileri Dünya'ya dik ve az olduğu için yaklaşık 1 GeV altındaki parçacıklar engellenirken, ekvatorda 15 GeV'in altındaki parçacıklar büyük oranda engellenmektedir. Kozmik ışın akısı ekvatordan kutuplara ve deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça artmaktadır (Cecchini and Sioli 2000).

Solar aktivite 11 yıllık periyotlarla artar ve azalır. Güneş leke sayısı (sunspot) solar aktivitenin seviyesini gösterir. Güneş'ten gelen elektromanyetik alan ve madde emisyonu yüksek solar aktivite boyunca artar. Bu GCR'ın Dünya'ya ulaşmasını zorlaştırır. Güneş aktivitesi yüksek iken kozmik ışın yoğunluğu düşüktür. Yani aralarında ters bir korelasyon bulunmaktadır (Grieder 2001). Şekil 4'te 1960 yılından 2017 yılına kadar ölçülen kozmik ışın ve Güneş aktivitesi arasındaki bağlantı gösterilmiştir. 2020 yılında 25. Güneş döngüsüne girişmiş olup, Güneş aktivitesi minimum düzeydedir ve buna bağlı olarak kozmik ışın yoğunluğu maksimum seviyededir (SWPC 2022). 2020 itibariyle ilerleyen yıllar boyunca güneş

lekeleri sayısı artacak yani Güneş aktivitesi artacak ve maksimum seviyede olan kozmik ışın yoğunluğu azalacaktır.



Şekil 4. Kozmik ışınlar ve solar aktivite bağlantısı (Spurio 2018).

Kozmik ışın akı değişimlerine bakarak Güneş rüzgarları, Güneş'teki koronal kütle atımları (Coronal Mass Ejection/ CME) ve Forbush Azalması (Forbush Decrease/ FD) gibi olaylar incelenebilmektedir. CME, manyetize olmuş Güneş plazmasının uzaya saçılması olayıdır. FD, CME'lerin oluşumundan hemen sonra kozmik ışın miktarında meydana gelen kısa süreli düşüş ve ardından yeniden yükseliştir (Reames 2021). CME ve FD etkileri Dünya'nın manyetik alanında değişikliklere sebep olmaktadır. Yine şiddetli Güneş rüzgarlarının Dünya'ya ulaşan kozmik ışın akısını azalttığı gözlemlenmiştir (Jothe and Shrivastava 2011; Lara et al. 2005).

Kozmik Işınların Gözlemsel Astronomide Odak Düzlemi Aygıtlarına Etkisi

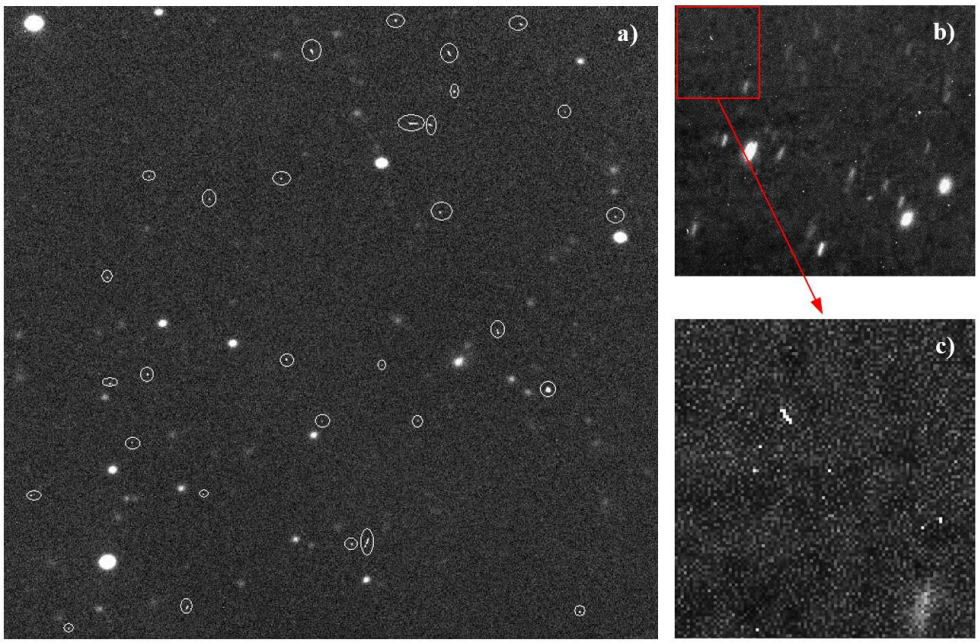
Astronomik gözlemlerde kullanılan CCD kameralar ile yıldız ve diğer gökcisimlerine ait görüntüler elde edilip analiz edilmektedir. CCD ile alınan görüntüleri bozan birtakım etkiler vardır. Bunlar CCD'nin elektronik yapısı, gürültüleri, poisson saçılması, okuma hatası ve kozmik ışınlar olabilmektedir. Bias, Flat ve Dark görüntüleri bu negatif etkileri kaldırmak için kalibrasyon yapılmak üzere alınan görüntülerdir. Kozmik ışınların CCD görüntülerini nasıl etkilediği ve bu etkilerden temizlenme yöntemleri önem taşımaktadır. Teleskoplarda son yıllarda kullanımı artan CMOS kameralar için de bu etkiler söz konusudur (Chromey 2016).

Yüksek enerjili bir parçacık CCD'ye çarptığında, enerjisini CCD çipinin atomlara aktarır. Bu atomlardan çok sayıda atom kopmasına neden olur ve görüntüde parlak bir nokta ortaya çıkmaktadır. Gelen enerjili parçacık, gerçek kozmik ışınlar veya sadece CCD'nin hemen üstündeki merceklerde bulunan bazı radyoaktif atomların bozunma ürünleri olabilir. Kozmik ışınların tanınması genellikle kolaydır, çünkü yıldız görüntülerinden çok daha keskindirler. Yani piksel kenarları çok parlak değerlere sahiptir. Oysa gerçek nesneler (yıldız, galaksi, bulutsu vd.) teleskobun nokta yayılma fonksiyonunun (PSF) karakteristik bulanıklığına sahiptir yani çok keskin kenarlı değildir. Kozmik ışınlar genellikle birkaç piksele çarpar ve çok yüksek sayım değerlerine sahiptir. Bu da onları sıradan istatistiksel dalgalanmalardan ayırır.

Photoshop gibi görüntü işleme yöntemleriyle CCD üzerindeki kozmik ışınlar temizlenebilir. Fakat bu temizleme bilimsel bir yöntem olarak kullanılmamaktadır. Görüntünün sadece görsel olarak daha temiz bir görünüme sahip olmasını sağlar. Ancak, yıldız gibi gerçek nesnelere zarar vermeden arka plandan kozmik ışın izlerini kaldırmak daha zordur. Fakat bu temizleme işlemi günümüzde yazılımlar ile mümkündür. Kozmik ışınlar CCD üzerinde zaman içinde doğrusal olarak birikmektedir. Beş dakikadan uzun poz süreli CCD görüntüleri üzerinden kozmik ışınlar mutlaka temizlenmelidir. Bu adım flat sonrası ya da herhangi bir görüntü kayması, kayıt ve birlikte ekleme vb. gibi işlemden önce yapılmalıdır (Howell 2006).

CCD kameraların en önemli kısımlarından biri tükenme bölgesi (depletion region)'dir. Gelen radyasyon/foton tarafından bu tükenme bölgesinde üretilen elektron-boşluk çiftleri ayrılır ve elektronlar depolama bölgesinde birikir. Böylece büyüklüğü aydınlatıcı radyasyonun yoğunluğunun bir fonksiyonu olan bir elektron yükü oluşur (Kitchin 2003). Tükenme bölgesinin kalınlığına göre CCD'ler ince veya kalın diye ayrılabilmektedirler. Kalın CCD'lere (>50 μm) düşen kozmik ışın izleri çizgisel, kıvrımlı (worm) ve noktasal (spot) şekilde görülebilmektedir. Noktasal ve kıvrımlı izler daha çok elektron ve alfa parçacığı iken, düz çizgiler yüksek enerjili müonlardır. CCD tükenme bölgesi kalınlığı azaldıkça bu izler gözlenemez hale gelmektedir. İnce CCD'lerle (<50 μm) kozmik ışın birkaç piksel ile etkileşim içinde olur ve genellikle noktasal ve çizgisel izler görülür. Kozmik ışın izleri elektronik gürültü, sıcaklık, basınç, ortamdaki materyaller gibi farklı etkenlerle değişebilmektedir. CCD önüne konulan 5 cm'lik kurşun plakaların kozmik izlerini ~%65±15 oranında düşürdüğü gözlemlenmiştir (Groom 2004).

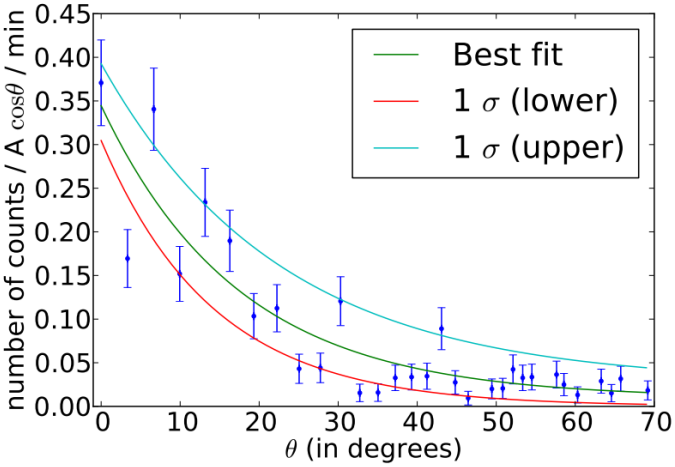
Bazı ileri teknoloji CCD'lerin ölçeği (yay saniye veya piksel) oldukça büyüktür. Bu CCD'lerde bir yıldız görüntüsü bir çift pikseli kapsayabilir ve görüntü bir kozmik ışına benzeyecektir. Bu durumda, tüm görüntülerin bir medyanını hesaplayıp kozmik ışınları gidermek için aynı görüş alanının birkaç görüntüsünü almak gerekir (Hainaut 1996).



Şekil 5. CCD'deki kozmik ışınlar (Gary 2006; Hainaut 1996)

Şekil 5a'da bol miktarda kozmik ışına maruz kalmış bir CCD görüntüsü örneği verilmiştir. Kozmik ışınlar kutucuk içerisine alınmıştır. Şekil 5b'de görüldüğü gibi kozmik ışınlar daha pürüzsüz, keskin şekillere ve sıcak piksellere sahiptir. Şekil 5c kozmik ışınları daha net görebilmek için büyütülmüş bir ham CCD görüntüsüdür.

CCD kameralar ile elde edilen kozmik ışın akıları literatürde genellikle (parçacık/ cm^2 dk) birimiyle sunulmaktadır. Kozmik ışınların büyük çoğunluğu dik açıyla geldiği için Şekil 6'da görüldüğü gibi dedektörün yüzey açısı zenitten uzaklaştıkça müon akısı parabolik azalma göstermektedir



Şekil 6. CCD üzerindeki kozmik ışın sayısının açısal dağılımı (Bremer and Nobels 2015).

CCD kameraların yanı sıra cep telefonu gibi mobil ve ticari cihazlarda kullanılan CMOS alıcıları kullanılarak oluşturulan birçok uluslararası proje vardır. Dünya'nın dört bir yanındaki

kullanıcıların cep telefonlarına yükledikleri uygulamalar ile yakalanan kozmik ışınlar ilgili projenin veri deposuna kaydedilir. Böylece uluslararası bir kozmik ışın istasyonu kurulmuş olmaktadır. Bu projelere şunlar örnek gösterilebilir: Distributed Electronic Cosmic-Ray Observatory (DECO), Cosmic Rays Found in Smartphones (CRAYFIS), Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory (CREDO) and Cosmic Ray Finder (CRF). Telefonun kamerasına çarpan kozmik parçacık ışıldama meydana getirerek bir iz bırakır ve kaydedilir. Kaydedilen parçacık bir bilgi kartına sahiptir. Kaydedilen parçacığın zaman, sıcaklık, koordinat, manyetik alan, basınç vb. bilgileri de kaydedilir (Parkerson 2018; Voronin 2022). Yazılımlar sayesinde genelde üç şekilde parçacık gözlenmektedir. Düz çizgi şeklindeki müonlar, kıvrımlı (solucan) izler elektronlar ve çoğunlukla nokta şeklindeki alfa parçacıkları ya da düşük enerjili elektronlar (Meehan 2015). Bu yeni yazılım projeleri, kozmik ışınların çok basit şekilde tespit edilmesine ve bilimsel merakı olan vatandaşların da bilimsel veri üretmesine katkı sağlamaktadır.

Kozmik Işınların Tespit Yöntemleri

Günümüzde halen kullanılan, kozmik ışınları saptamada önemli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar arasında en bilinenleri şöyle sıralanabilir: Yüksek İrtifa Balonları, Kabarcık ve Bulut odaları, Azot Uyarımı Yöntemi, Cherenkov Teleskopları, Yoğun Hava Duşu dizileri, Sintilasyon Detektörleri ve CCD-CMOS sensörler.

Yüksek irtifa balonları, içerisinde bulunan elektroskop türü cihazlar ile yükseklere çıkıldıkça artan iyonizasyonu ölçmektedir. En eski yöntemlerden biridir. 20. yüzyılın başlarından itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Makhmutov et al. 2016).

Kabarcık ve bulut odaları ile azot uyarımlı sistemlerde gelen parçacık gözle görülebilir hale getirilir ve parçacığın yönü tespit edilebilir. Düşük maliyetli ve eski yöntemlerdir. Laboratuvarlarda bilimsel etkinlikler için kullanılabilmektedir.

Cherenkov Teleskopları 200 GeV'den daha düşük enerjili kozmik parçacıkları tespit eder. Çerenkov ışıması ya da Çerenkov radyasyonu elektrik yüklü bir parçacığın (elektron gibi) bir yalıtkan içerisinde bulunduğu ortamdaki ışık hızından daha büyük bir sabit hızda geçerken ortaya çıkan bir elektromanyetik ışımadır. Bu sistemlerde hava ve su ortamları kullanılarak parçacığın ortamdaki hızdan daha yüksek bir hızda ilerlemesiyle gama ışınları yayınlanır. Bu teleskoplar, arka plan ışınımı ile kozmik ışın kaynağının ayırt edilmesinde son derece etkilidir (LeBohec and Holder 2003).

Yoğun Hava Duşu Dizileri (Extensive Air Shower/EAS) daha maliyetli ve kapsamlı deney düzenekleridir. EAS, içerisinden geçen yüklü parçacıkları ölçerek çalışmaktadır. EAS

dizileri, Hava Cherenkov Teleskoplarına kıyasla çok daha yüksek enerjili kozmik ışınları ölçer ve gökyüzünün geniş bir alanını gözlemleyebilir. Zamanın yaklaşık % 90'ı aktif olabilirler. Buna karşın, arka plan etkilerini kozmik ışınlardan ayırma gücü Hava Cherenkov Teleskoplarına göre daha azdır. EAS dizilerinde parçacıkları algılamak için plastik sintilatör kullanılır. Bu bağlamda kapsamlı bir sintilatör sayacı görevi görürler (Kampert and Watson 2012).

Bu tez kapsamında kullanılan ve en yaygın kozmik ışın ölçme yöntemleri ise sintilasyon dedektörü ve CCD kameralar ile kozmik ışın ölçümleridir. Bu sistemler nispeten daha ucuz, yapılabilir ve birçok üniversitede uygulanabilir cihazlardan oluşmaktadır. Sintilasyon sayaçları organik veya inorganik sintilatörler ve fotoçoğaltıcı sensörler kullanmak suretiyle gelen parçacığın oluşturduğu ışığın çoğaltılması ve sinyal haline getirilip kaydedilmesine dayanır (Roy et al. 2019). CCD ve CMOS gibi sensörler ise yüksek enerjili kozmik ışınların kamera üzerinde bıraktığı aşırı parlak pikseller birer iz öbekleri şeklinde sayılmaktadır. Bu tez kapsamında plastik sintilatörlü bir sintilasyon dedektörü tasarlanmış ve bir CCD kamera kullanılarak kozmik müon ışınları tespit edilmiştir.

Kozmik Işın Dedektörlerine Sahip Gözlemevleri

Dünya'da kozmik ışın detektörlerine sahip birçok gözlemevi bulunmaktadır. Bazı örnekler Arjantin'deki Pierre Auger Gözlemevi, Çin'deki Tibet AS+MD Gözlemevi ve Antarktika'daki IceCube Neutrino Gözlemevi'dir. Bu gözlemevleri, kozmik ışınları ölçmek ve bu yüksek enerjili parçacıkların özelliklerini incelemek için özel dedektörler kullanır.

Pierre Auger Gözlemevi, Arjantin'de bulunan ve kozmik ışınların özelliklerini incelemek için bir dizi kozmik ışın detektörü kullanan büyük ölçekli bir deneydir. Dedektörler 3.000 km^2'den daha büyük bir alana yayılmıştır ve kozmik ışınların yönünü, enerjisini ve varış zamanını yüksek hassasiyetle ölçebilmektedir (Abraham et al. 2004).

Tibet AS+MD Gözlemevi, Çin'deki Tibet Platosu'nda 5.000 metreden daha yüksek bir rakımda yer almaktadır. Bu gözlemevi, kozmik ışınların geliş yönünü ve enerjisini ve bunların müon içeriğini ölçmek için bir dizi dedektör kullanır. Sahadaki yüksek rakım ve düşük atmosferik basınç, onu kozmik ışınları tespit etmek için ideal bir yer haline getirmektedir (Tibet 2021).

IceCube Nötrino Gözlemevi, Antarktika'daki Güney Kutbu'nda bulunan benzersiz bir deneydir. Bu gözlemevi, kozmik ışın parçacıklarının buzla etkileşimini algılamak için buza gömülü çok sayıda dedektör kullanır. Dedektörler, parçacıkların yönünü ve enerjisini ve ayrıca türlerini (elektron, müon veya tau nötrinoları olup olmadıklarını) ölçebilir. Bu, araştırmacıların

kozmik ışınların özelliklerini ve bunların Dünya atmosferi ile etkileşimlerini incelemelerine yardımcı olmaktadır (Aartsen et al. 2017).

Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System (VERITAS), kozmik ışın dedektörlerine sahip başka bir gözlemevidir. ABD'nin Arizona eyaletindeki Fred Lawrence Whipple Gözlemevi'nde bulunuyor. VERITAS, yüksek enerjili gama ışınlarını ve kozmik ışınları algılamak için atmosferik Cherenkov radyasyonunu görüntüleme tekniğini kullanan dört adet 12 metrelik teleskop dizisidir. Teleskoplar, birkaç on GeV'den 30 TeV'e kadar değişen enerjilere sahip gama ışınlarını ve kozmik ışınları tespit edebiliyor. Bu, araştırmacıların evrendeki en enerjik parçacıkların bazılarının özelliklerini incelemelerine olanak tanır (Weekes et al. 2002).

Büyük gözlemevlerinde astroparçacık çalışmaları ve astrofiziksel yapılarla bağlantıları incelemek amacıyla kozmik ışın detektörleri bulunmaktadır. DAG Teleskobu ülkemizin en büyük ve en kapsamlı sistemleri içeren bir gözlemevi projesidir. DAG yerleşkesinin yüksek rakımı (3170 m), düşük nem ve sıcaklık ortalaması nedeniyle önemli bir gözlem noktasıdır. Güneş, süpernova, nova ve diğer gök sistemleri ile kozmik ışınlar arasındaki bağlantıların araştırılması amacıyla DAG yerleşkesinde kozmik müon ışınları dedektör sistemleri kurulmuştur. Daha gelişmiş ve farklı kozmik ışın ölçüm sistemlerinin kurulması planlanmaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasının amacı yüksek bir irtifada kurulan ve büyük bir gözlemevi olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) yerleşkesinde (3170 m) kozmik ışın dedektörü ile kozmik ışınların uçuş süresini hesaplayarak akılarını ölçmek, farklı noktalarda ve farklı açılarla ölçümler yaparak kozmik ışın akı haritası çıkarmak ve literatürdeki ölçümlerle karşılaştırma yapmaktır. Bunun dışında teleskoplarda kullanılan CCD kameralara düşen kozmik müon ışınlarının izlerini incelemek ve kozmik parçacıkların odak düzlemi aygıtlarına nasıl etki ettiğini incelemektir. Uzun süreli alınacak veriler ile Güneş, Süpernova, Nova ve benzeri astrofiziksel olaylarla bağlantı kurulabilecektir.

Materyal

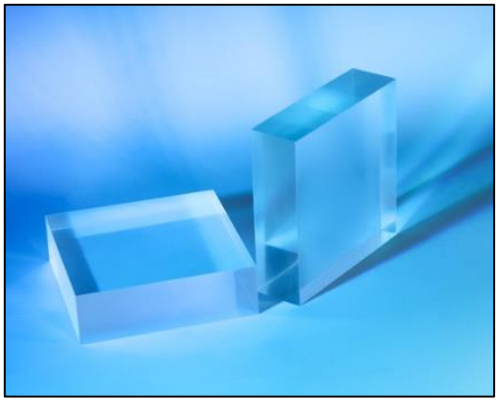
Bu tez kapsamında kozmik ışınların tespit edilmesi için iki farklı sistem kullanılmıştır. Birincisi plastik sintilatör ve fotoçoğaltıcı tüp ile tasarladığımız kozmik ışın müon detektörüdür. İkincisi, teleskoplarda kullanılan bir CCD kameradır. Materyaller hakkında gelen bilgiler ve teknik özellikler aşağıda sunulmuştur.

Plastik Sintilatör

Sintilatörler, iyonlaştırıcı bir radyasyonla uyarıldıklarında luminesens özelliğinden ötürü parıltı meydana getiren optik malzemelerdir. Sintilasyon dedektörü/sayacı, bir fotoçoğaltıcı tüp (PMT) sintilatöre bağlanarak oluşturulur. Sintilatöre çarpan bir parçacık enerjisini malzemeye aktarır ve emilen enerji ışık şeklinde yeniden yayınlanarak PMT'lere ulaşır. PMT'de fotoelektrik etki yoluyla kopartılan fotoelektronlar çoğaltılır ve sinyal okuma cihazına gönderilerek radyasyon ölçümü yapılır. Sintilatörlerin organik ve inorganik, olmak üzere iki türü vardır. CsI(TI) ve NaI(TI) inorganik sintilatörlere örnektir (Horrocks 2012). Organik sintilatörlere sıvı ve plastik sintilatörler örnek gösterilebilir (Zaitseva et al. 2018). Bu tez çalışmasında kullandığımız sintilatörler plastik sintilatörlerdir.

Kullanılan sintilatörler, EJ212 ve BC408'e eşdeğer SP101 kodlu Shalomeo EO tarafından polistrenden üretilmiş yüksek titreşim gücüne ve nem direncine sahiptir (Şekil 7). Yoğunluğu 1.02 g/cm^3 ve kırılma indisi 1.58 olan bir optik malzemedir. Bozunma ömrü (decay time) 2.4 ns'dir. Erime sıcaklığı 75 °C ve çalışma aralığı -40 °C ile 55 °C'dir. Maksimum ışık emisyonunun dalgaboyu 423 nm'dir. Gama ışınlarının tespiti için NaI(Tl) dedektöründe fotoelektron verimi %20 – 30 civarındadır. Bu sintilatör kozmik ışın ölçümleri dışında izotop ölçümü, araç radyasyon tespiti, çevresel radyasyon izleme ve anti-compton dedektörü çalışmalarında da kullanılmaktadır (Shalomeo 2022). Çalışmamızda 20.0×20.0×1.5 cm ve

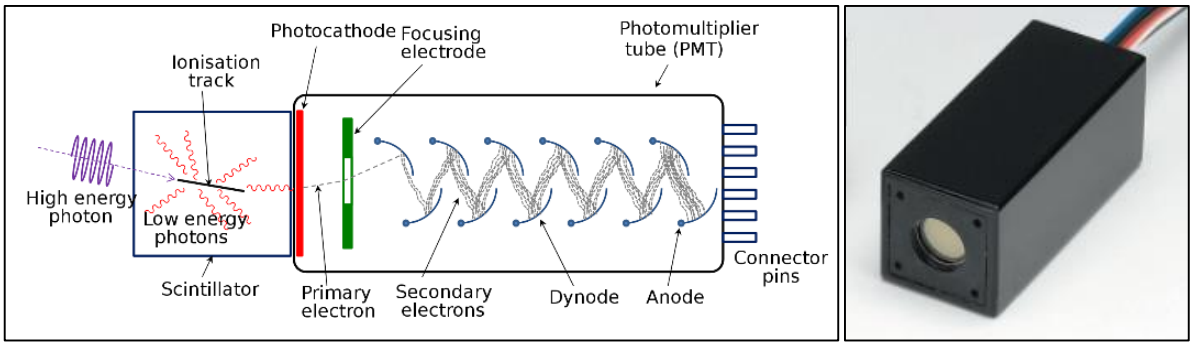
5.0×5.0×1.5 cm ebatlarında sintilatörlerle mini ve orta büyüklükte iki dedektör sistemi kurulmuştur.



Şekil 7. SP101 Plastik sintilatör (Shalomeo 2022)

Fotoçoğaltıcı Sensörler

Fotoçoğaltıcı tüp/sensör (PMT) elektromanyetik spektrumun ultraviyole, görünür ve yakın kızılötesi aralıklarında ışığı son derece hassas ölçen ışık dedektörleridir. Bu dedektörlerde, gelen fotonlar fotokatotlara çarparak elektron kopartırlar. Bunlara fotoelektron denilir. Fotoelektonlar dinotlarda yaklaşık 10^8 defa çoğaltılarak anoda gönderilir ve ölçülebilir elektrik sinyallerine dönüşürler. Dinotlar yüksek kazanç, düşük gürültü, yüksek frekans-hız yanıtı ve geniş toplama alanının kombinasyonuna sahiptir. Nükleer, parçacık fiziği ve astrofizik çalışmalarında sintilatörler ile birlikte kullanılmaktadır (Lubsandorzhiev 2006). Şekil 8'de PMT iç yapısı ve deneyde kullanılan PMT görülmektedir.



Şekil 8. PMT'nin iç yapısı ve deney sisteminde kullanılan Hamamatsu PMT (Qwerty 2022; Hamamatsu 2022)

Çalışmada kullanılan Hamamatsu H10721 serisi, metal paket PMT ve yüksek voltajlı güç kaynağı devresi içeren fotosensör modülleridir. Dâhili PMT, yarı iletken fotodetektörler için kullanılan TO-8 metal paketi ile aynı çapta metalik bir paket kullanır. Neredeyse fotodiyotlara eşit olan küçük boyuta rağmen, bu PMT yüksek kazanç, geniş dinamik aralık ve yüksek hızlı tepki sağlar. Hamamatsu ayrıca foton sayımı ölçümü için seçilen düşük karanlık

sayım ile “P” tipi sağlar. H10721 esnek kablo çıkış tipine sahiptir. Temel Özellikler: 8 mm çaplı Fotokatot Alanı. Dalgaboyu (Kısa-Uzun-Pik Noktası): 230 nm-700 nm-400 nm. Boyutlar: 50.0 x 22.0 x 22.0 mm. Giriş Gerilimi: +2.8 to +5.5 V. Max. Akım (Giriş-Çıkış): 2.7 mA to 100 µA. Işık Hassasiyeti Min. (Katot-Anot): 80 µA/lm to 80 A/lm. Çalışma Ortam Sıcaklığı: +5 to +50 °C. Ağırlık: 80 g (Hamamatsu 2022).

Sinyal Okuma Kartı (DRS4)

DRS4 Evaluation Board ver. 5.1 (Domino Ring Sampler) fotoçoğaltıcıdan gelen voltaj sinyallerini okuyarak dijital rakamlara dönüştüren okuma kartıdır. İsviçre Paul Scherrer Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Sinyallerin kaydedilmesi ve işlenmesi için DRS4’ün son versiyonu kullanılmıştır. Cihaz 4 kanallıdır. Sinyal oluşumu için FPGA, DAC ve ADC yongalarına sahiptir. Maksimum voltaj girişi + 2.8 V ile - 0.5 V aralığındadır. USB kablo ile bilgisayara bağlanır. 20 MB üzerinde veri transferi sağlayabilir. DRS Osc arayüzlü programı Windows, Linux ve Raspberry Pi de kullanılabilir (Radec 2022). DRS4 cihazı Şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 9. DRS4 Evaluation Board ver. 5.1’in ön, arka ve içten görünümü (Radec 2022)

CCD Kamera

CCD (Charge-Coupled Device), bir dizi bağlantılı veya birleştirilmiş kapasitör içeren entegre bir devredir. Harici bir devrenin kontrolü altında, her kondansatör elektrik yükünü komşu bir kondansatöre aktarabilir. CCD sensörleri, dijital görüntülemede kullanılan önemli bir teknolojidir. Bir CCD görüntü sensöründe pikseller, p katkılı metal oksit yarı iletken (MOS) kapasitörleri ile temsil edilir. Bir CCD’nin temel yapı taşları olan MOS kapasitörleri, görüntü toplamaya başladığında, gelen fotonların yarı iletken-oksit arayüzünde elektron yüklerine dönüştürülmesine izin vererek, ters çevirme eşiğinin üzerinde eğilimlidir. CCD daha sonra bu yükleri okumak için kullanılır. CCD sensörleri, yüksek kaliteli görüntü verilerinin gerekli olduğu profesyonel, tıbbi ve bilimsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. CCD’nin yüksek kuantum verimliliği, çıktılarının doğrusallığı, fotoğraf plakalarına kıyasla kullanım kolaylığı ve diğer çeşitli nedenlerden dolayı, CCD’ler astronomide neredeyse tüm UV-

kızılötesi uygulamaları için çok hızlı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Daha yeni Skipper CCD'ler ile hassas ışıkta Karanlık Madde araştırmaları ve nötrino ölçüm uygulamaları yapılabilmektedir (Aguilar et al. 2019). Günümüzde, bilimsel teleskopların tamamında CCD veya CMOS kameralar kullanılmaktadır. Tezin ikinci kısmında bilimsel gözlem verileri ATA50 Teleskobu'nda kullanılan, Şekil 10'da gösterilen CCD kamera ile elde edilmiştir. Kameranın teknik özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur (Tezcan vd. 2021).



Şekil 10. Apogee Alta U230 CCD kamera (Apogee 2011)

Tablo 2. ATA50 Teleskobu'nda kullanılan CCD kameranın teknik özellikleri

Kamera	Apogee Alta U230
Piksel Sayısı	2048 x 2048
Piksel Boyutu	15 mikron x 15 mikron
Çip Boyutu	30.7 mm x 30.7 mm
Soğutma	Ayarlanabilir şekilde ortam sıcaklığının 60°C derece altına fanlı soğutma
Yazılım	MaxIm DL
En Yüksek Kuantum Etkinliği	%96 (720 nm için)
Poz Süresi	30 ms – 183 dk
Kara Akım	0.04 e-/piksel/sn (minimum sıcaklıkta)
Gain	2.48
Read Noise	11.82

Yöntem

Tezin Çalışma Takvimi ve Süreçler

Haziran 2019'da doktora yeterlilik sınavı sonrasında doktora tez önerisi verilmiştir. Tez konusu belirlendikten sonra kapsamlı bir literatür taraması yapılarak gerekli materyaller ve kullanılacak programlar tespit edilmiştir. Ocak 2020 itibariyle TÜBİTAK, BAP ve DAG projeleri sunulmuştur. Projelerin kabulü uzun süre almıştır. Deneysel çalışma tabanlı ve deney sisteminin sıfırdan kurulmasını gerektiren doktora çalışmalarda bu tür olumsuzluklar göz önüne alınmalıdır.

Ocak 2022 itibariyle dedektör sisteminin ilk materyalleri olan plastik sintilatörler (2 adet 20x20 ve 2 adet 5x5), DRS4 Sinyal Okuma Cihazı ve PMT'ler (2 adet) temin edilebilmiştir. Materyaller hızlıca birleştirilmiş test ölçümleri yapılmıştır. İlk ölçümler ATASAM binasında gerçekleştirilmiştir. Fotoçoğaltıcı'ların -5°C altında çalışmamasından ötürü açık alanda değil kapalı ortamda ölçümler yapılmıştır.

İlk kurulan dedektörde 5x5 sintilatörler kullanılmıştır. Böylece rahatça taşınabilmesi amaçlanmıştır. Dedektör, Şubat 2022'de Dr. Onur Şatır tarafından Kutup Araştırmaları kapsamındaki TÜBİTAK projesi ile Antarktika'ya götürülmüş ve 16 gün veri alınmıştır. Antarktika dönüşü dedektör ile ATA50 ve DAG yerleşkesinde ölçümler yapılmıştır.

Haziran 2022'de sonuçlanan diğer projeler ile iki adet PMT ve 1 adet daha DRS4 cihazı temin edilmiştir. Böylece 20x20 cm'lik sintilatörlerle de ikinci dedektör kullanılır hale getirilmiştir. Yine bu tür projelerde yedek malzemelerin olması büyük önem arz etmektedir. Herhangi bir materyalde meydana gelebilecek bir arıza çalışmaları sekteye uğratacaktır.

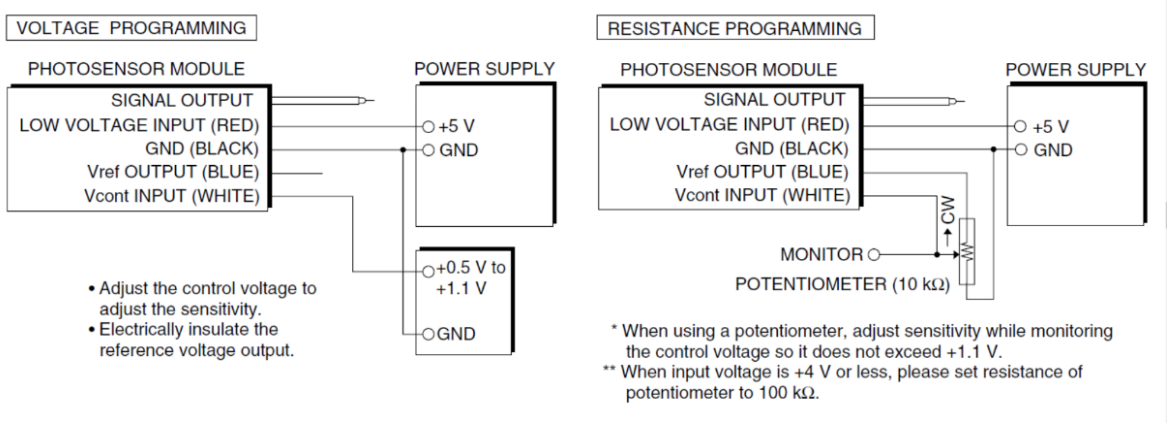
Mayıs 2022 itibariyle DAG yerleşkesinde düzenli ölçümler devam etmektedir. Mini dedektör ile Mersin'de deniz seviyesinde 11 gün ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümün amacı Antarktika gibi deniz seviyesinde olan fakat farklı enlemdeki bir nokta ile karşılaştırma yapmaktır. Daha sonra mini dedektör ATA50 Teleskobu binası içinde düzenli veri alınması için yerleştirilmiştir. Tezde uzun süreli veri olmamasının nedeni yukarıda bahsedilen deney sistemlerinin kurulum sürecindeki gecikmelerdir.

Tez çalışmamızın önemli sayılacak bir çıktısı ulusal ve uluslararası ikili iş birliklerine kapı aralamış olmasıdır. İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde kurulmuş olan, en az bir müon (kozmik parçacık) dedektörü ve bir radyo anteninden oluşan "İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uzay Havası Gözlem Sistemi"nin, Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) bünyesindeki Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) yerleşkesinde kurulması, işletilmesi ve bu kapsamda yapılacak

Taraflar'ın ortak bilimsel çalışmalarını (kozmik ışınlar veya parçacıklar, uzay havası gibi) kapsamakta olan bir protokol imza aşamasındadır (Dağ vd. 2022). Ayrıca TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM), Kutup Araştırma Enstitüsü (KARE) üzerinden verilen yeni projeler ile kozmik ışın dedektörü daha uzun süreli ölçüm yapmak için yeniden Antarktika'ya gönderilecektir.

