



**İÇ ANADOLU BÖLGESİ YER SEVİYESİ KOZMİK RADYASYON
DOZUNUN SİMÜLASYON YOLUYLA HESAPLANMASI**

Caner SEÇKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2018

Caner SEÇKİN tarafından hazırlanan “İÇ ANADOLU BÖLGESİ YER SEVİYESİ KOZMİK RADYASYON DOZUNUN SİMÜLASYON YOLUYLA HESAPLANMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Pervin ARIKAN

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Avni AKSOY

Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Aynur ÖZCAN

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 02/11/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Caner SEÇKİN

02/11/2018

İÇ ANADOLU BÖLGESİ YER SEVİYESİ KOZMİK RADYASYON DOZUNUN SİMÜLASYON YOLUYLA HESAPLANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Caner SEÇKİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2018

ÖZET

Galaksiden ve güneş sisteminden gelen kozmik ışınlar atmosfere girer ve enerjileri bitene kadar hava molekülleriyle çarpışır. Yer seviyesinde kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon dozu deneysel olarak ölçülebilir veya bazı simülasyon kodları (CARI6, FLUKA, EXPACS, EPCARD) kullanılarak hesaplanabilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin İç Anadolu bölgesindeki 13 şehir merkezi için FLUKA simülasyon programı kullanılarak zemin seviyesinde kozmik radyasyon dozları hesaplanmıştır. Simülasyonun uygulanmasında, Monte Carlo iterasyonunun sonuçları özel geometri ve parametreler kullanılarak elde edilmiştir. (Güneş modülasyonu, manyetik alan, vb.). En yüksek doz hızı yada doz oranı Yozgat'ta $532 \mu\text{Sv} / \text{y}$, en düşük doz hızı yada doz oranı ise $424 \mu\text{Sv} / \text{y}$ olarak Çankırı'da bulunmuştur. Ayrıca, sonuçların karşılaştırılması için aynı hesaplamalar CARI6 ve EXPACS programları tarafından yapılmıştır. Sonuçlar tüm şehir merkezleri için uyum içerisindedir. Bu çalışma, Türkiye'nin doğal radyasyon kütüphanesine önemli bir katkı sağlamaktadır. Diğer bölgeler için çalışmalar devam etmektedir.

Bilim Kodu : 20228
Anahtar Kelimeler : FLUKA, CARI6, EXPACS, kozmik ışın, kozmik radyasyon dozu, iç anadolu bölgesi
Sayfa Adedi : 79
Danışman : Prof. Dr. Pervin ARIKAN

ESTIMATION OF COSMIC RADIATION DOSES AT GROUND LEVEL IN
CENTRAL ANATOLIA BY SIMULATION TECHNIQUES

(M. Sc. Thesis)

Caner SEÇKİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2018

ABSTRACT

The cosmic rays from the galaxy and the solar system enter the atmosphere and collide with the air molecules until the energies are exhausted. The cosmic rays dose at ground-level can be experimentally measured or can be calculated by using some simulation codes (CARI6, FLUKA, EXPACS, EPCARD). In this work, ground-level cosmic radiation doses were calculated using FLUKA simulation program for 13 city centers in Central Anatolia region in Turkey. In the implementation of the program, the results of the Monte Carlo iteration were achieved using special geometry and parameters (solar modulation, magnetic field, etc.). The highest dose was found as 532 $\mu\text{Sv/y}$ in Yozgat and the lowest dose 424 $\mu\text{Sv/y}$ in Çankırı. Also, the same calculations were made by CARI6 and EXPACS programs for the comparison of the results. The results are in good agreement for all city centers. This study makes an important contribution to the library of natural radiation of Turkey. Investigations are being carried out in other regions.