Kozmik Işın Dedektör Sisteminin Kurulumu

Detektörlerin tasarımı ve kullanımı için 25.0×28.0×4.0 cm ve 7.0×12.0×5.0 cm ebatlarında ışık geçirmemesi için siyah elektronik devre kutuları temin edilmiştir. Çünkü PMT ışığa yüksek oranda duyarlıdır. Öncelikle 20.0×20.0×1.5 cm ve 5.0×5.0×1.5 cm ebatlarındaki plastik sintilatörler alüminyum folyo ile kaplanıp etrafı siyah elektrik bandı ile sarılmıştır. Sadece fotoçogaltıcı sensörün yerleştirileceği boş bir alan bırakılmıştır. Gelen parçacığın oluşturduğu ışıldamanın dışarı kaçmaması için bu işlemin yapılması gerekmektedir (Wang et al. 2020). Sintilatör dedektör kutusuna sarsılmayacak ve kaymayacak şekilde yerleştirilmiştir. PMT, sintilatörün 1.5 cm kalınlıktaki ara kesitinde açık bırakılan bölgeye yerleştirilmiştir. Işık kaybının azaltılması için PMT ve sintilatör arasına optik jel (vazelin) sürülmüştür. PMT'nin bağlantı noktaları Şekil 11'te gösterilmiştir. Dedektör kutusunda BNC sinyal çıkısı, DC 5 V girişi, 10 Kohm'luk potansiyometre girişi, iç voltajı ayarlamak için monitör ve toprak (GND) giriş soketleri tasarlanmıştır. Toplamda iki büyük iki küçük dedektör kutusu elde edilmiştir. DAG yerleşkesinde büyük boyutlu sintilatörlü dedektör sürekli olarak veri almaktadır. ATA50 Teleskobu, Mersin ve Antarktika'da daha kolay taşınabilmesi nedeniyle küçük boyutlu dedektör kullanılmıştır.



Şekil 11. Hamamatsu H10721 PMT'nin bağlantı kablolarının şeması (Hamamatsu 2022)

İki farklı ebatta tasarlanan 4 adet dedektör kutusu Şekil 12'de görüldüğü gibi bir kule (tower) platformunda altlı üstlü olarak aralarında belirlenen bir mesafe (d) ile yerleştirilmiştir. Detektörlerin sinyal çıkışları ile DRS4'ün kanalları arasında bağlantı kurulmuştur. Üstteki dedektör Kanal 1'e alttaki dedektör Kanal 2'ye BNC-SMA kablosu ile bağlanmıştır.

Deney sistemi temelde sintilasyon sayacı ölçümüne dayanmaktadır. Sintilatörlü sayaçlar gelen parçacıkları ayırt edemezler, sadece yüklü parçacıklar geçtiğinde ışık oluştururlar. Sintilatörü uyarabilecek her türlü parçacık ölçülebilir. Deniz seviyesine kadar inebilen parçacıklar genelde müonlar olduğu için %90'dan fazla oranda kozmik müon ışınları ölçümü gerçekleştirilir (Groom 2004). Bunun yanında çok fazla olmasa da elektron, radon, gama vb. parçacıklar da geçmektedir. Diğer taraftan sintilatörün önüne kurşun ve benzeri materyaller yerleştirilerek elektron ile müon ayrımı yapılabilmektedir. Elektronların materyalde soğrulmasının sağlanmasıyla sadece müonlar ölçülebilmektedir (Iori et al. 2012).



Şekil 12. a) Plastik Sintilatörler, DRS4 ve PMT'lerden oluşan dedektör parçaları, b) 5x5 cm sintilatörlü ve c) 20x20 cm sintilatörler ile kurulan kozmik ışın müon dedektör sistemi

İki tane sintilatörü üst üste koyarak kozmik ışın akı ve uçuş süresi (Time of Flight/TOF) ölçülebilir. Bu sistemlerde enerji ölçümü önemsenmemektedir, çünkü müonlar çok hızlı hareket ettiklerinden genelde bütün sintilatörlerde aynı oranda enerji bırakmaktadırlar. Bazı kalibrasyonlarla enerji ölçülebilmektedir. Enerji ölçümü bu tez kapsamının dışındadır.

Ölçüm Yapılan Lokasyonlar

Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi

Ölçümlerin esas merkezi DAG yerleşkesidir. Atatürk Üniversitesi bünyesinde hayata geçirilmekte olan gözlemevi, 4 metre ayna çapıyla Türkiye'nin en büyük, en kapsamlı ve ilk kırmızı ötesi teleskobu olacaktır. Kırmızı öte ve optik alanda gözlem yapabilecek özelliklere sahip olmasının yanı sıra meteorolojik ve atmosferik birçok sistemi bünyesinde barındırmaktadır. Erzurum Karakaya Tepelerinde, 39°46′50.5″N 41°13′35.5″E koordinatlarında, 3170 metre rakımdaki gözlemevi 2012 yılında inşa edilmeye başlanmıştır (Yeşilyaprak 2020). Teleskobun testleri Lecco, İtalya'da yapılmıştır. Ayna kaplama işlemi ise Rusya'da tamamlanarak teleskop ve aynalar gözlemevine ulaşmıştır. Gözlemevindeki son çalışmalar 2022 yılında tamamlanarak 2023'de ilk ışığın alınması beklenmektedir. Gözlemevi yerleşkesinde kozmik ışın dedektör sistemi dışında meteorolojik istasyonlar da kurulmuştur (Yeşilyaprak et al. 2022). Kozmik ışın dedektörü de DAG'da sürekli akı ölçümü yapacak bir sistem olarak tasarlanmıştır. Şekil 13'te gözlemevi binasının son hali görülmektedir.



Şekil 13. Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi (Atasam 2022)

Atatürk Üniversitesi, ATA50 Teleskop Binası

ATA50 Teleskobu 2012 yılında, Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) bünyesinde kurulmuştur. 50 cm'lik birincil ayna çapı ile Türkiye'deki teleskoplar içinde 5. sırada bulunmaktadır. Teleskop binasının bulunduğu coğrafi koordinatlar 39° 54' 17" N, 41° 14' 40" E, 1855 metredir. Teleskop, 4 metrelik odak uzunluğu

ile geniş bir görüş alanı sağlamaktadır (Tezcan vd. 2021). Odak düzleminde CCD ve CMOS kameralar kullanılmaktadır. Bu kameralar ile geniş alanlarda çok hassas ışık ölçümleri yapılabilmektedir. ATA50 Teleskobu binasında hem kozmik ışın müon dedektörü ile hem de CCD kamera ile kozmik müon ölçümü yapılmıştır.

Antarktika

Antarktika'daki ölçümler 67°51'29.2"S, 67°12'27.6"W, 0 m koordinatında bulunan Horseshoe Adası'nda 10-25 Şubat 2022 tarihleri arasında Dr. Onur Şatır tarafından yapılmıştır. Antarktika çalışmaları TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM), Kutup Araştırma Enstitüsü (KARE) üzerinden TÜBİTAK 121F297 numaralı ve "Antarktika Geçici Türk Araştırma Bölgesinin Atmosferik ve Astronomik Kalite Bakımından İncelenmesi ve İleride Yapılacak Astronomik ve Atmosferik Araştırmalar için Ön Çalışma ve Testler" isimli, yürütücülüğünü Dr. Onur Şatır'ın yaptığı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir (Şatır 2021).

Mersin

Mersin Yenişehir'de Akdeniz'in kıyısında ölçümler yapılmıştır. Gözlem noktasının koordinatları 36°46'52.2"N, 34°36'29.1"E, 0 m şeklindedir. Mersin'de gözlem yapılmasının amacı deniz seviyesinde fakat farklı enlemde bulunan Antarktika'daki ölçümler ile karşılaştırma yapmaktır.

Kozmik Işın Dedektörü ile Ölçümlerin Yapılması

Sintilatör plakası/karosu, gelen parçacığın madde ile etkileşimi sonucunda ışıldama meydana getirir. Sintilatöre bağlı olan fotoçoğaltıcı tüp sintilatörden gelen ışığı fotoelektronlara çevirerek çoğaltıp sinyal okuma kartına (DRS4) gönderir. Veri okuma sistemi gelen pulsları voltaj şeklinde okunabilir sinyallere çevirerek bilgisayara aktarır (Atakan 2014).

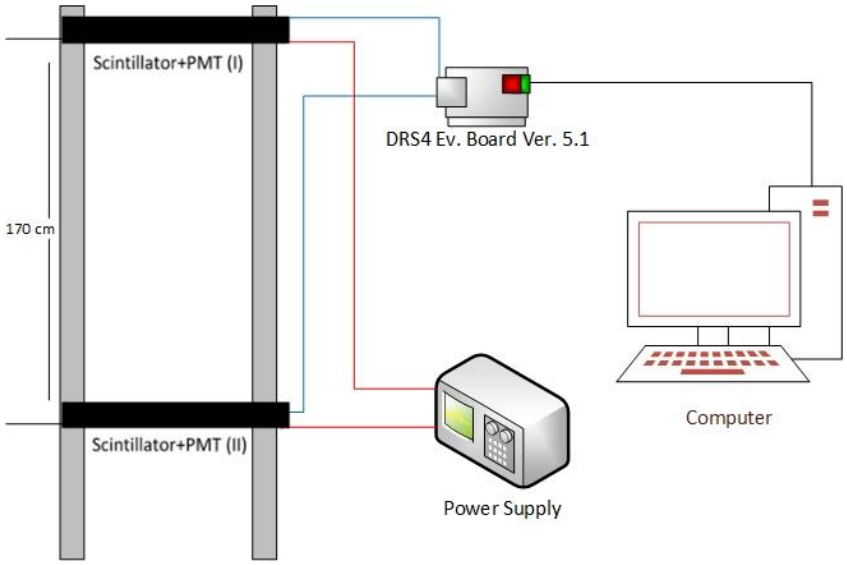
Fotoçoğaltıcı tüplere 5 volt gerilim uygulanmıştır. DRS Osc programı vasıtasıyla tetikleyici (trigger) -0.014 Volt'a ayarlanmıştır. -0 V ile 0.013 V arasında dedektör büyük oranda gürültü sayımı yaptığı için -0.014 V'a ayarlanmış yani -14 mV üstündeki değerler sayılmamıştır. Veriler kanal 1 ve kanal 2 için tek bir xml. dosyası olarak kaydedilmiştir. Şekil 14'te görüleceği üzere elde edilen dosyanın çıktıları iki kanal şeklinde sıralanır. <Data> yazısından sonraki ilk sayı zamanı, ikinci sayı ise o andaki gerilim değerlerini vermektedir. Böylece t(ns) -V(mV) grafikleri çizilmektedir. Bu verilerin analiz edilmesi için Python ve CERN'de geliştirilen ROOT programları kullanılmıştır (Brun et al. 1997). Verilerin analizi için kullanılan yöntem Uçuş Zamanı (Time of Flight/TOF) yöntemidir.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!-- created by MXML on Wed Sep 28 23:47:45 2022 -->
<DRSOSC>
  <Event>
    <Serial>1</Serial>
    <Time>2022/09/28 23:48:23.499</Time>
    <HUnit>ns</HUnit>
    <VUnit>mV</VUnit>
    <Board_3040>
      <Trigger_Cell>745</Trigger_Cell>
      <Scaler0>0</Scaler0>
      <CHN1>
        <Data>-40.903,-2.4</Data>
        <Data>-40.329,-2.6</Data>
        <Data>-39.851,-2.8</Data>
        <Data>-39.318,-3.0</Data>
        <Data>-38.879,-2.7</Data>
        <Data>-38.269,-2.3</Data>
        <Data>-37.850,-2.7</Data>
        <Data>-37.236,-1.8</Data>
      <Scaler1>0</Scaler1>
      <CHN2>
        <Data>-40.940,-9.3</Data>
        <Data>-40.350,-7.6</Data>
        <Data>-39.881,-5.9</Data>
        <Data>-39.326,-4.2</Data>
        <Data>-38.900,-3.1</Data>
        <Data>-38.298,-3.6</Data>
        <Data>-37.876,-3.5</Data>
        <Data>-37.234,-2.2</Data>
        <Data>-36.902,-2.7</Data>
        <Data>-36.213,-2.3</Data>
        <Data>-35.730,-2.9</Data>
        <Data>-35.209,-3.3</Data>
        <Data>-34.840,-1.7</Data>
        <Data>-34.226,-1.1</Data>
        <Data>-33.777,-1.9</Data>
        <Data>-33.155,-2.7</Data>
        <Data>-32.861,-1.9</Data>
        <Data>-32.250,-3.1</Data>
        <Data>-31.925,-3.5</Data>
```

Şekil 14. DRS4'ün ürettiği verinin içeriği

Uçuş Süresi (Time of Flight/TOF) Metodu ve Kullanılan Programlar

Bu çalışmada kozmik ışın detektörleri ile kozmik ışın akı ölçümü TOF Metodu ile yapılmıştır. TOF, bir kozmik ışının belirli bir aralıktan ne kadar sürede geçtiğini hesaplamaya dayanır. Şekil 15'te gösterildiği gibi yukarıya yerleştirilen dedektörün sintilatörüne çarpan kozmik ışın yoluna devam ederek aşağıdaki sintilatöre de çarptığı anda bir sayım gerçekleşir (Lielley 2013; Yılmaz 2019).

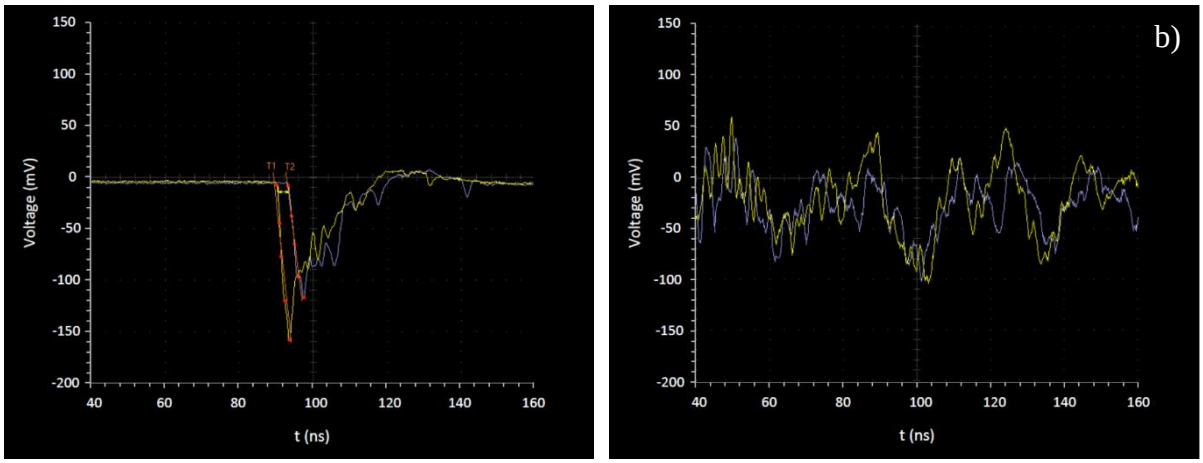


Şekil 15. Kozmik ışın dedektör düzeneği şeması

İki dedektör arası mesafe bilinirse, ışık hızına yakın hareket eden kozmik parçacıkların ne kadar sürede hareket ettiği tespit edilebilmektedir. DAG yerleşkesinde kurulan deney sisteminde iki dedektör arasındaki mesafe 170 cm'dir. O halde teorik uçuş süresi, parçacığın hızı ışık hızında kabul edilirse basit hız-zaman formülü ile 5.67 ns olmalıdır:

$$t = \frac{x}{v} = \frac{d}{c} = \frac{170\ cm}{2.99x10^{10} cm/s} \cong 5.67\ ns$$

DRS4 okuma cihazına gelen veriler iki kanaldan şeklinde alınmıştır. Birinci kanaldan ikinci kanala geçen kozmik parçacığın Python kodu ile tespiti şöyle yapılmıştır: İki sintilatörden birden geçen kozmik parçacık aşağı doğru birer pik yapar. Pikin tepe noktası, başladığı nokta ve bu ikisi arasında seçilen ortalama üç nokta üzerinden bir lineer çizgi çekilir. Çizginin x eksenini kestiği nokta tespit edilir. Bu nokta kanal 1 için T1 ve kanal 2 için T2 noktası olarak kaydedilir. TOF değeri T2-T1 değerine eşittir. Kozmik ışın eğrisi başlamadan önce düz sabit bir gürültü görülmektedir (Şekil 16). DRS4'ün özelliklerinden olan gecikme (delay) 110 ns olarak ayarlanınca, x ekseninde yaklaşık ilk 400 değer gürültüdür. Python kodu ile ilk 400 değerin ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Voltaj değeri maksimum olan noktadan geriye doğru gidilince standart sapma ile ortalama değerin arasındaki ilk değer pikin başladığı nokta olarak kabul edilmiştir. +x ekseninin 1-400 aralığında, +y ekseninde 50'nin üzerinde veri varsa, o olay hata olarak değerlendirilmiştir. Dedektör ile yapılan doğru ölçüm ve hatalı ölçümler sırasıyla Şekil 16'da gösterilmiştir.

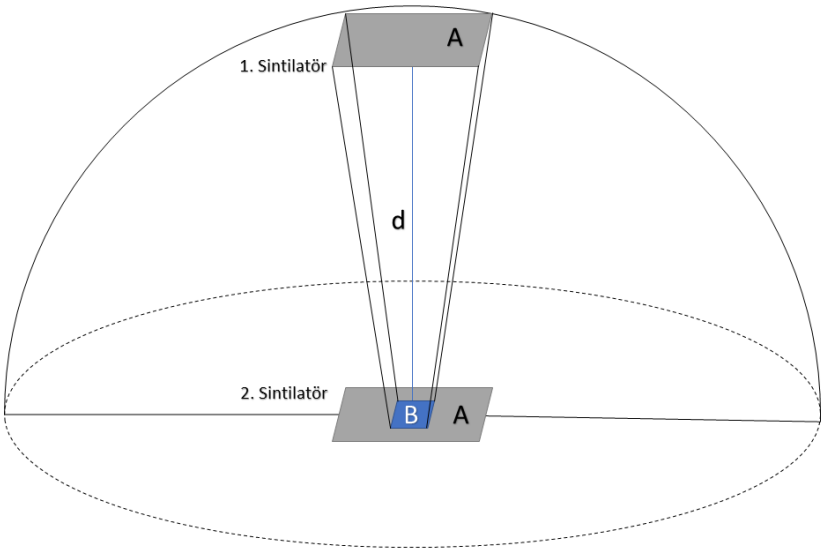


Şekil 16. DRS4 Çıkış Sinyali a) İki sintilatörden geçen bir kozmik ışın b) Elektronik gürültü

Alınan veriler xml formatında olduğu için Python'un xml kütüphanesi kullanıldı. Veriler içe aktarıldıktan sonra, astropy zaman nesneleri için float64 veri türünü kullandığından, daha iyi bir zaman çözünürlüğüne sahip olmak için astropy'nin zaman modülü kullanıldı. Veriler biçimlendirildi ve olay sürelerini hesaplamak için basit enterpolasyon kullanıldı. Daha iyi bir performans ve görselleştirme için numpy ve matplotlib de kullanıldı.

Yazılan kodun dışında DRS4'ün arayüzlü programı olan DRS Osc programı da TOF değerlerini hesaplayıp histogram grafiği çizdirmektedir. Program T1 ve T2 değerlerini hesaplarken x ekseninde trigerin üstünde olan ilk eğrinin trigeri değerini kestiği noktayı belirler. Fakat bu seçim bazen hatalı pikleri de kozmik ışın olarak saymakta ve yanlış sonuçlar verebilmektedir.

Ölçülen binlerce parçacık için Python kodu ile TOF değerleri hesaplanıp ve bir dosyaya kaydedilmiştir. Bu değerler ROOT programı ile işlenmiş ve histogram grafikleri oluşturulmuştur. Grafiğe Gaussian modeli uygulanır. Böylece mean (ortalama) değeri bulunur. Bu değer uçuş süresidir. Ölçülen ve hesaplanan değerler uyumlu olmalıdır. Grafikteki standart sapma (sigma) değeri önemlidir. Çünkü modellenen histogram eğrisinde $mean \pm 2\sigma$ aralığındaki yaklaşık %95'lik değerler kozmik ışınlar olarak kabul edilir. Bu aralıktaki kozmik ışın sayısı N ile gösterilir. Geri kalanlar rastgele ışınlar ve elektronik gürültü olarak sayılmaktadır.



Şekil 17. Dedektör sisteminin küresel yapıyla benzeşimi

Dik açıya yakın açılarda gelen binlerce parçacık için aradaki mesafe ve sintilatörlerin yüzey alanı da hesap edilerek bir akı denklemi ortaya konulmuştur. Akı hesabı için Şekil 17'deki hayali yarım küre esas alınarak denklem şöyle türetilmektedir. Öncelikle iki dedektör arasındaki mesafe küresel bir yapıdaki yarıçap olarak düşünülür. Yani d = R olur. İki sintilatörün de yüzey alanını A, aşağıdaki sintilatörün ortasında seçilen daha küçük alanı B olarak varsayalım. Bir yaklaşım olarak, A'nın tüm kürenin yüzey alanına ($4\pi d^2$) oranı, B alanından geçen tüm parçacıkların (N_B), $A + B$ alanından geçen paracıklara oranına eşittir. Bu orana f kesri denir. Seçilebilecek B alanlarının sayısı alttaki panelin tüm yüzey alanının B'ye bölümü (A/B) olarak bulunabilir. Bu durumda detektördeki toplam sayım Denklem 2 ile hesaplanır.

$$Toplam\ Sayım = \frac{N_B\ f\ A}{(4\pi d^2)\ B} \tag{2}$$

Katı açı, yarıçapı 1 m ve koninin ucu kürenin merkezinde olan ve kürenin yüzeyinde koninin gördüğü 1 m^2 alana eşit merkez açı bir steradyandır. Katı açı birimi steradyandır ve sr sembolüyle gösterilir. Akı (Φ) birim katı açıya, birim alana ve birim zamanda düşen parçacık sayısı olarak tanımlanır. Kürenin 4π steradyanı vardır. Akı formülü Denklem 3'deki gibi düzenlenebilir.

$$\Phi = \frac{(Toplam\ Sayım)\ (d^2)}{A^2} \tag{3}$$

A yüzey alanlı panellerde katı açı, A alanının d'nin karesine oranıdır (Denklem 4). O halde zamana bağlı akı formülü Denklem 5 ile yapılmaktadır (Grieder 2001; Chatzidakis et al. 2015):

$$d\Omega = \frac{A}{d^2} \tag{4}$$

$$I = \Phi = \frac{dN}{dAdtd\Omega} = \frac{Nd^2}{A^2\Delta t} \quad (cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}) \tag{5}$$

$$Istatistiksel\ Hata = \left(\frac{d^2}{A^2\Delta t}\right)\sqrt{N} \tag{6}$$

Bu denklemlerdeki N toplam kozmik parçacık sayısı, d iki sintilatör arasındaki mesafe, A sintilatörlerin yüzey alanı ve Δt geçen toplam zamandır. Akı birimi saniyede santimetrekareye steradyan açıda düşen parçacık sayısı olarak gösterilir. Ölçümlerin istatistiksel hata değerleri, sayımın karekökü ile orantılıdır ve Denklem 6 ile hesaplanır (Lyons and Louis 1991).

Kozmik ışın akısı, dik gelen ışınların tespitidir. Bakış açısı gökyüzünden yer ufkuna doğru uzadıkça, yakalanan parçacıkların sayısı azalır. Dört gözlem noktasındaki veriler, 0° zenit açısı ile yapılmıştır. Bunun yanısıra deney ATA50 Teleskobu'nda (1855 m) 0°, 30°, 45°, 60° ve 75° gibi farklı zenit açılarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Denklem 7'deki teorik akı formulü ile bulunan teorik değerler ile karşılaştırılmıştır.

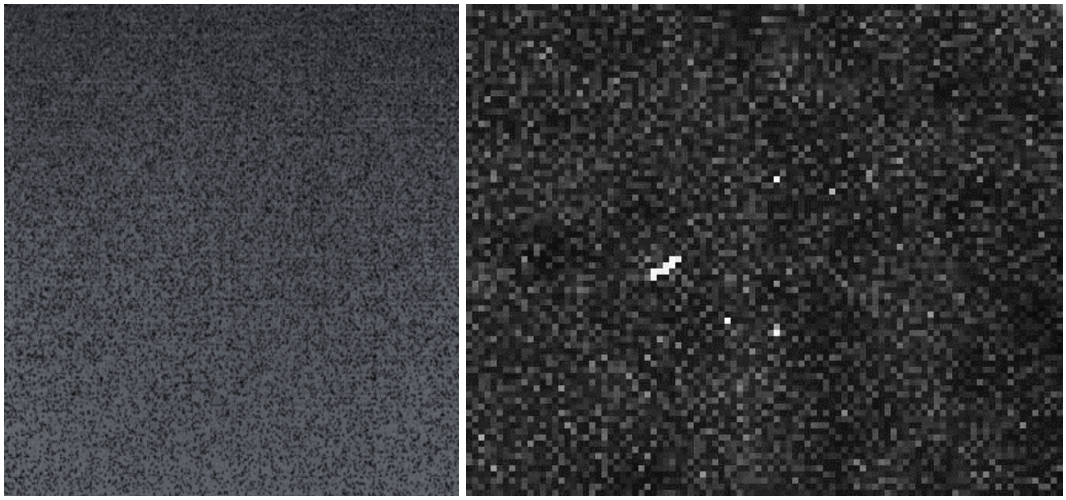
$$I_\theta = I_0 cos^n\theta \tag{7}$$

Burada, I_θ ilgili açıda bulunan kozmik ışın akısı, I_0 dikey kozmik ışın akısı, θ zenit açısı ve *n* üs hesabıdır. n'nin en iyi değeri 2.00 ± 0.004'dir (Pethuraj et al. 2017).

CCD ile Elde Edilen Verilerde Kozmik Işın Tespiti ve Yöntemi

CCD kameralar ile alınan görüntülerin neredeyse tamamı üst atmosferden Dünya'ya saçılan yüklü kozmik parçacıkları içermektedir. Uzay teleskoplarındaki kameralara düşen kozmik ışınların miktarı çok daha fazladır. Kozmik ışın akısı, alınan görüntünün poz süresi ile orantılıdır (Fisher-Levine and Nomerotski 2015).

Kara Akım (Dark), CCD kameranın kapak (shutter) kısmı kapatılarak, karanlık bir şekilde kameranın limitleri ölçüsünde istenildiği kadar poz süresi verilerek elde edilen görüntülerdir. Dark görüntüleri arkaplan gürültülerini de içerir. Gerçek gökcismi görüntülerinin kalibrasyonlarını yapmakta kullanılır. ATA50 Teleskobu ile elde edilen örnek bir Kara Akım (Dark) görüntüsü ve üzerine düşen bir kozmik ışın izi Şekil 18'de gösterilmiştir. Kara Akım görüntüleri CCD yeterince soğutulduktan sonra alınmalıdır. Aksi halde görüntü üzerinde çok fazla elektronik ve termal gürültü izleri olacaktır.



Şekil 18. a) CCD Kara Akım görüntüsü, b) Kara Akım görüntüsü üzerine düşen kozmik ışın izleri

Kara Akım görüntüleri, Alta 230 CCD kameramız -20 °C soğutulmuş iken alınmıştır. -20 ± 1 °C'de aralığı dışındaki Kara Akım görüntüleri işlem dışı bırakılmıştır. Görüntüler 60 saniyelik poz süresi verilerek fit. uzantılı şekilde kaydedilmiştir. Düşük poz süreli, özellikle 10-20 saniye altındaki poz süreli dark görüntülerinin sağlıklı sonuçlar vermediği ve yüksek parlaklık değerlerine sahip olduğu gözlenmektedir (Orman 2019). Bu sebeple tüm Kara Akım görüntüleri sabit 60 saniye olarak alınmıştır.

ATA50 Teleskobu'nun CCD kamerası ile tez için özel olarak ölçümler yapılmıştır. Kara Akım görüntüleri üzerine düşen kozmik müon ışınlarının akısı python'da yazılan kod ile tespit edilmiştir. CCD ve sintilatörlü kozmik ışın dedektörü eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. CCD Kara Akım görüntülerindeki kozmik ışınların ayıklanması ve sayımı yapılmıştır. Bir