Science Code : 20228
Key Words : FLUKA, CARI6, EXPACS, cosmic rays, cosmic radiation dose,
central anatolia region
Page Number : 79
Supervisor : Prof. Dr. Pervin ARIKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlık sürecinde değerli bilgileri ve önerileri ile beni yönlendirerek destek olan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, “Gazi Üniversitesi”nde çalışmalarını sürdüren tez danışmanım ve değerli hocam sayın Prof.Dr.Pervin ARIKAN'a, “Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi”nde çalışmalarını sürdüren sayın Dr.Aydın PARMAKSIZ hocama ve FLUKA simülasyonu konusunda değerli katkılarını esirgemeyen “CERN EN/STI”de çalışmalarını sürdüren fizikçi Luigi Salvatore Esposito'ya da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOZMİK IŞINLAR.....	5
2.1. Kozmik Işın Kaynakları	5
2.1.1. Hillas kriteri	5
2.2. Kozmik Işınlrın Yapısı ve Spektrumu	8
2.3. Galaksideki Yayılım Mekanizmaları	13
2.3.1. Güneş.....	14
2.3.2. Güneşin katmanları	15
2.4. Manyetosfer, Heliosfer ve Güneş Rüzgarları	15
2.4.1. Güneş rüzgarını etkileyen faktörler.....	19
2.5. Kozmik Işınlrın Sapması	19
2.6. İvmelenme Mekanizmaları.....	21
2.6.1. Fermi ivmelenmesi.....	21
2.6.2. Şok ivmelenmesi	24

3. DÜNYAMIZIN ATMOSFERİ VE KATMANLARI	27
3.1. Atmosferin Kimyasal Kompozisyonu	28
4. KAPSAMLI HAVA DUŞLARI.....	29
4.1. Elektromanyetik Duş.....	30
4.2. Hadronik Duş.....	33
4.3. Çerenkov Etkisi	36
4.4. Floresans Etkisi.....	37
4.5. Kozmojenik Radyonüklitler.....	37
5. YER SEVİYESİNDE KOZMİK IŞINLAR	39
5.1. Nötron Kaynaklı Radyasyon.....	41
6. KOZMİK RADYASYON DOZU VE İNSAN SAĞLIĞI.....	43
6.1. Kozmik Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerinde Etkileri.....	44
6.1.1. Enlem etkileri	45
6.1.2. İrtifa etkileri	46
7. İÇ ANADOLU BÖLGESİ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ	51
8. RADYASYON DOZ HESAPLAMALARINDA KULLANILAN SİMÜLASYON PROGRAMLARI.....	53
8.1. FLUKA Simülasyon Programı.....	53
8.1.1. Monte carlo yöntemi	54
8.1.2. FLUKA’da enerji limitleri	54
8.1.3. FLUKA’da kullanılan birim sistemi	55
8.1.4. FLUKA’da giriş dosyasının oluşturulması	55
8.1.5. FLUKA’da kozmik ışınlar	56

	Sayfa
8.1.6. FLUKA atmosfer modeli	57
8.1.7. FLUKA dedektörleri	58
8.1.8. İç Anadolu bölgesi illeri	59
8.2. CARI6 Programı	60
8.3. EXPACS Programı	60
9. TARTIŞMA ve SONUÇ	63
9.1. FLUKA'dan Elde Edilen Spektrum Grafikleri	63
9.2. Elde Edilen Sonuçlar	70
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Güneşin özellikleri.....	14
Çizelge 4.1. Parçacıkların sınıflandırılması	30
Çizelge 4.2. UNSCEAR 2000 raporu kozmojenik radyonüklit oranları.....	37
Çizelge 6.1. Radyasyon ağırlık faktörleri	44
Çizelge 6.2. Deniz seviyesinde nüfus ve enleme göre etkin doz oranları.....	48
Çizelge 7.1. İç Anadolu bölgesi nüfus yoğunluğu	52
Çizelge 8.1. FLUKA’da kullanılan enerji limitleri	55
Çizelge 8.2. FLUKA’da kullanılan birimler	55
Çizelge 8.3. US standart atmosfer çizelgesi.....	58
Çizelge 8.4. İç Anadolu bölgesi il merkezlerinin koordinat ve deniz seviyesinden yükseklikleri	59
Çizelge 9.1. Üç programdan elde edilen yıllık ortalama doz oranları	71
Çizelge 9.2. CARI6 sonuçları (Parmaksız, 2015) ile bu çalışma sonuçlarının karşılaştırılması	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hillas grafiği	6
Şekil 2.2. Süpernova şok cephesi.....	7
Şekil 2.3. 1 TeV’de elementlerin bulunma oranları($Z<28$)	9
Şekil 2.4. Farklı deneylerden farklı kütleli grupların kozmik ışın spektrumları.....	9
Şekil 2.5. Kozmik ışınlar için tüm parçacıkların spektrumu	11
Şekil 2.6. Kozmik ışınlar için tüm parçacıkların spektrumunda dedeksiyon bölgeleri	12
Şekil 2.7. Güneşin katmanları.....	14
Şekil 2.8. Van Allen kuşakları	16
Şekil 2.9. Manyetosferin gösterimi.....	17
Şekil 2.10. Güneşin manyetik alanı	18
Şekil 2.11. Dünyanın manyetik alanı çizimi.....	20
Şekil 2.12. Fermi hızlanma mekanizmaları	22
Şekil 2.13. Şok ivmelenme mekanizması	24
Şekil 3.1. Atmosferin katmanları	27
Şekil 4.1. Kapsamlı hava duşları bileşenleri.....	29
Şekil 4.2. Kapsamlı hava duşları.....	30
Şekil 4.3. Heitler modeli grafiği	31
Şekil 4.4. Hava duşunun çağlayan modeli	34
Şekil 4.5. Çerenkov etkisi	36
Şekil 5.1. Atmosferik yoğunluğa göre parçacık bileşimi.....	40
Şekil 8.1. FLUKA’da atmosfer katmanları.....	57
Şekil 9.1. Çankırı ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 9.2. Kırıkkale ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği.....	64
Şekil 9.3. Eskişehir ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği.....	65
Şekil 9.4. Ankara ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği.....	65
Şekil 9.5. Aksaray ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	66
Şekil 9.6. Kırşehir ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği.....	66
Şekil 9.7. Konya ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	67
Şekil 9.8. Karaman ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	67
Şekil 9.9. Kayseri ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	68
Şekil 9.10. Nevşehir ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	68
Şekil 9.11. Niğde ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	69
Şekil 9.12. Sivas ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	69
Şekil 9.13. Yozgat ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği	70