görüntüden kozmik ışınları çıkarmak için kullandığımız teknik, Pieter G. Van Dokkum tarafından Image Reduction and Analysis Facility (IRAF) için geliştirilen ve uygulanan LACosmic yönteminin bir benzeridir. LACosmic'in özel uygulaması olan Astro-SCRAPPY astropy'a bağlı paketidir (McCully and Tewes 2019). Astropy görüntü işleme konusunda çok etkin bir kütüphanedir. Python'un kullanılmasının sebebi budur. Yöntem, Kara Akım görüntüleri üzerindeki piksel değerlerine odaklanır.

CCD görüntüleri gri renk seviyeli görüntülerdir. Renk bilgisi içermezler fakat sadece parlaklık değerlerini gösterirler. Görüntülerdeki kozmik ışınları tespit etmede temel olarak **Laplacian Kenar Yakalama** metodu kullanılmıştır. Bu metot görüntüdeki yüksek parlaklık değerine sahip piksellerin köşelerini daha da belirgin hale gelmesini sağlamaktadır (Dokkum 2001). Laplacian görüntü işlemede sınır belirleme amacıyla kullanılır. Görüntünün gri bölgesindeki anlık değişikliklerin olduğu yerlere kenar denilir ve bir süreksizlik şeklinde kendini gösterir. Bu kenarları belirlemek için görüntü üzerine bir maske geçirmek en yaygın kullanılan yöntemlerdendir (Perihanoğlu 2015). Bu yöntemdeki temel mantık bölgesel türev almaktır. *f(x,y)* fonksiyonu ile ifade edilen bir görüntüye Laplace uygulanıp, x ve y yönlerinde hesaplanarak şu eşitlikler elde edilir:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

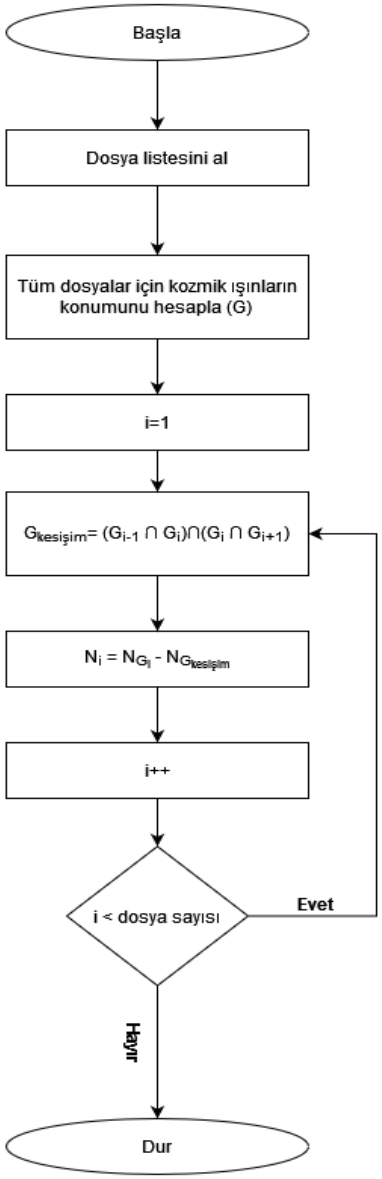
Laplace filtresi için (0 -1 0; -1 4 -1; 0 -1 0) matrisi kullanılır. Piksel sayma işlemi 5x5 filtre kullanılarak yapılmıştır. Laplace filtresi ugulanığı maskeleme gerçekleştirilmiştir.

Ardından görüntüye yumuşatma operatörü olarak 5x5 piksel boyutlu **Medyan Filtresi** uygulanmıştır. Medyan Filtresi tuz-biber gürültülerinin giderilmesinde etkili olan doğrusal olmayan bir filtrelemedir.

Elde edilen görüntü üzerinde, minimum, maksimum, ortalama, medyan ve standart sapma değerleri hesaplanır. Öncelikle görüntü üzerindeki tüm parlak piksellerin sayımı yapılmıştır. Bu durumda kozmik ışın olsun veya olmasın kozmik ışınların konumunu (G_i) tek tek x ve y konumlarını belirleyip bütün sıcak ve parlak piksellerin oluşturduğu izleri sayarak sırayla okur. Böylece bütün parlak izler sayılmış olur. Burada yüksek bir değer çıkacaktır. Bu değerlerden hatalı pikselleri çıkarmak gerekmektedir.

Şekil 19'da akış diyagramı görülen programda, her bir Dark görüntüsünün bir önce ve bir sonrasındaki görüntüsünde aynı noktarlardaki ortak olan sıcak ve bozuk piksellerin kesişim kümesi ($G_{kesişim}$) bulunur. Sadece keskin kenarlı ve birkaç piksele yayılmış olan kozmik ışın izleri (N_i), N_{Gi}-$N_{Gkesişim}$ farkı ile bulunur. Böylece önce sıcak pikseller temizlenmekte ve maskelenmektedir. Bu fark görüntüsü üzerinde birbirine komşu olan ve 1.1*median üzerinde parlaklığa sahip en az 6 piksel birleştirilir. Daha belirgin ve birkaç piksele yayılan kozmik ışınlar bu şekilde ayrılmaktadır. Bu işlem klasördeki tüm dosyalar bitinceye kadar devam eder.

Tespit edilen kozmik müon ışınlarının miktarı txt. dosyasına kaydedilmiştir. Çıktılar zaman'a (t) karşı kozmik müon ışınları akısı (parçacık/$cm^{-2}dk^{-1}$) olarak alınmıştır. Bu çalışma ile kozmik ışın akısının zamana karşı değişimi incelenmiştir.



Şekil 19. Görüntülerin işlenme akış çizelgesi

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Kozmik Işın Dedektörünün Test Sonuçları

Deney sisteminin çalışmasının güvenilirliği test edilmiştir. 24 saat boyunca yapılan ölçüm sonucunda Şekil 20'de görüleceği üzere iki dedektör arasındaki uçuş süresi (Fime of Flight/TOF) histogramı DRSOsc programı ile çıkartılmıştır. Toplamda ham olarak 25379 olay kaydedilmiştir. Bu olay içerisinde müon dışında elektronlar ve elektronik gürültüler de bulunmaktadır. Ham verideki rastgele ve hatalı sayımlar, grafik Gaussian fonksiyonu oluşturacak şeklinde kırpılmıştır. Böylece TOF değerlerinin ortalaması (mean) 5.505 ns, standart sapma (σ) 1.8908 olarak bulunmuştur. DAG yerleşkesindeki iki dedektör arası mesafe 170 cm olarak ayarlanmıştır. Kozmik ışınların ışık hızına yakın hareket ettiği bilindiğinden, bu durumda temel hız-zaman formülü ile teorik TOF değeri 5.67 ns çıkmaktadır. Hesaplanan değer ile ölçülen değer arasında yaklaşık %3'lük bir hata payı vardır. Bu ölçümlerin doğru şekilde yapıldığının bir göstergesidir. Buradaki hata; PMT'nin karanlık akımı, katod-dinod'un termiyonik yayınımı, sızıntı akımları ve arkaplan radyasyonu gibi dış etkilerden kaynaklanmaktadır (Yıldız 2008).

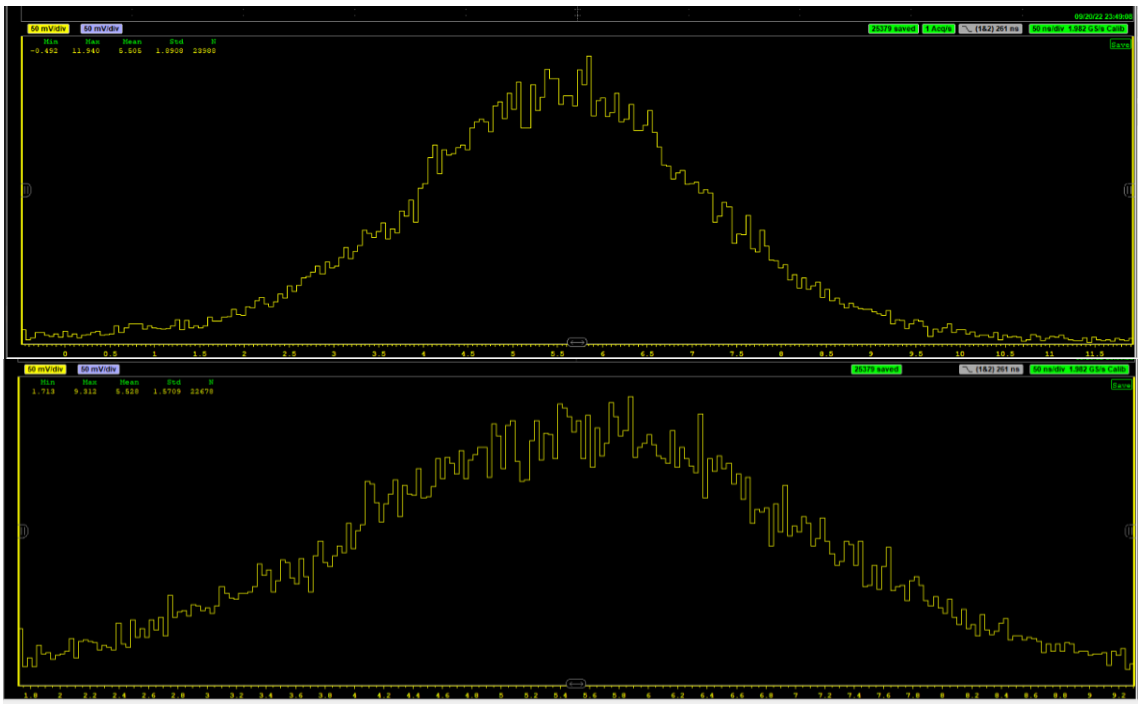
Elde edilen histogram grafiği üzerine uygulanan Gaussian fonksiyonu ile $mean \pm 2\sigma$ aralığındaki değerlerin yaklaşık %95'lik sayıma denk geldiği gösterilmiştir. $mean \pm 2\sigma$ aralığındaki olay sayısı toplam kozmik müon ışınları sayısı (N) kabul edilmektedir. DRS4'te bu aralık ayarlanınca Şekil 20b'de görüleceği üzere N değeri 22678 çıkmaktadır. 20x20x1.5 cm sintilatörlerin yüzey alanı (A) 400 cm^2'dir. Bu veriler ışığında bir günlük kozmik ışın akısı Denklem 5 ve Denklem 6 ile şöyle hesaplanmıştır:

$$\Phi = \frac{Nd^2}{A^2\Delta t} = \frac{(22678)(170)^2}{(400)^2(86400)} = 0.0474\ cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$$

$$Hata = \left(\frac{d^2}{A^2\Delta t}\right)(N)^{1/2} = \left(\frac{(170)^2}{(400)^2(86400)}\right)(22678)^{1/2} = 3.14 \times 10^{-4}$$

İstatistiksel hata dahil kozmik müon ışınlarının akısı:

$$0.0474 \pm 3.14 \times 10^{-4}\ \mathrm{cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}}$$



Şekil 20. DRS Osc ile alınan bir günlük veri, d=170 cm

Alınan veriler aynı zamanda python'da yazılan kod ile çalıştırılmıştır. Kod ile elde edilen TOF değerleri ROOT programında histogram şeklinde çizdirilmiş ve ardından Gaussian fit modeli uygulanmıştır. Aynı gün için elde edilen verinin ham ve TOF metodu uygulanmış grafikleri Şekil 21'de gösterilmiştir. Grafiğe göre mean değeri 5.441 ns, standart sapma 2.078 olarak bulunmuştur. Uçuş süresi için hesaplanan mean değeri, teorik mean değeri olan 5.67 ns'ye %4.2'lik bir fark ile yakın bulunmuştur. $mean \pm 2\sigma$ aralığındaki toplam kozmik müon ışınları sayısı (N) 22137'dir. Bu veriler ışığında yazılan kod ile bir günlük kozmik ışın akısı Denklem 5 ve Denklem 6 ile şöyle hesaplanmıştır:

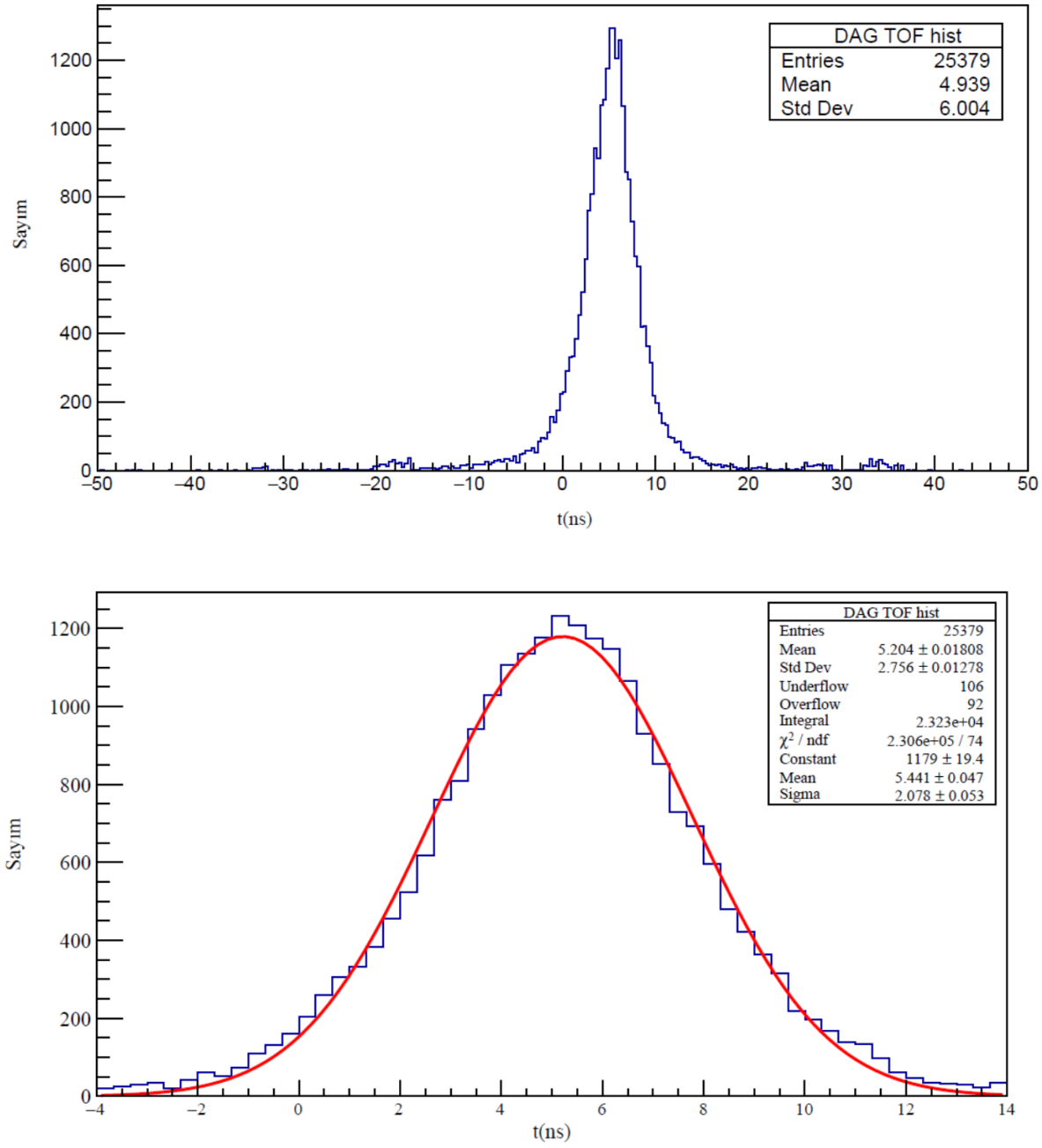
$$\Phi = \frac{Nd^2}{A^2 \Delta t} = \frac{(22137)(170)^2}{(400)^2(86400)} = 0.0463\ cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$$

$$Hata = \left(\frac{d^2}{A^2 \Delta t}\right)(N)^{1/2} = \left(\frac{(170)^2}{(400)^2(86400)}\right)(22137)^{1/2} = 3.11 \times 10^{-4}$$

İstatistiksel hata dahil kozmik müon ışınlarının akısı:

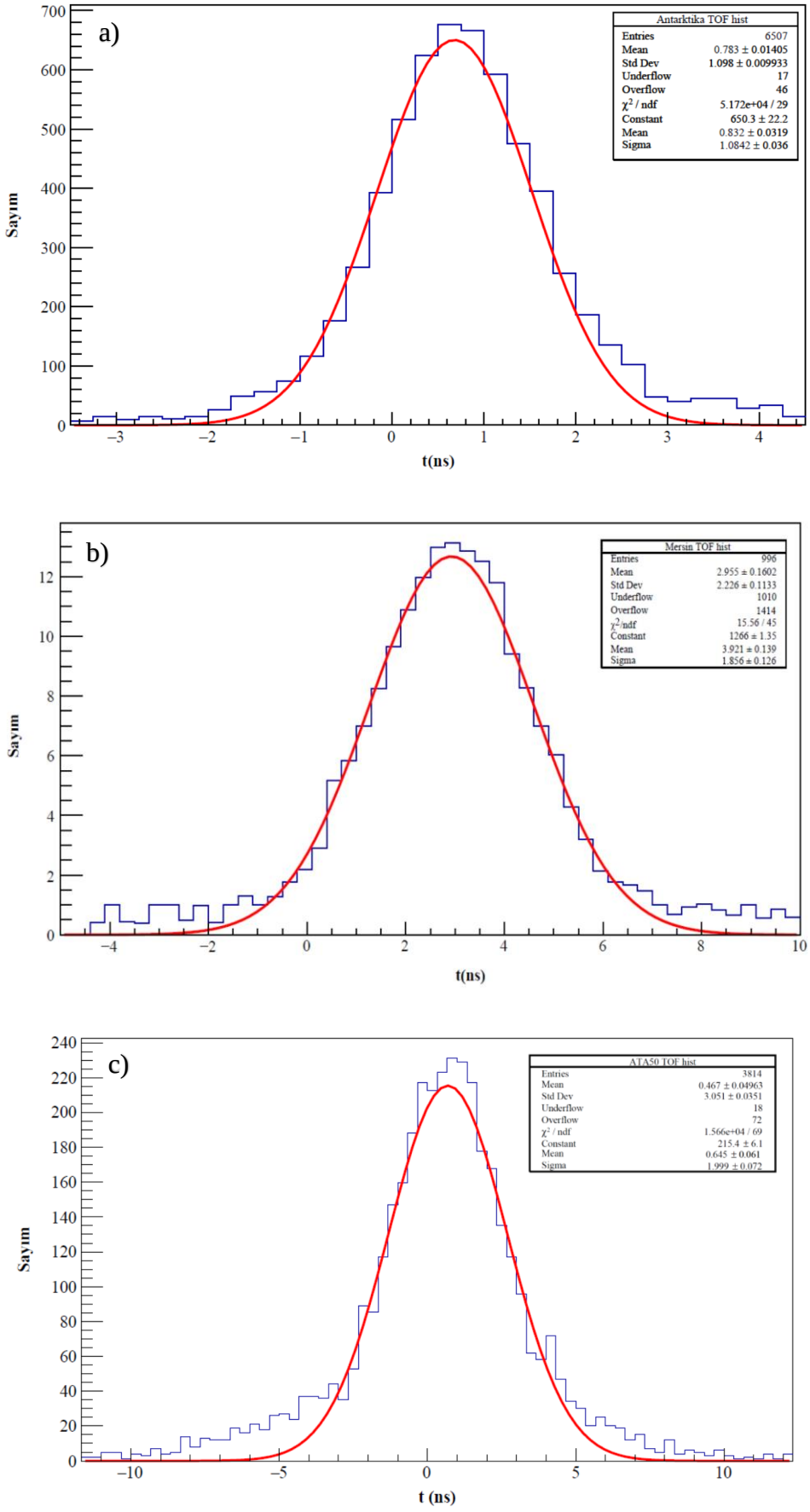
$$0.0463 \pm 3.11 \times 10^{-4}\ \mathrm{cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}}$$

Yazılan kod ve DRS Osc programı sonuçları arasında yaklaşık % 2.37 fark çıkmıştır. DRS Osc TOF hesaplarken x eksenindeki ilk pik yapan eğrinin maksimum noktasını esas almaktadır. Bu sebeple trigger değeri düşük verildiğinde hatalı TOF değeri okuyabilmektedir.



Şekil 21. DAG yerleşkesindeki iki detektör arası 170 cm olan kozmik ışın deney sistemi ile bir günlük ölçülen verinin ham ve TOF metodu uygulanmış grafikleri

DAG yerleşkesi dışında diğer üç konum olan Antarktika, Mersin ve ATA50 Teleskobu'ndaki ölçümler ile elde edilen verilerin TOF uygulanmış grafikleri Şekil 22'de gösterilmiştir.



Şekil 22. a) Antarktika b) Mersin c) ATA50 Teleskobu için TOF metodu uygulanmış grafikleri

Kozmik Işın Dedektörü Ölçüm Sonuçları

Kozmik ışın dedektörü ile başta DAG yerleşkesi olmak üzere 4 farklı noktada ölçümler yapılmıştır. DAG'da 20x20 cm'lik dedektörler, ATA50, Mersin ve Antarktika'da kolay taşınabilirliği açısından 5x5 cm'lik mini dedektörler kullanılmıştır. Tablo 3'te dört farklı noktadaki ölçümlerin temel parametreleri ve hesaplanan akı değerleri sunulmuştur:

Tablo 3. DAG ve Farklı Noktalarda Kozmik Işınların Akı Ölçümü

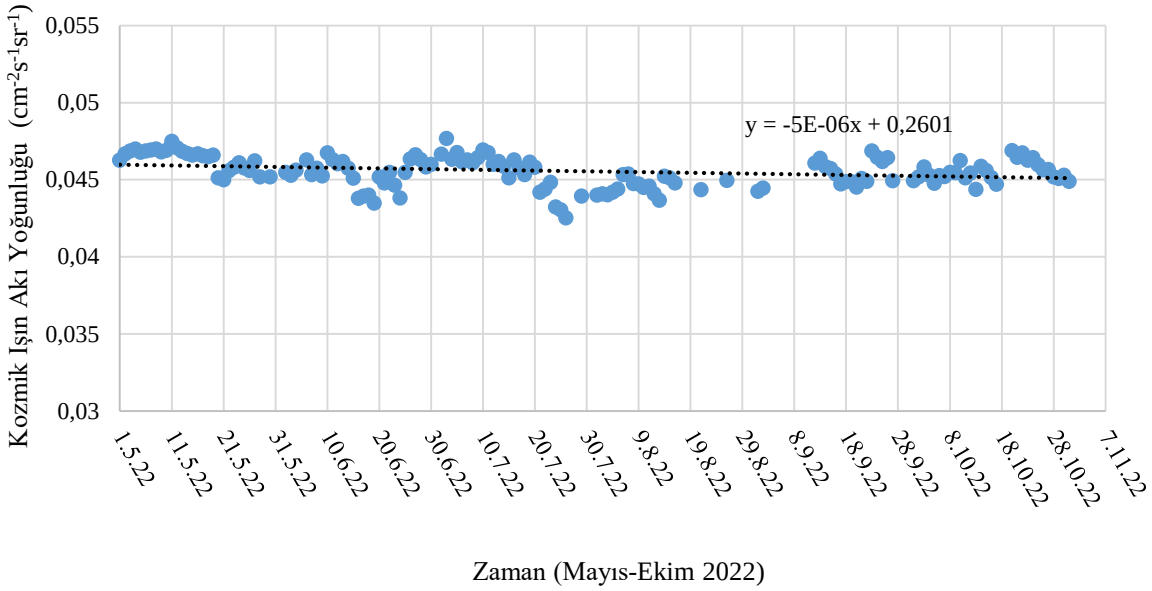
Yer	Enlem, Boylam, İrtifa	Ölçüm Tarihleri	A (cm^2)	d (cm)	N (sayım)	Δt (s)	Kozmik Işın Akısı ($cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$)
DAG	39°46′50.5″N 41°13′35.5″E 3170 m	1Mayıs-31 Ekim 2022	400	170	3224372	12787200	$0.0455 \pm 2.536x10^{-5}$
Antarktika	67°51′29.2″S 67°12'27.6″W 0 m	10-25 Şubat 2022	25	27.5	18819	1382400	$0.0164 \pm 1.201x10^{-4}$
Mersin	36°46′52.2″N 34°36′29.1″E 0 m	1-11 Temmuz 2022	25	90	1012	950400	$0.0138 \pm 4.338x10^{-4}$
ATA50	39°54′16.7″N 41°14′39.7″E 1855 m	27 Eylül-23 Kasım 2022	25	19.5	190581	4924800	$0.0235 \pm 5.393x10^{-5}$

Ölçümler incelendiğinde 3170 metre yüksekliğe sahip DAG yerleşkesinde akının **0.0455 $cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$**, Erzurum merkezde 1855 metre yükseklikteki ATA50 Teleskobu yerleşkesinde **0.0235 $cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$** olarak ölçülmüştür. İki nokta arasındaki akı farkının en belirgin sebebi yükseklik farkıdır. Kozmik ışınların miktarı deniz seviyesinden 15 km yükseğe kadar sürekli bir artış göstermektedir (Gaisser et al. 2016).

Deniz seviyesinde yapılan ölçümlerden Antarktika'daki akı değeri **0.0164 $cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$**, Mersin Akdeniz sahilinin akı değeri **0.0138 $cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$** olarak tespit edilmiştir. Bu akı farkının en önemli sebebi ise enlem farkıdır. Bilindiği üzere kutup bölgelerinde manyetik alan çizgileri Dünya'ya dik konumdadır. Bu durum kozmik ışınların yeryüzüne ulaşmasını kolaylaştırmaktadır. Oysa Ekvator bölgelerinde manyetik alan çizgileri kozmik ışınların yönlerini saptırmakta ve engellemektedir. Antarktika'daki ölçümler gemi içerisinde yapıldığı için geminin çelik katmanının bir miktar CR akısını azalttığı göz önüne alınmalıdır. Elde edilen sonuç teorik bilgiler ile uyumludur.

Bu tezin esas amacı DAG yerleşkesinde (3170 m) sürekli çalışan ve veri alan bir kozmik ışın istasyonu kurmak ve kozmik ışınların astronomik aygıt ve gökcisimleri ile olan bağlantılarını incelemektir. Bu sebeple test çalışmaları ve farklı noktalardaki ölçümlerin tamamlanması sonrasında DAG yerleşkesinde sürekli veri alımı başlatılmıştır. Halen kozmik

ışın ölçümleri devam etmektedir. 1 Mayıs 2022-31 Ekim 2022 tarihleri aralığında yaptığımız ölçümlerin akı-zaman grafiği Şekil 23'te sunulmuştur. Bu sonuçlar incelendiğinde kozmik ışın akısında bir azalma görülmektedir. Kozmik ışınların 2020 yılında maksimum kozmik ışın yoğunluğuna sahip olduğu ve 11 yıllık çevrime göre 2026'ya kadar bir düşüş göstereceği beklenmektedir (Oulu 2022). Ölçüm sonuçlarında gözlediğimiz kozmik ışın akısındaki azalış beklenen bir sonuçtur.



Şekil 23. Mayıs-Ekim 2022 aralığında yaptığımız kozmik ışın ölçümleri

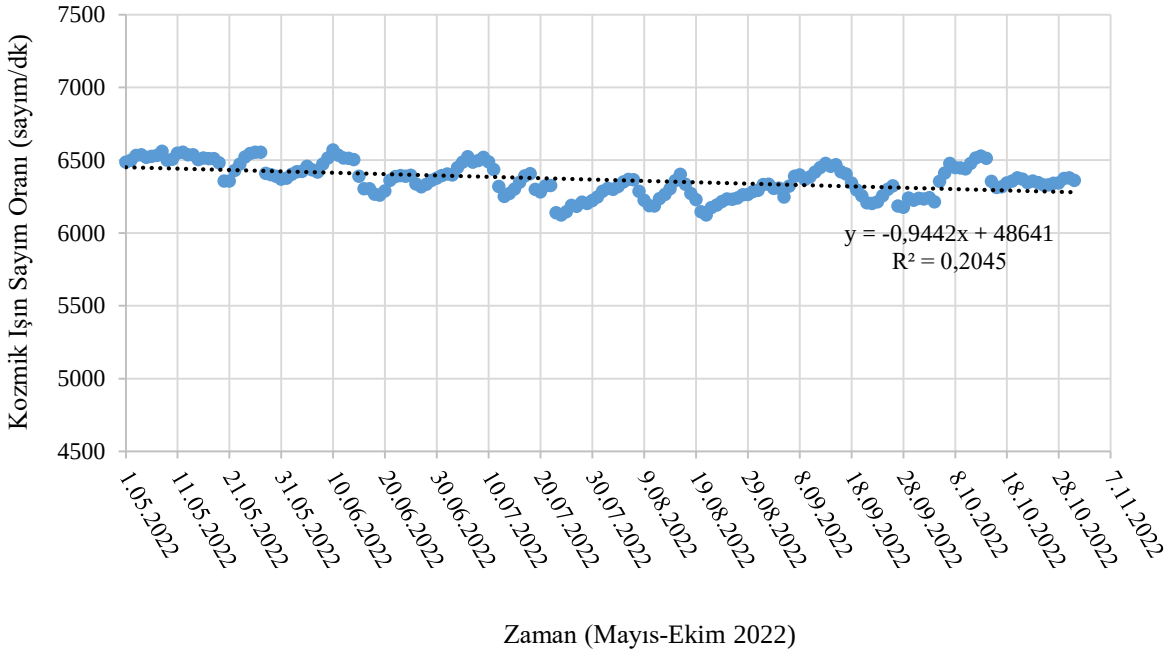
Elde ettiğimiz yaklaşık 6 aylık veri ile Şekil 24'te görülen Uluslararası Oulu Kozmik Işın Nötron İstasyonu verileri karşılaştırılmıştır (Kananen et al. 1991). Oulu Kozmik Işın Nötron İstasyonu verilerine göre de Mayıs'tan Ekim'e kadar toplamda bir akı azalması gözlenmektedir (Oulu 2022). Aylar içerisindeki artış ve azalışlar incelendiğinde yaptığımız ölçümler ile benzerlik görülmektedir. Bu veriler arasında Denklem 8 ile bir korelasyon hesabı yapılmıştır:

$$Korelasyon\ (x,y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \qquad (8)$$

Denklemde x ve y değerleri dizinin ilk elemanlarıdır. $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ değerleri ise dizinin ortalamalarıdır (Asuero et al. 2006).

Korelasyon denklemi kullanıldığında DAG'da yaptığımız ölçümler ile Oulu istasyonu arasında **r = 0.62310076** şeklinde bir korelasyon gözlenmiştir. Aylık akı değerlerindeki değişkenlikler koronal kütle atımları, forbush azalması, galaktik etkiler ve diğer sebeplerden

kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sebeple ay içerisinde ve günün her saatinde aynı akı değerlerini ölçmek mümkün görülmemektedir.



Şekil 24. Oulu nötron istasyonu kozmik ışın ölçümleri (Oulu 2022)

Kozmik ışın dedektörü ile dedektörler farklı açılarda konumlandırılarak akı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 25). 0°, 30°, 45°, 60°, 75° derecelik açılarla yapılan ölçümlerde θ değerinin artışıyla akı oranının parabolik azaldığı gözlenmiştir. Kozmik ışınların büyük çoğunluğu yere dik açıda gelmektedir. Bu sebeple akı hesaplarında, dedektörlerin gökyüzüne (zenit) 0° açıyla konumlandırılması ile yapılan ölçümler esas alınmaktadır. ATA50 Teleskobu'nda farklı zenit açıları ile kozmik ışın akı ölçümleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ve Denklem 7 ile teorik olarak hesaplanan akı değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Açı değeri arttıkça gelen parçacık sayısı azalmıştır. Her açı için iki saatlik veri alınmıştır. Fakat bu süre gayet yetersizdir. Daha uzun süreli ölçümler daha doğru sonuçlar verecektir. Deney düzeneğinde kullanılan sintilatörün yüzey alanı A = 400 cm^2, detektörler arası mesafe d = 120 cm'dir.

Tablo 4. ATA50 Teleskobu'nda kozmik ışın akısının farklı açılarda ölçümü

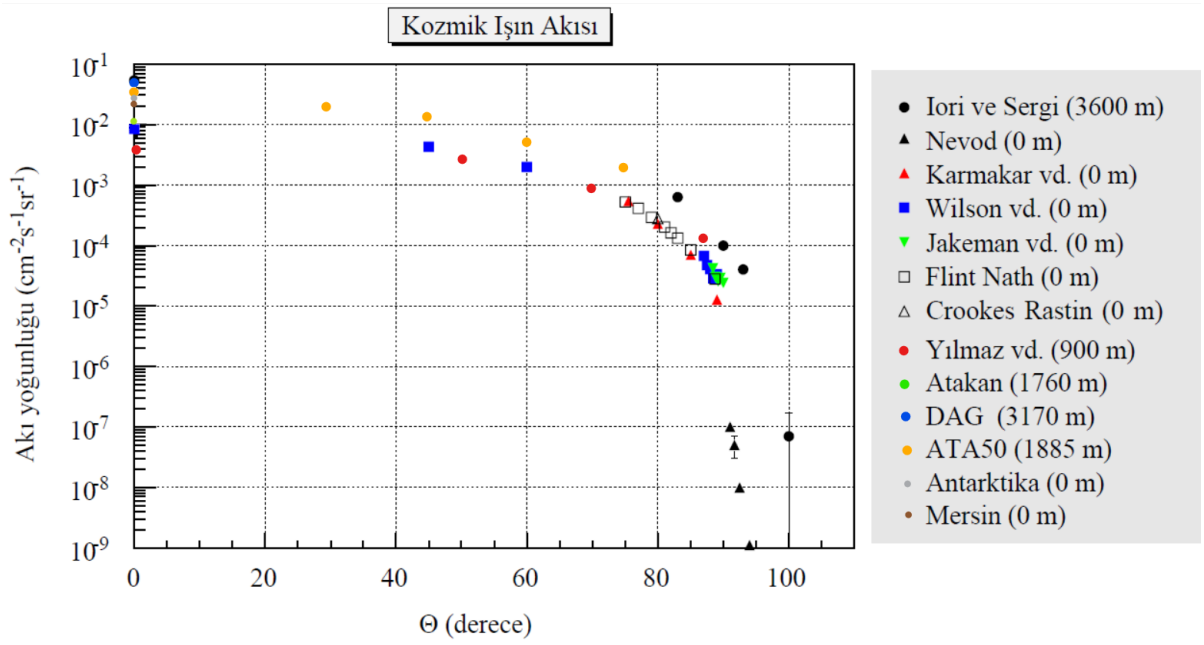
Açı (°)	0°	30°	45°	60°	75°
Ölçülen Kozmik Işın Akısı ($cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$)	0.0238± $5.46x10^{-4}$	0.0183± $4.78x10^{-4}$	0.0130± $4.03x10^{-4}$	0.00676± $2.91x10^{-4}$	0.00176± $1.48x10^{-4}$
Teorik Kozmik Işın Akısı ($cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$)	0.0238± $5.46x10^{-4}$	0.0179± $3.59x10^{-4}$	0.0119± $2.01x10^{-4}$	0.00595± $7.27x10^{-5}$	0.00160± $1.02x10^{-5}$
N (sayım)	1905	1465	1038	541	140



Şekil 25. Açısal dağılım ölçümleri

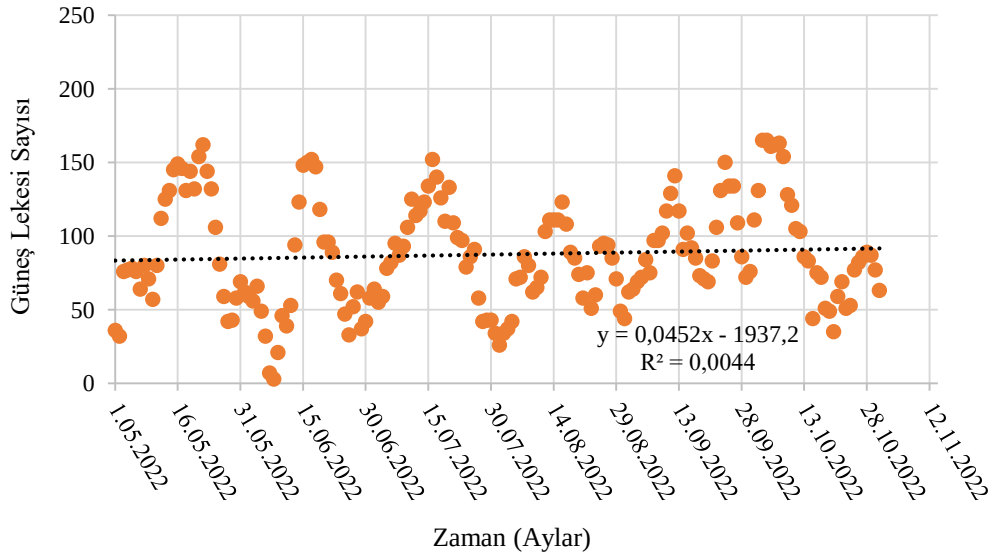
Kozmik ışın dedektörü ile son olarak 3 katlı ve üzerinde yaklaşık 90 cm beton bulunan Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nün en alt katında kozmik ışın akısı ölçülmüştür. Fizik Bölümünün bulunduğu konum, ATA 50 Teleskobu ile yaklaşık aynı rakıma sahiptir (1866 m). Ölçümdeki deney parametreleri ATA50 Teleskobu'ndaki parametreler ile aynıdır. Ölçümler 14-15-16 Aralık tarihlerinde üç gün boyunca yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre akı $\mathbf{0.0103 \pm 1.56x10^{-4}\ cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}}$ olarak bulunmuştur. Bu değer ATA50 Teleskobu'nda açık alanda yapılan akı değerinden %56 daha düşük çıkmıştır. Aydın (2018) tarafından yapılan çalışmada 50 cm'lik betonun kozmik ışın sayımını %43.8 oranında azalttığı belirtilmiştir. Elde edilen bu sonuç ile beton yapıların kozmik ışınları büyük oranda azalttığı gözlenmiştir. Bu bağlamda kozmik ışın ölçümlerinin mutlaka açık alanda veya üzerinde kozmik ışınları engelleyecek kalınlıkta beton ve kurşun gibi yapıların bulunmamasına dikkat edilmelidir.

Bu tezde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen kozmik ışın akı yoğunlukları, İori ve Sergi (2008), Nevod (2005), Karmakar (1973), Wilson (1959), Jakeman (1956), Flint (1972), Crookes (1972), Yılmaz vd. (2018) ve Atakan (2014) tarafından yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 26). Akı yoğunlukları deniz seviyesi ile 3600 metre arasındaki değerlerin arasında bulunmaktadır. Zenit açısı arttıkça kozmik ışın akısının azaldığı gözlemlenmiştir. Literatürdeki sonuçlarla uyum göstermektedir.



Şekil 26. Kozmik ışın akı ölçümlerinin literatürdeki diğer deneylerin sonuçlarıyla karşılaştırılması

6 aylık kozmik ışın ölçümlerimiz ile aynı tarih aralığındaki Güneş aktivitesi verilerinin değişimi Şekil 27'de gösterilmiştir. Kozmik ışın akısında azalış gözlendiği gibi ilgili aralıkta Güneş aktivitesinde ise artış görülmektedir. Fakat daha net değişimler ve doğru korelasyonlar kurabilmek için birkaç yıllık sürekli gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

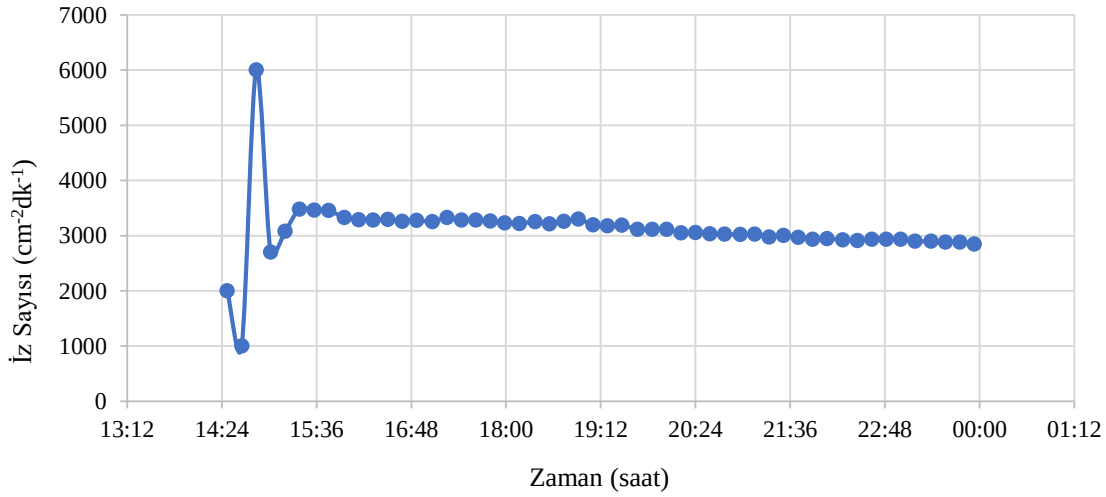


Şekil 27. Mayıs-Ekim 2022 aralığında Güneş Lekesi değişimi (SWPC 2022)

CCD Dark Görüntüleri Üzerindeki Kozmik Işınların Analizi

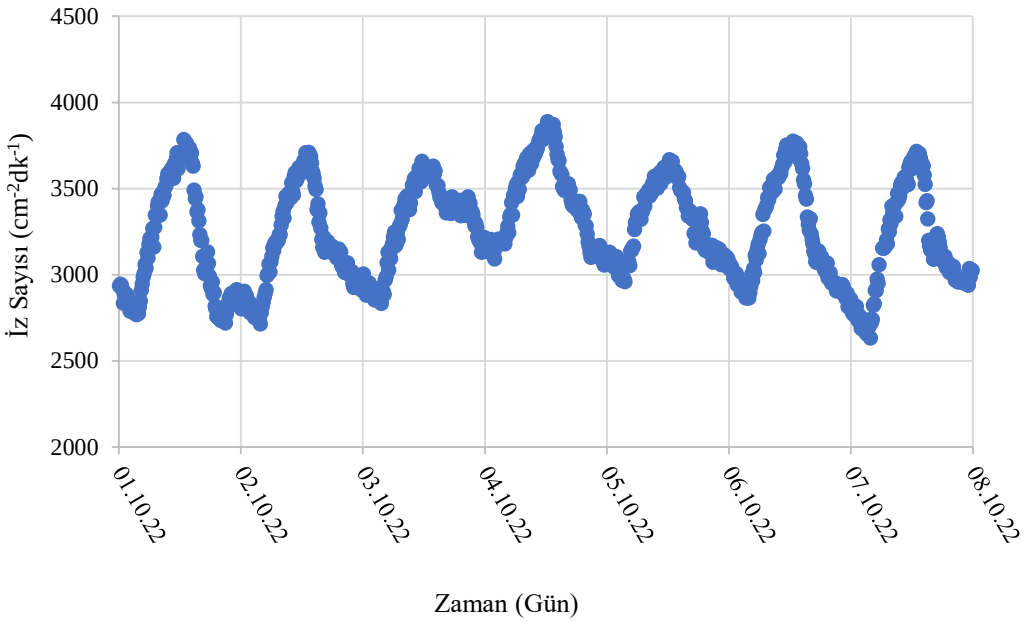
ATA50 Teleskobu'nda kullanılan CCD kamera zenite bakacak şekilde ($\theta = 0^{o}$) yerleştirilmiştir. 27 Eylül-31 Ekim 2022 tarihleri arasında, 60 sn'lik poz süreleri verilerek gece ve gündüz saatlerinde olmak üzere 1529 adet Kara Akım görüntüsü alınmıştır.

Şekil 28'de ilk 50 Dark görüntüsünün üzerine dakikada cm^2 alana düşen 1.2*median değeri üzerinde parlak olan ve sıcak piksel izleri görülmektedir. İlk başta bir dalgalanma görülmektedir. Bu dalgalanmanın sebebi CCD'nin kararlı sıcaklığa ulaşmadan görüntü alınmasıdır. Bu yüzden Dark görüntüleri doğru zamanda alınmalıdır. CCD yeterince soğuyup kararlı sıcaklığa varmadan alınacak herhangi bir görüntü kozmik ışın ölçümlerinde doğru sonuçlar vermeyecektir. Tüm görüntüler üzerinde LaCosmic kodu çalıştırılmış ve sıcak pikseller maskelenmiştir.



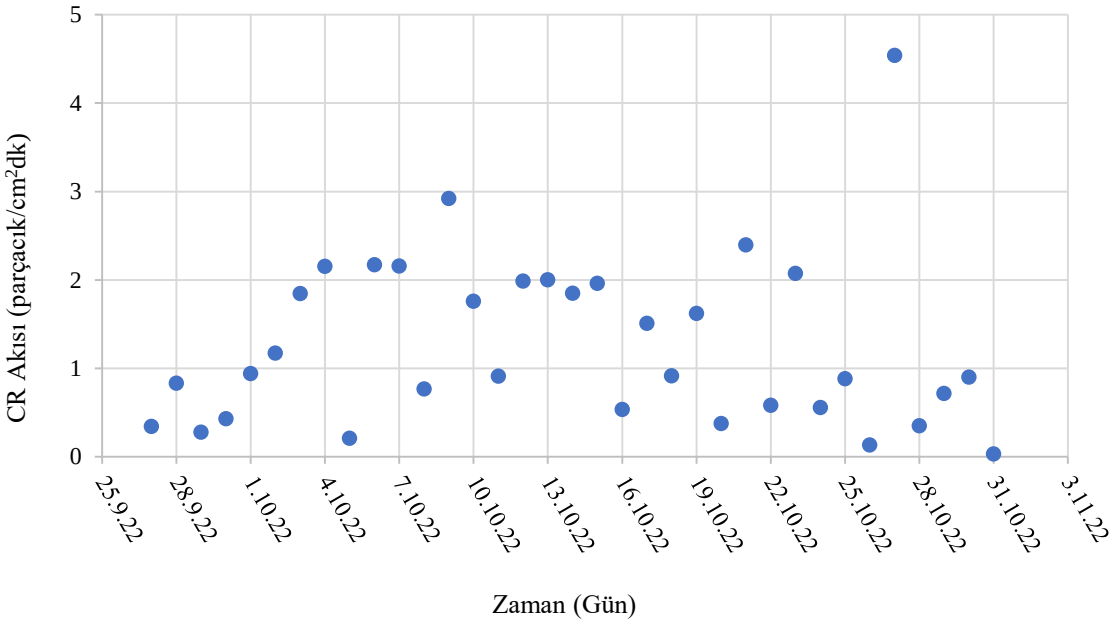
Şekil 28. CCD yeterince soğutulmadan alınan görüntülerin sayım-zaman grafiği

Bir haftalık Kara Akım görüntüleri üzerindeki sıcak pikseller ve parlak izlerin dağılımı Şekil 29'da gösterilmiştir. Gündüz saatlerinde sayım daha fazla, gece daha düşük olduğu gözlenmektedir. Gündüz vakitlerinde Güneş'in CCD üzerindeki ışık etkisi parlak piksel sayısını artıran bir etkiye sahiptir. Fakat gerçek kozmik ışın izlerini yakalayabilmek için CCD üzerindeki sabit sıcak pikseller ve diğer etkilerden kaynaklı parlak izler maskelenmiştir.



Şekil 29. CCD Dark görüntüleri üzerindeki sıcak ve parlak pikseller

Bütün Dark görüntülerinin üzerine düşen parlak ve sıcak pikseller maskelenince hesaplanan günlük ortalama kozmik ışın öbeklerinin sayısının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 30. CCD Dark görüntüleri üzerinde tespit edilen kozmik ışın izleri

Alınan 1529 dark görüntüsünden 1506 adeti kullanışlı olmuştur. Bu görüntüler üzerinde tespit edilen kozmik ışınların ortalaması 1.281 ± 0.525 cm^{-2} dk^{-1}'dır. Bu akı değeri Groom (2004), Bremer and Nobel (2015), Davoudifar and Bagheri (2020) ve Orman (2019) tarafından bulunan kozmik ışın müon akı değerleri ile karşılaştırılmıştır. İlgili çalışmalarda kullanılan

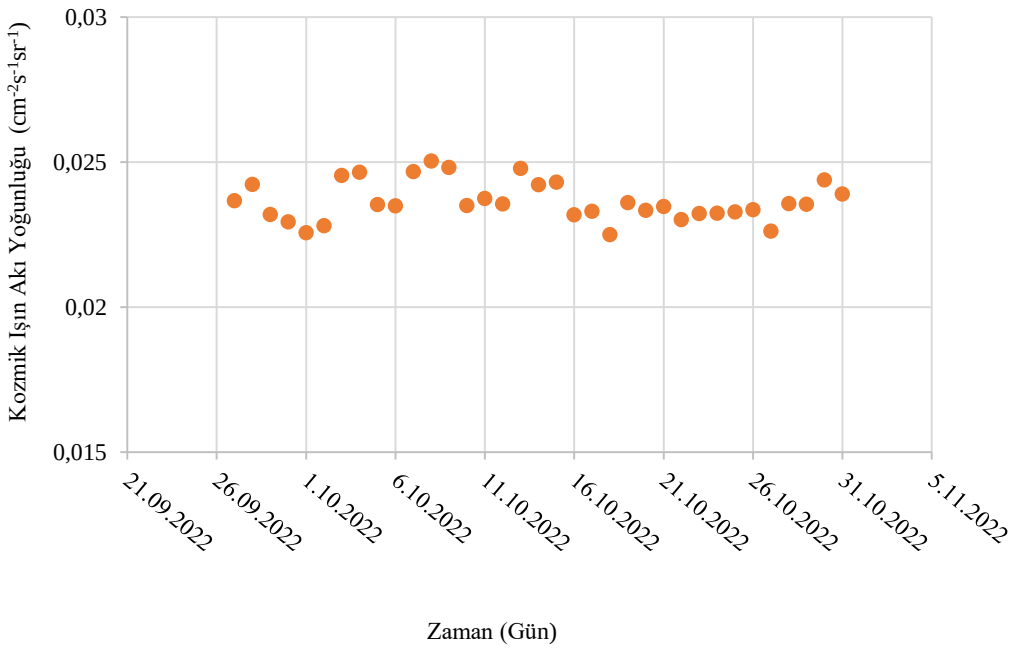
CCD kameraların aktif kalınlıkları, farklı açılarda ölçümlerin yapılması ve farklı irtifalarda bulunmaları sonuçlarda farklılıklar meydana getirmektedir. Ölçülen akı değeri literatür değerleri arasında kabul edilebilecek bir seviyededir. Literatürdeki CCD ile ölçülen kozmik ışın akı değerleri Tablo 5'de sıralanmıştır.

200-300 μm kalınlıktaki CCD ile Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)'de ve deniz seviyesinde dedektör zenite bakacak şekilde yapılan ölçümlerde akı 0.84–0.94 parçacık $cm^{-2}dk^{-1}$olması gerektiği belirlenmiştir. Bu değer 2500 metre yükseklikte 1.6 kat, 4207 metre yüksekliğe sahip Mauna Kea'da 2.1 kat daha fazla çıkmaktadır (Groom 2004). Bu durum proton/nötron oranının irtifa ile artmasından kaynaklanmaktadır. Ölçümlerimiz sonucunda elde edilen akı değeri 1.281 parçacık (cm^{-2} dk^{-1}) değeri 1855 metre rakımda ölçülmüş ve Groom'un hesaplarına göre uyumlu bir aralıkta bulunmaktadır.

Tablo 5. CCD kamera ile yapılan kozmik ışın ölçümleri

Deney	Yer ve Rakım	Kozmik Işın Müon Akısı
Groom, 2004	Lawrence Berkeley National Laboratory-LBNL (0 m)	0.85±0.15 cm^{-2} dk^{-1}
Bremer & Nobel, 2015	Kapteyn Astronomical Institute Hollanda, Groningen (0 m)	2.03±0.09 cm^{-2} dk^{-1}
Orman, 2019	TUG T100 (~2500 m) TUG RTT150 (~2500 m) Ankara Ü. Kreiken R. T35 (1250 m)	~3.18 cm^{-2} dk^{-1} ~1.86 cm^{-2} dk^{-1} ~1.08 cm^{-2} dk^{-1}
Davoudifar & Bagheri, 2020	Research Institute for Astronomy and Astrophysics of Maragha, University of Maragheh, Iran (1478 m)	~2.6 cm^{-2} dk^{-1}
Bu tez çalışması	ATA50 Teleskobu, Erzurum (1855 m)	1.281 ± 0.525 cm^{-2} dk^{-1}

Aynı tarihlerde CCD ile eş zamanlı çalıştırılan kozmik ışın dedektörünün verileri Şekil 31'de sunulmuştur.



Şekil 31. Kozmik ışın dedektörünün CCD ile eş zamanlı kozmik ışın ölçümleri

Kara Akım görüntülerindeki akı ile kozmik ışın dedektöründen alınan akı değerlerini karşılaştırmak için daha uzun süreli ölçümlerin yapılması gerekemektedir. Sintilasyon dedektörü ile yapılan hesaplarda akı 0.0235 $cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}$ iken CCD ile alınan veriler de akı birimi 1.281 $cm^{-2}dk^{-1}$ yani 0.02135 $cm^{-2}s^{-1}$ olduğu için aralarında birimlerden de kaynaklı bir farklılık olmaktadır. Tek bir CCD ile steradyan açılı bir formül türetilmediği için yüzey alana birim zamanda düşen parçacıklar sayılabilmiştir. Bu haliyle de iki ayrı ölçümün birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile, 3170 metre rakımda kurulan DAG yerleşkesinde kozmik ışın ölçümleri yapılmıştır. Böylece Türkiye'de ilk defa bu yükseklikte bir kozmik ışın ölçümü gerçekleştirilmiştir. BAP ve DAG projeleri yardımıyla kurulan kozmik müon detektörleriyle ATASAM bünyesindeki TÜBİTAK kutup projesi kapsamında da Antarktika'da 16 günlük veri alarak yine Türkiye'nin kutuplardaki ilk kozmik ışın ölçümü gerçekleştirmiştir. DAG ve Antarktika'nın yanı sıra Mersin sahili ve Erzurum ili merkezinde de ölçümler yapılarak 0 metre ile 3170 metre rakım arasında dört noktanın kozmik ışın akı yoğunluğu haritası çıkartılmıştır. Ölçümler betonarme binalar içerisinde değil prefabrik yapılar içinde, açık alanlarda ve dedektör üzerinde büyük katmanların olmadığı ortamlarda yapıldığı için ölçüm sonuçlarında büyük kayıplar yoktur. Zira beton yapıların kozmik ışınları büyük oranda soğurduğu da tezde gösterilmiştir. Deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça ve ekvatordan kutuplara gidildikçe kozmik ışın akısının arttığı deneylerle gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarının uyumlu bir aralıkta olduğu görülmüştür.

Kozmik ışınların Güneş aktivitesi ile bağlantısı incelenmiştir. Güneş ile kozmik ışınlar arasında 11 yıllık ters bir korelasyon bulunmaktadır. Tez kapsamında yaklaşık 6 aylık elde ettiğimiz veriler bu korelasyonu göstermek için yeterli olmamıştır. Doğru bir korelasyon yakalayabilmek için uzun süreli gözlemlerin sürekli devam etmesi gerektiği anlaşılmıştır. Fakat Dünya'ya ulaşan kozmik ışın akısının 2020 yılı itibariyle düşüşe geçtiği 6 aylık ölçümlerimiz ile görülmüştür.