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 7.1. İç anadolu bölgesi illeri	51



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	İvme
Ar	Argon
AU	Astronomic Unit (Astronomik birim)
B	Bor
B	Manyetik Alan
Be	Berilyum
Bq	Becquerel
C	Karbon
C	Celsius
c	Işık Hızı
cm³	Santimetreküp
Cr	Krom
$D_{T,R}$	Dokuda absorbe edilen eşdeğer doz
ϵ_0	Elektrik geçirgenliği katsayısı
E	Elektrik Alan
e	Elektron
E	Enerji
eV	Elektronvolt
Fe	Demir
GeV	Gigaelektronvolt
GV	Gigavolt
Gy	Gray
H	Hidrojen
He	Helyum
J	Joule
K	Kelvin
keV	Kiloelektronvolt

Simgeler**Açıklamalar**

km	Kilometre
Li	Lityum
m	Kütle
m²	Metrekare
mBq	Milibecquerel
MeV	Megaelektronvolt
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
mSv	Milisievert
MV	Megavolt
N	Azot
n	Nötron
n_d	Elektron yoğunluğu
Ne	Neon
nm	Nanometre
N_{max}	Duş maksimumunda elektron, pozitron ve foton sayısı
O	Oksijen
P	Momentum
p⁺	Proton
PBq	Petabecquerel
pSv	Pikosievert
q	Yük
R	Röntgen
Rad	Radyasyon absorbe doz birimi
R_c	Rijitlik
r_E	Dünyanın Yarıçapı
Rem	Biyolojik doku için absorbe edilen doz birimi
s	Saniye
S	Sülfür
Sc	Skandiyum
Si	Silisyum

Simgeler**Açıklamalar**

Sr	Katı Açı
Sv	Sievert
T	Tesla
TeV	Teraelektronvolt
Ti	Titanyum
v	Hız
V	Vanadyum
w_R	Dozlar İçin Ağırlık Faktörü
X_{max}	Dış Maksimumuna Ulaşılan Nokta
Z	Nükleer Yük (Atom numarası)
ZeV	Zetaelektronvolt
γ	Gama
γ	Spektral İndeks
Λ	Heitler Modelinde Yol
λ	Jeomanyetik Enlem
μs	Mikrosaniye
μSv	Mikrosievert
π	Pion
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AGN	Aktive Galactic Nuclei (Aktif Galaktik Çekirdek)
AMS	The Alpha Magnetic Spectrometer (Alfa Manyetik Spektrometre)
BB	Beta-beam Task (Beta Işınımı Görevi)
CERN	European Council for Nuclear Research
CNGS	CERN Neutrinos to Gran Sasso
CREAM	The Cosmic Ray Energetics And Mass
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit

Kısaltmalar**Açıklamalar****EXPACS**EXcel-based Program for calculating Atmospheric
Cosmic-ray Spectrum**LAT**

Large Array Telescope

SN

Süpernova



1. GİRİŞ

Dünyamız sürekli olarak uzayın her yerinden gelen kozmik ışınlara maruz kalmaktadır. Atmosferin üst kısmına gelen kozmik ışınlar, atmosfere girdiğinde hava molekülleriyle çarpışır. Bu çarpışmalar kozmik ışınların enerjisi kalmayana kadar devam eder. Atmosfere gelen kozmik ışınlara birincil kozmik ışınlar denir. Birincil kozmik ışınların atmosferle etkileşimi sonucu ikincil kozmik ışınlar oluşur.

Kozmik ışınların insan sağlığı üzerine etkileri vardır. Dünyamıza gelen kozmik ışınlar tarafından maruz kaldığımız doz UNSCEAR kuruluşunun 2000 yılı raporunda 0,38 mSv/y olarak verilmiştir (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000).

Kozmik ışınlarla ilgili çalışmaların başlangıcı, Charles Coulomb'un elektroskop ile yaptığı deneylerdir (Coulomb, 1785). Coulomb, yüklü cisimler tarafından kaybedilen yüklerin sebebinin sadece izolasyondaki yetersizlik olmadığını düşünmüştür. Yüklü bir cismin hava ile teması sırasında, cisimdeki yük dengesinin bozulduğu sonucuna varmıştır. Radyoaktif bir materyalin varlığında, şarjlı elektroskop boşalır. Bazı elementlerin yüklü parçacıklar üretebildikleri, elektroskopların deşarjına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Radyoaktivite seviyesini ölçmek için elektroskopların deşarj oranı kullanılmıştır.

Elster ve Geitel (Elster ve Geitel, 1900), yaptıkları çalışmalar esnasında havanın iletkenliğini incelemek adına coğrafi konuma, yüksekliğe ve atmosferik koşullara bağlı olarak çalışacak özel bir cihaz geliştirmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda havadaki temel iyonizasyon kaynağının, atmosferde birikmiş radyoaktif maddeler ve Dünya'nın kabuğunda bulunan radyoaktif maddeler olduğunu düşünmüşlerdir.

1900 yılında Elster ve Geitel'in çalışmalarından bağımsız olarak havadaki iyonların bilinmeyen kaynağı, Wilson (Wilson, 1900) tarafından bulunmuştur. Elde ettiği sonuçlarla Wilson, iyonlayıcı radyasyonun dünya dışı kaynaklardan geldiğini düşünmüştür. 1911'de "bulut odası" ya da "Wilson odası" dedektörü ile 1927'de Nobel Fizik Ödülü almıştır.

Karl Kurz'un 1909'daki incelemesinde (Kurz, 1909), radyasyon için üç olası kaynak tartışılmaktadır. Bu olası kaynaklar ise Güneş'ten gelen radyasyon, dünyanın kabuğundan gelen radyasyon ve atmosferdeki radyasyon olarak verilmiştir.

Pacini 1906 - 1911 yılları arasında yer seviyesi (deniz seviyesi de dahil olmak üzere farklı yüksekliklerde ve yerel etkileri incelemek için farklı yerlerdeki) ve denizde radyasyonun sistematik ölçümleri için deneysel çalışmalar yapmıştır (Pacini, 1909).

Victor Hess (Hess, 1912), gama radyasyonunun kaynağından olan uzaklığı ile yoğunluğunun arasındaki ilişkiyi araştırmaya başlamıştır. 1912 yılında balon ile gerçekleştirdiği deneyinde yer seviyesinden yaklaşık 1 kilometre yukarıya kadar iyonizasyonun değişmediğini görmüştür. Fakat yer seviyesinden yaklaşık olarak 5 kilometre yüksekliğe ulaştığında, iyonlaşma oranının birkaç kez arttığını gözlemlemiştir. Yaptığı bu deney ile dünya dışından bilinmeyen bir iyonizasyon kaynağının var olduğu sonucuna varmıştır. Buna da "Yüksek Rakım Radyasyonu" ismini vermiştir.