Kozmik ışınlar astroparçacık fiziği açısından önemli bir çalışma alanıdır. Fakat teleskoplar ile yapılan bilimsel gözlemlerde bir görüntü kirliliği ve gürültü olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda kozmik ışınların sensörler üzerindeki etkileri ile araştırmalar ve buna bağlı yazılımlar çoğalmıştır. Böylece birer gürültü olarak kabul edilen ve sadece görüntü kalibrasyonlarında kullanılan CCD Kara Akım (Dark) görüntüleri kozmik ışın gözlemleri için kullanılmaya başlanmıştır. Kozmik Işınların teleskoplardaki odak düzlemi aygıtlarına doğrudan etkilerini gözlemek amacıyla ATA50 Teleskobu'nda kullanılan CCD kamera ile yaklaşık bir aylık dark ölçümleri yapılmıştır. Dark görüntüleri üzerine düşen ve parlak pikseller oluşturan kozmik müon izleri geliştirilen yazılım ile tespit edilmiştir. Elde edilen parçacık sayıları yine literatürde CCD ile yapılmış deneyler ile karşılaştırılmıştır. CCD ile kozmik ışın tespiti için

daha fazla ve doğru alınmış veri gerektiği gözlenmiştir. Çünkü CCD görüntülerindeki kamera sıcaklığı, piksellerdeki bozukluklar, header bilgi, gürültü gibi birçok etken görüntüleri bozabilmektedir. Bu sebeple sürekli gözlem yapılan teleskoplarda Kara Akım görüntüleri alınırken teleskobun zenite yönlendirilmesi, en az 60 sn poz süresi verilmesi, binning yapılmaması, kameranın sıcaklığının stabil olması ve 20'den fazla görüntü alınmasına dikkat edilmelidir. Böylece ileriki bir tarihte bu veriler kullanılabilecektir. Fakat bu kriterler önemsenmediğinde biriken verinin çoğu hem kalibrasyonlarda hem de kozmik ışınların tespitinde işe yaramayacaktır.

Bu tez çalışması ile hedeflenen bir plastik sintilatörlü kozmik ışın dedektörü tasarlanmış ve çalışır hale getirilmiştir. Büyük ve küçük ebatlarda iki farklı dedektör üretilmiş olup, küçük dedektör ile farklı konumlarda ölçümler yapılabilmektedir. Büyük dedektör ile DAG yerleşkesinde sürekli gözlemler devam edecektir. DAG teleskobunun bir parçası olacak olan ATA50 Teleskobu ile de düzenli ve doğru Dark verileri alınmaya devam edilecektir. Ayrıca tezin önemli bir çıktısı olarak ulusal ve uluslararası iş birlikleri ile DAG yerleşkesine daha kapsamlı kozmik ışın dedektörleri ve nötron monitörlerinin kurulması planlanmıştır. Böylece uzun süreli ölçümler ile iklim değişikliği, Güneş aktivitesi, Güneş patlamaları, koronal kütle atımları, Forbush azalması, Süpernova patlamaları ve manyetik alan etkileşimleri gibi astrofiziksel olayların etkileri incelenebilecektir. Sürekli veri alan kozmik ışın dedektörü ile bir kozmik ışın istasyonu kurulması ve Dünya genelinde aktif olan kozmik ışın nötron monitör istasyonlarına benzer anlık veri akışının paylaşılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Aab, A., Abreu, P., Aglietta, M., Al Samarai, I., Albuquerque, I. F. M., ... & Heck, D. (The Pierre Auger Collaboration). (2017). Observation of a large-scale anisotropy in the arrival directions of cosmic rays above 8×10^{18} eV. Science, 357(6357), 1266-1270. doi: 10.1126/science.aan4338

Aartsen, M. G., Ackermann, M., Adams, J., Aguilar, J. A., Ahlers, M., Ahrens, M., ... & Karle, A. (2017). The IceCube Neutrino Observatory: instrumentation and online systems. Journal of Instrumentation, 12(03), P03012.

Abraham, J., Aglietta, M., Aguirre, I. C., Albrow, M., Allard, D., Allekotte, I., ... & Hoffer, D. (2004). Properties and performance of the prototype instrument for the Pierre Auger Observatory. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 523(1-2), 50-95.

Aguilar-Arevalo, A., Amidei, D., Baxter, D., Cancelo, G., Vergara, B. C., Chavarria, A. E., … Damic Collaboration. (2019). Constraints on light dark matter particles interacting with electrons from DAMIC at SNOLAB. Physical review letters, 123(18), 181802.

Allisy, A. (1996). Henri Becquerel: the discovery of radioactivity. Radiation protection dosimetry. 68(1-2), 3-10.

Anderson, Carl D. (1933). The Positive Electron. Physical Review 43(6):491–94.

Angelis, A. D. and Pimenta, M. (2018). Introduction to particle and astroparticle physics, Springer, 577.

Apogee, I.S. (2011). High Performance Cooled CCD Camera Systems. http://www.astrosurf.com/luxorion/Illustrations/apogee-ais-ccd-2011.pdf (10.12.2022)

Asuero, A. G., Sayago, A., González, A. G. (2006). The correlation coefficient: An overview. Critical reviews in analytical chemistry, 36(1), 41-59.

Atakan, M. (2014). Kars bölgesindeki kozmik ışın akı yoğunluğu. Yüksek Lisans Tezi. Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Kars.

Atasam. (2022). Dag Projesi. https://atasam.atauni.edu.tr/ (15.12.2022)

Aydın, G. (2018). Beton Çatıların Sintilatörlü Kozmik Işın Deneyleri Üzerindeki Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 22, 297-300 https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufenbed/issue/39695/470067

Binns, W. R., et al. (2005), Cosmic-ray neon, Wolf-Rayet stars, and the superbubble origin of galactic cosmic rays, Astrophys. J., 634, 351–364. doi:10.1086/496959.

Bonomi, G., Checchia, P., D'Errico, M., Pagano, D., & Saracino, G. (2020). Applications of cosmic-ray muons. Progress in Particle and Nuclear Physics, 112, 103768.

Bremer, J ve Nobels, F. (2015). Characterising the Cosmic Rays in a CCD. *Basic Detection Techniques*. Kapteyn Astronomical Institute.

Brun, R., Rademakers, F., Panacek, S., Antcheva, I., & Buskulic, D. (2003). The ROOT Users Guide. CERN, http://root.cern (20.12.2022)

Bütikofer, R. (2018). Ground-Based Measurements of Energetic Particles by Neutron Monitors. In: Malandraki, O., Crosby, N. (eds) Solar Particle Radiation Storms

Forecasting and Analysis. Astrophysics and Space Science Library. Springer, Cham. (444), 95-111. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60051-2_6

Castellina, A., & Donato, F. (2011). Astrophysics of galactic charged cosmic rays. arXiv preprint arXiv:1110.2981.

Cecchini, S. & Sioli, M. (2000). Cosmic ray muon physics. Istituto TESRE/CNR and INFN. arXiv: hep-ex/0002052

CERN. (2020). Cosmic rays: particles from outer space. https://home.cern/science/physics/cosmic-rays-particles-outer-space (22.09.2022)

Chatzidakis, S., Chrysikopoulou, S., & Tsoukalas, L. H. (2015). Developing a cosmic ray muon sampling capability for muon tomography and monitoring applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 804, 33-42.

Chromey, F. (2016). To Measure the Sky: An Introduction to Observational Astronomy (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781316424117

Clay, J. (1930). Ultra radiation (penetrating radiation) III: Annual variation and variation with the geographical latitude, Proc. R. Acad. Amsterdam, 33, 711–718.

Compton, A. H. (1932), Variation of the cosmic rays with latitude, Phys. Rev., 41, 111–113, doi:10.1103/PhysRev.41.111.2.

Crookes, J. N., & Rastin, B. C. (1972). An investigation of the absolute intensity of muons at sea-level. Nuclear Physics B, 39, 493-508.

Curtis McCully, Steve Crawford, Gabor Kovacs, Erik Tollerud, Edward Betts, Larry Bradley, Matt Craig, James Turner, Ole Streicher, Brigitta Sipocz, Thomas Robitaille, & Christoph Deil. (2018). astropy/astroscrappy: v1.0.5 Zenodo Release (v1.0.5). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.1482019

Dağ, M. K., Güver, T., Özkorucuklu, S., Bostancı, Z. F., Gürkan, G., Polatoğlu, A., & Yeşilyaprak, C. (2022). Taşınabilir Kozmik Müon Dedektörü ve Müon Akı Oranının Güneş Aktivitesi ile Korelasyonu. 22. Ulusal Astronomi Kongresi (UAK 2022). Ege Üniversitesi, İzmir.

Davoudifar, P., & Bagheri, Z. (2020). Determination of local muon flux using astronomical Charge Coupled Device. Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 47(3), 035204.

Ding, C. (2015). Cosmic Rays Muon Textbook, University of Washington Interlake High School

Dokkum, Pieter G. V. (2001). Cosmic-Ray Rejection by Laplacian Edge Detection. Astronomical Society of the Pacific, Volume 113, Issue 789, 1420-1427.

Dorman, L. I and Dorman, I. V. (2014). Cosmic Ray History (Space Science, Exploration and Policies). Nova Science Pub Inc.

Fernandez T, A. (2006). Cosmic ray studies at CERN. In AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics. 857(2), 407-418.

Fisher-Levine, M., & Nomerotski, A. (2015). Characterising CCDs with cosmic rays. Journal of Instrumentation. 10(08), C08006.

Flint, R. W., Hicks, R. B., & Standil, S. (1972). Variation with zenith angle of the integral intensity of muons near sea level. Canadian Journal of Physics. 50(8), 843-848.

Fukuda, Y., Hayakawa, T., Ichihara, E., Inoue, K., Ishihara, K., Ishino, H., ... & Super-Kamiokande Collaboration. (1998). Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos. Physical review letters. 81(8), 1562.

Gaisser, T. K., Engel, R. and Elisa Resconi (2016). Cosmic Rays and Particle Physics. 2nd ed. Cambridge University Press.

Gary, B. L. (2006). Image Subtraction Procedure for Faint Asteroids. http://brucegary.net/A86279/ISfor6128.html (13.07.2022)

Grieder, P. K. F. (2001). Cosmic Rays at Earth. Elsevier

Griffiths, D. (2020). Introduction to elementary particles. John Wiley & Sons.

Groom, D. (2004). Cosmic Rays and Other Nonsense in Astronomical CCD Imagers. In: Amico, P., Beletic, J.W., Beletic, J.E. (eds) Scientific Detectors for Astronomy. Astrophysics and Space Science Library, vol 300. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-2527-0_9

Hainaut, O. (1996). Basic image processing. https://www.eso.org/~ohainaut/ccd/CCD_artifacts.html (09.10.2022)

Hamamatsu. (2022). https://www.hamamatsu.com/jp/en/product/optical-sensors/pmt/pmt-module/current-output-type/H10721-110.html (01.10.2022)

Hillas, A. M. (2013). Cosmic Rays: The Commonwealth and International Library: Selected Readings in Physics. Elsevier.

Homola, P., Beznosko, D., Bhatta, G., Bibrzycki, Ł. et al. (2020). Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory (CREDO). Symmetry. 12(11), 1835. https://doi.org/10.3390/sym12111835

Horrocks, D. (Ed.). (2012). Organic Scintillators and Scintillation Counting. Elsevier.

Howell, S. (2006). Handbook of CCD Astronomy (2nd ed., Cambridge Observing Handbooks for Research Astronomers). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511807909

Iori, M., Arslan, E. Denizli, H., Kaya, M., Yılmaz, A. & Russ, J. (2012). Electron–muon identification by atmospheric shower in a new concept of an EAS detector, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 692, 285-287.

Iori, M., Sergi, A. (2008). An orientable time-of-flight detector for cosmic rays. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 588(1-2), 151-154.

Israel, M.H. (2012). Cosmic rays: 1912–2012, EOS Transactions, Amerıcan Geophysıcal Unıon. 93(39), 373-384. https://doi.org/10.1029/2012EO390001

J. Blümer, R. Engel, and J. R. Hörandel. (2009). Cosmic rays from the knee to the highest energies. Progress in Particle and Nuclear Physics. 63, 293–338.

J. Linsley. (1963). Evidence for a Primary Cosmic-Ray Particle with Energy 10^{20} eV. Physical Review Letters. 10(4), 146–148.

Jakeman, D. (1956). Production of cosmic ray mesons at large zenith angles. Canadian Journal of Physics. 34(5), 432-450.

Jokipii, J. R. (1973). Radial variation of magnetic fluctuations and the cosmic-ray diffusion tensor in the solar wind. The Astrophysical Journal, 182, 585-600.