Bu sürecin devamında kozmik ışınların doğasını anlamak için dedektörler geliştirilmiş, uydu ve balon deneyleri yapılmıştır.(CREAM, AMS, KASCADE, PAMELA vb.)

Kozmik ışın kompozisyonu ve spektrumları, 10^5 GeV'ye kadar doğrudan ölçümler (balon kaynaklı ve uydu deneyleri) ve en yüksek enerjilerde dolaylı yöntemler (yer tabanlı büyük boyutlu cihazlar) ile araştırılmaktadır. Uydu ve yer tabanlı dedektör deneylerine örnek olarak PAMELA, Fermi-LAT ve AMS-02 gösterilebilir. PAMELA deneyi, İtalya, Rusya, Almanya ve İsveç'ten enstitüler ve üniversitelerin ortaklığı ile gerçekleştirilmiştir. Resurs-DK1 Rus uydusuna, PAMELA dedektörü monte edilmiştir. PAMELA, 70° 'lik bir eğimle, 350 ile 610 kilometre arasındaki bir yükseklikte kutupsal bir eliptik yörüngeye yerleştirilmiştir. 2009 yılında 100 GeV'e kadar pozitron fraksiyonunun ölçümünü yayınlamıştır. Büyük Alan Teleskopu (LAT), Fermi Gama Işın Uzay Teleskobu uzay aracının temel bilimsel aracı olarak kullanılmaktadır. LAT bünyesinde çalışan 12 ülkeden 90'dan fazla üniversite ve laboratuvar bulunmaktadır. Fermi LAT, 20 MeV ile 300 GeV arasında ölçülen enerji aralığında incelemeler yapabilen ve gökyüzünün yaklaşık % 20'sini kapsayan bir gama-ışını teleskopudur. Temel bilimsel amacı gamma ışını astronomisidir. Bunun yanında diğer bir özelliği ise, LAT'ın elektron algılama için iyi bir araç olmasıdır. LAT, çalışmaları

kapsamında 7 GeV'den 1 TeV'e kadar elektron ve pozitron spektrumunu gözlemek ve ölçmek için kullanılmıştır.

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02), 19 Mayıs 2011 tarihinde STS-134 servis uçuşunda ULF6 istasyonunun bir parçası olarak Uluslararası Uzay İstasyonu üzerinde kurulmuş olan genel amaçlı yüksek enerjili bir parçacık detektörüdür. Amerika Birleşik Devletleri ile Asya ve Avrupa'daki 56 Enstitü'den yaklaşık 500 bilim insanının uluslararası işbirliği ile çalışmalar yürütülmüştür. (Berdugo, 2016).

Kozmik ışınların doğasını anlamak, kaynaklarını tespit edebilmek, enerji spektrumlarını incelemek, dünya atmosferinin dışında ve içinde nasıl davrandıklarını anlayabilmek adına basit deney düzenekleriyle başlayıp büyük dedektör tasarımlarıyla devam eden kozmik ışınlarla ilgili çalışmalar bu sürecin devamında çeşitli simülasyon programlarının geliştirilmesiyle devam etmiştir. CARI6, EXPACS, SIEVERT, EPCARD bunlardan birkaçıdır. Deney düzeneklerinde kullanılacak cihazların üretilmesi ve dedektörlerin inşa edilmesi gibi süreçlerde yüksek bir bütçeye, fazla iş gücüne ve zamana ihtiyaç duyulur. Deney düzeneklerinden ve simülasyonlardan alınan sonuçlar karşılaştırıldığında yüksek oranda uyumlu olmaları simülasyon programlarını avantajlı hale getirmektedir. Günümüzde inşa edilmesi düşünülen cihazlar ve düzenekler öncelikli olarak bu programlarla simüle edilip daha sonra gerçek kurulumlar yapılmaktadır. Böylelikle maliyet, iş gücü ve zamandan tasarruf edilmektedir. Simülasyon programları arasında güvenilir, hassas ve detaylı hesaplamalar yapmak için Monte Carlo tabanlı bir program olan FLUKA programı da kullanılmaktadır. Örnek bir çalışma olarak (Infantino ve diğerleri, 2016) Vancouver ve New York şehirleri için kozmik ışın akıları FLUKA programı kullanılarak hesaplanmıştır ve kozmik ışın dedektörlerinden alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada FLUKA programından alınan sonuçlarla dedektör sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Bir başka örnek olarak, maruz kalınan kozmik radyasyon dozu, yer seviyesi ve uçuş yükseklikleri için CARI6 programıyla Türkiye illeri için hesaplanmıştır (Parmaksız, 2016).

Bu tez çalışmasında kozmik ışınlar sebebiyle maruz kaldığımız radyasyon dozu FLUKA simülasyon programıyla Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi için hesaplanmıştır. Ayrıca CARI6 ve EXPACS programlarıyla da aynı hesaplamalar yapılmıştır. FLUKA simülasyon programının seçilmesindeki en büyük etken, dünya geometrisinin ve dünya atmosferinin gerçeğine çok uygun olarak simüle edilebilmesidir. İç Anadolu Bölgesi'nin tarım,

hayvancılık, ekonomi, turizm ve nüfus olarak gelişmiş bir bölge olması, bu tez çalışmasında bu bölgenin incelenmesinin nedenidir.

Tezin ilk bölümünde kozmik ışınların keşfine ve devam eden süreçteki kozmik ışın çalışmalarının nasıl gelişim gösterdiklerine değinilmiştir.

İkinci bölümde kozmik ışın kaynakları, kozmik ışınların yapısı, dünyaya geliş mekanizmaları incelenmiştir. Üç, dört ve beşinci bölümlerde sırasıyla dünya atmosferi, kozmik ışınların dünya atmosferindeki ve yer seviyesindeki davranışları ortaya konmuştur. Altıncı bölümde kozmik ışınlardan dolayı maruz kaldığımız radyasyon dozları ve insan sağlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yedi, sekiz ve dokuzuncu bölümlerde ise önce hesaplamaların yapıldığı İç Anadolu Bölgesi tanıtılmış, sonrasında ise hesaplamalarda kullanılan programlar karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu tez çalışmasının amacı kozmik ışınların sebep olduğu radyasyon dozlarını FLUKA, CARI6 ve EXPACS programlarıyla hesaplayarak Türkiye'nin radyasyon haritasının oluşturulmasına katkı sağlamaktır.

Ülkemizde daha önce FLUKA simülasyonu kullanılarak kozmik ışınlarla ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Türkiye'de FLUKA ile daha çok zırlama ve hızlandırıcı sistemlerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmayı önemli hale getiren bir özelliği de bir simülasyon programı olan FLUKA'nın sonuçlarıyla kozmik ışın dedektörlerinin veri tabanlarını kullanan CARI6 ve EXPACS programlarının sonuçlarının karşılaştırılmış olmasıdır. Kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon dozları üç farklı program ile çok detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçların uyumlu olması da bu çalışmayı güvenilir kılmaktadır. En yüksek doz FLUKA ile yıllık 532 μSv olarak Yozgat ilinde, en düşük doz ise yıllık 424 μSv olarak Çankırı ilinde bulunmuştur. CARI6 ile en yüksek doz yıllık 548 μSv ile Yozgat ilinde ve en düşük doz yıllık 437 μSv olarak Çankırı ilinde bulunmuştur. EXPACS ile en yüksek doz yıllık 495 μSv ile Yozgat ilinde ve en düşük doz yıllık 388 μSv olarak Çankırı ilinde bulunmuştur. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan illerin merkezlerinde yer seviyesi için sonuçlar alınmıştır. Türkiye'nin diğer bölgeleri ve il merkezleri için yer seviyesinde çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca yerel ve uluslararası uçuşlar için de uçuş yükseklikleri ve süreleri dikkate alınarak çalışmalar devam etmektedir.

2. KOZMİK IŞINLAR

2.1. Kozmik Işın Kaynakları

Kozmik ışınların kökeninin ne olduğu konusunda net bir uzlaşma yoktur, fakat büyük çoğunluğunun büyük yıldızların supernova patlamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dünyamıza gelen kozmik ışınlar temel olarak üç gruba ayrılabilir. Bunlardan ilkinin galaktik kaynaklı kozmik ışınlar, ikincisini solar kaynaklı kozmik ışınlar ve üçüncüsünü de dünyanın radyasyon kuşaklarında hapsolmuş parçacıklardan kaynaklanan ışınlar oluşturur. Galaktik kozmik ışınlar galaksi dışından dünyaya gelmektedir ve enerjileri çok yüksektir. Solar kozmik ışınlar ise güneş kaynaklıdır. Solar kozmik ışınların enerjileri yer seviyesinde etkili olabilecek kadar yüksek değildir.