Jothe, M. & Shrivastava, P. (2011). Effects of recent solar events on cosmic rays and Earth's geomagnetic field. Indian Journal of Radio and Space Physics. 40, 179-182.

Kampert, K. H., & Watson, A. A. (2012). Extensive air showers and ultra high-energy cosmic rays: a historical review. The European Physical Journal H. 37(3), 359-412.

Kananen, H., Tanskanen, P. J., Gentile, L. C., Shea, M. A., & Smart, D. F. (1991). A quarter of a century of relativistic solar cosmic ray events recorded by the Oulu neutron monitor. In International Cosmic Ray Conference. 3, 145.

Karmakar, N. L., Paul, A., Chaudhuri, N. (1973). Measurements of absolute intensities of cosmic-ray muons in the vertical and greatly inclined directions at geomagnetic latitudes 16° N. Il Nuovo Cimento B. 17(1), 173-186.

Kitchin, C.R. (2003). Astrophysical Techniques (4th ed.). IOP Publising.

Lara, A., Gopalswamy, N., Caballero-López, R. A., Yashiro, S., Xie, H., & Valdés-Galicia, J. F. (2005). Coronal mass ejections and galactic cosmic-ray modulation. The Astrophysical Journal. 625(1), 441.

LeBohec, S., & Holder, J. (2003). The cosmic ray background as a tool for relative calibration of atmospheric Cherenkov telescopes. Astroparticle Physics. 19(2), 221-233.

Lilley, J. (2013). Nuclear physics: principles and applications. John Wiley & Sons.

Lodders, K. (2003). Solar system abundances and condensation temperatures of the elements, Astrophys. J., 591, 1220–1247, doi:10.1086/375492.

Longair, S. M. (2011). High Energy Astrophysics. University of Cambridge.

Lubsandorzhiev, B. K. (2006). On the history of photomultiplier tube invention. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 567(1), 236-238.

Ludovici, L., & Terranova, F. (2010). Electron neutrino tagging through tertiary lepton detection. The European Physical Journal C. 69(1), 331-339.

Lyons, L., & Louis, L. (1991). A practical guide to data analysis for physical science students. Cambridge University Press.

Makhmutov, V. S., Bazilevskaya, G. A., Stozhkov, Y. I., Svirzhevskaya, A. K., & Svirzhevsky, N. S. (2016). Catalogue of electron precipitation events as observed in the long-duration cosmic ray balloon experiment. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 149, 258-276.

McCully, C., Tewes, M. (2019). Astro-SCRAPPY: Speedy Cosmic Ray Annihilation Package in Python. Astrophysics Source Code Library, ascl-1907. doi: https://zenodo.org/record/1482019

Meehan, M., Bravo, S., Campos, F., Ruggles, T., Schneider, C., Vandenbroucke, J., Winter, M., Peacock, J., & Simons, A. L. (2017). The particle detector in your pocket: The Distributed Electronic Cosmic-ray Observatory. Proceedings of Science. https://doi.org/10.48550/arxiv.1708.01281

Morishima, K., Kuno, M., Nishio, A. et al. (2017). Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons. Nature. 552, 386–390. https://doi.org/10.1038/nature24647

Neddermeyer, S. H. and Anderson, C. D. (1937). Note on the Nature of Cosmic Ray Particles. Phys. Rev. 51, 884–886. doi:10.1103/PhysRev.51.884.

Nevod Collaboration. (2005). 29th International Conference. Pune. 101–104.

Orman, Y. (2019). CCD Kara Akım (Dark) görüntülerinden kozmik ışın (müon) akısı ölçümü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Oulu. (2022). Cosmic Ray Station of the University of Oulu. Neutron Monitor Database. https://cosmicrays.oulu.fi/ (31.11.2022)

Peraza, J. A. P. (2013). Homage to the discovery of cosmic rays, the meson-muon and solar cosmic rays. Nova Publisher.

Perez-Peraza, J. A. (2013). Homage to the discovery of cosmic rays, the meson-muon and solar cosmic rays. Nova Publishers.

Perihanoğlu, G. M. (2015). Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pethuraj, S., Datar, V. M., Majumder, G., Mondal, N. K., Ravindran, K. C., and Satyanarayana, B. (2017). Measurement of Cosmic Muon angular distribution and vertical integrated flux by 2 m× 2 m RPC stack at IICHEP-Madurai., Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, vol.09, 021.

Pickup, E., & Voyvodic, L. (1951). Observations on Some High Energy Cosmic-Ray Collisions in Photographic Emulsions. Physical Review, 84(6), 1190.

Pierre Auger Collaboration. (2015). The Pierre Auger cosmic ray observatory. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 798, 172-213.

Qwerty (2022). Photo Multiplier Tube and Scintillator. CC BY-SA 3.0. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62426194 (13.12.2022)

R.L. Workman et al. (2022). (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2022, 083C01.

Radec. (2022). DRS4 Manuel. https://www.radec.ch/product-page/drs4-evaluation-board (01.10.2022)

Reames, D. V. (2021). Solar Energetic Particles (A Modern Primer on Understanding Sources, Acceleration and Propagation). 2nd ed. Springer.

Ridgen, J. S. (2003). Building Blocks Of Matter, Macmillan Reference USA, 143-145, USA.

Rossi, B. B. (1964). Cosmic Rays. New York, McGraw-Hill.

Roy, S., Chakraborty, S., Chatterjee, S., Biswas, S., Das, S., Ghosh, S. K., ... & Raha, S. (2019). Plastic scintillator detector array for detection of cosmic ray air shower. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 936, 249-251.

Schröder, F.G. (2012). Instruments and Methods for the Radio Detection of High Energy, Cosmic Rays, Springer Theses, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-33660-7_2.

Shalomeo. (2022). Optic Materials. https://www.shalomeo.com/Scintillators/SP101-Plastic-Scintillators/product-379.html (01.10.2022)

Sigl, G., Schramm, D. N., & Bhattacharjee, P. (1994). On the origin of highest energy cosmic rays. Astroparticle Physics, 2(4), 401-414.

Simpson, J. (1983). Elemental and isotopic composition of Galactic cosmic rays, Annual Reviews of Nuclear and Particle Science, 33, 323–381.

Spurio, M. (2018). Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged Cosmic Rays, Neutrinos, γ-Rays and Gravitational Waves. 2nd ed. Cham, Springer International Publishing, Switzerland.

Stanev, T. (2010). High Energy Cosmic Rays. Springer, England.

Statler, T. (2008). Ohio University. Cosmic Rays. http://www.phy.ohiou.edu/~tss/ASTR410/cosmicrays.html (07.08.2022)

Stuart Parkerson. (2018). CREDO, DECO and CRAYFIS Apps Leverage the Particle Detector in Your Smart Phone. Astronomy Technology Today.

SWPC. (2022). National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA), Space Weather Prediction Center (SWPC). https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression (20.11.2022)

Şatır, O., Yeşilyaprak, C., Akınoğlu, B. G. (2021). Examination of Antarctic temporary Turkish research region in terms of atmospheric and astronomical quality and preliminary studies and tests for future astronomical and atmospheric research. TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü. 5. Ulusal Kutup Bilimleri Çalıştayı Özet Kitabı. Kocaeli.

Tezcan C. T., Tezcan F., Balbay R., Yeşilyaprak C. (2021). ATA50 Teleskobu ile gök cisimlerinin ışık ölçüm gözlemleri. Journal of Anatolian Physics and Astronomy. 1(2): 72-76.

The Tibet ASγ Collaboration. (2021). Potential PeVatron supernova remnant G106.3+2.7 seen in the highest-energy gamma rays. Nat Astron. (5)460–464. https://doi.org/10.1038/s41550-020-01294-9

Voronin, A. (2022). Cosmic Ray Finder (CRF). https://foxylab.com/CRF.php?en (02.08.2022)

Wang, K., Estrade, A., Neupane, S., Barber, M., Famiano, M., Ginter, T., Zimba, G. (2020). Plastic scintillation detectors for time-of-flight mass measurements. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 974, 164199.

Weekes, T. C., Badran, H., Biller, S. D., Bond, I., Bradbury, S., Buckley, J., ... & Wakely, S. P. (2002). VERITAS: the very energetic radiation imaging telescope array system. Astroparticle Physics. 17(2), 221-243.

Wiedenbeck, M. E., et al. (1999). Constraints on the time delay between nucleosynthesis and cosmic-ray acceleration from observations of ^{59}Ni and ^{59}Co, Astrophys. J., 523, L61–L64. doi:10.1086/312242.

Wilson, B. G. (1959). A study of μ-mesons incident at large zenith angles. Canadian Journal of Physics. 37(1), 19-29.

Yanasak, N. E., et al. (2001), Measurement of the secondary radionuclides ^{10}Be, ^{26}Al, ^{36}Cl, ^{54}Mn, and ^{14}C and implications for the galactic cosmic-ray age, Astrophys. J., 563, 768–792. doi:10.1086/323842.

Yesilyaprak, C., Keskin, O., & Jolissaint, L. (2022). Eastern Anatolia Observatory (DAG): the status in 2022, towards the first light. In Ground-based and Airborne Telescopes IX. SPIE. 12182, 330-341.

Yeşilyaprak, C. (2020). Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Projesi: Dünü, Bugünü, Geleceği. Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, 1(1), 57-59.

Yıldız, A. (2008). Deniz Seviyesinde Kozmik Işın Akı Oranı ve Uçuş Zamanının Bir Sintilasyon Dedektörü ile Tespit Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.

Yılmaz, A., Oyulmaz, K. Y., & Denizli, H. (2018). Angular Dependence Study of the Cosmic Ray Flux at 900 Meters above Sea Level. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 13(2), 1-8.

Zaitseva, N. P., Glenn, A. M., Mabe, A. N., Carman, M. L., Hurlbut, C. R., Inman, J. W., & Payne, S. A. (2018). Recent developments in plastic scintillators with pulse shape discrimination. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 889, 97-104.

Ziegler, J. F. (1996). Terrestrial cosmic rays. IBM journal of research and development, 40(1), 19-39.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	**:**	Ahmet POLATOĞLU
Doğum tarihi	**:**	
Doğum Yeri	**:**	
Uyruğu	**:**	
Adres	**:**	
E-mail	**:**	
Eğitim		
Lise	**:**	Mehmet Akif Ersoy Lisesi, Elâzığ (2007)
Lisans	**:**	Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği (2013)
Yüksek lisans	**:**	Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği (2016)
Doktora	**:**	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi & Astrofizik Anabilim Dalı (2022)
Yabancı Dil Bilgisi		
İngilizce	:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar		
Türk Astronomi Derneği (TAD)		
European Astronomical Society (EAS)		
Tezden Üretilmiş Yayınlar		
Polatoğlu, A., Yeşilyaprak, C., Niaei, M.S. & Kaya, M. (2022). Doğu Anadolu Gözlemevi'ne (DAG) Yönelik İlk Kozmik Işın Dedektörünün Kurulması ve Test Ölçümleri. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3(2), 21-25. (Makale)		
Polatoğlu, A., & Özkesen, İ. C. (2022). Working Principles of CCD and CMOS Sensors and Their Place in Astronomy. *Journal of Anatolian Physics and Astronomy*, 2(1), 51-59. (Makale)		
Salman Ö. & Polatoğlu A. (2021). The Effect and Importance of Cosmic Rays in Astrophysics. *1st International Symposium on Recent Advances in Fundamental and Applied Sciences (ISFAS2021),* Erzurum, Türkiye, 10 Eylül 2021, ss.437-441. (Bildiri)		
Polatoğlu, A., Yeşilyaprak, C., Şatır, O., & Kaya, M. (2022). Turkey's First Cosmic-Ray Muon Measurements in Antarctica. *10th International Symposium on Atmospheric Sciences (ATMOS)*, 18- 21 October 2022 İstanbul – Türkiye. (Bildiri)		