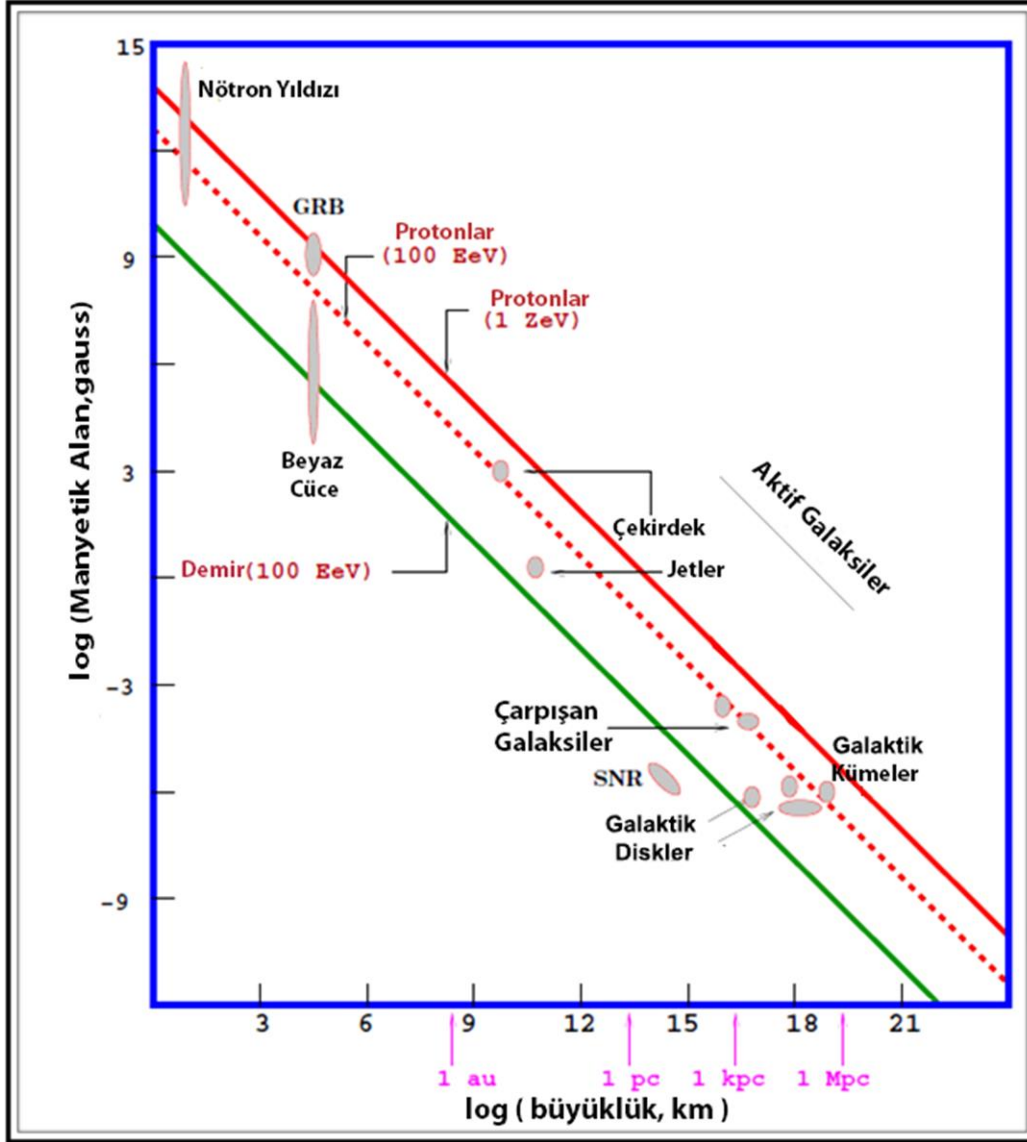
2.1.1. Hillas kriteri

Parçacıklara belirli bir enerji kazandırabilmek için, parçacıkların ivmelendirilmesi gerekir. Bu fikri kullanarak kozmik ışınların olası kaynaklarını belirlemek mümkündür [1]. Bir parçacık hızlandırıldığı bölgeden ayrılırsa, daha fazla enerji kazanması mümkün olmaz. Manyetik alanı B ile verilen bir ortamdan geçen parçacığın enerjisi sınırlandırılmıştır.

$$E_{max} = ZqBR_S \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte, q parçacığın elektrik yükü, B manyetik alan, R_S parçacıkların hızlandırıldığı bölgenin yarıçapı ve Z parçacığın atom numarasıdır. Bu eşitlik, parçacığın Larmour yarıçapını, $R_L = [E_{max}/(ZqB)] \leq R_S$ dikkate alır. Bu, tüm kozmik ışın kaynakları için Hillas kriteri olarak bilinen genel bir geometrik kriterdir [2].

Bu kriter ile hızlandırılmış parçacıkların enerjisi, ivmelenme alanının büyüklüğü ve manyetik alanı ilişkilendirilir. Bu durum, bilinen tüm astrofizik cisimleri içeren bir grafik olarak Şekil 2.1.'de gösterilmiş olup, Hillas grafiği olarak adlandırılmaktadır. Parçacıkların maksimum enerjiye erişebileceğine dair bir garanti yoktur. Hillas grafiğinden, 10^{15} eV'nin üstünde kozmik ışın üretebilen hiçbir bilinen galaktik kaynağın bulunmadığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2.1. Hillas Grafiği (Hillas, 1984)

Yıldızlar çok büyük kütlelere sahiptir. Çekim kuvvetleri de oldukça fazladır. Yıldızın yerçekimi kendi içinde dengede değilse bu yıldız olduğu şekliyle var olmaya devam edemez [3]. Bir yıldızın çekirdeğindeki füzyon olayları sırasında, ısı ve dışa doğru basınç üretilir. Ancak bu basınç, bir yıldızın kütlesi tarafından oluşturulan içe doğru itme gücü ile dengede tutulur. Füzyon yavaşladığında, yıldız kendi kendine çöker [4].

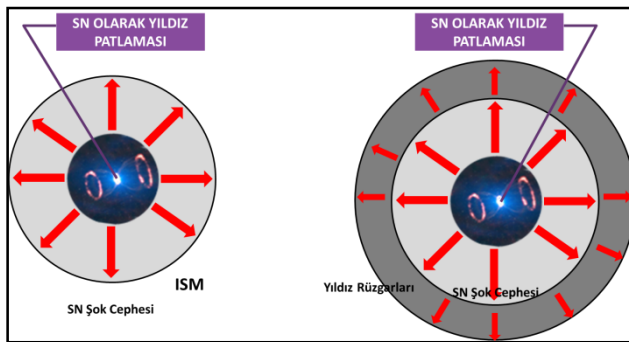
Büyük bir yıldızın çekirdeği hayatının sonuna geldiğinde, protonlar ve elektronlar bir araya gelir ve bir nötron yıldızı oluştururlar. Nötron yıldızları, yaklaşık 20 kilometre çapında olabilir. En çok bilinen nötron yıldızları, pulsar olarak bilinen bir sınıfa aittir [5].

Küçük yıldızlar uzun bir evrim sürecinin sonunda, beyaz cücelere dönüşürler. Bu yıldızların yoğunlukları çok büyüktür. Beyaz cücelerin yarıçapı yaklaşık olarak bizim güneşimizin 1,1 katı kadardır. Kütleleri bakımından ise eşit olduğu söylenebilir. Beyaz cüceler, sahip oldukları tüm hidrojeni yakmış olan yıldızlardır [4].

Süpernovaların kozmik ışınların kaynağı olarak gösterilmesinin temel nedeni, süpernovaların kozmik ışınları hızlandırmak için yeterli güce sahip olmasıdır [6].

Bir süpernova, ömrünün sonundaki bir yıldızın patlaması sırasında görülür. Yıldızın dış tabakalarının, yüksek hızda dışarı atılması olayıdır. Bu olay, yıldızlar arası ortama ya da yıldızın yakınına geldiğinde şok ivmesinin gerçekleşebileceği güçlü şoklar yaratılır. Süpernova şok dalgasının hızı yaklaşık 10^4 km s^{-1} 'dir. Ulaşılabilir enerji, süpernovanın sonlu ömrü ile sınırlıdır. Bir süpernovanın gözlenebilmesi için yaklaşık $10^5 - 10^6$ yıl gerekir. Ortaya çıkan ivmenin çoğu bu evrimin hızlandırılmamış safhasında görülür. Yavaşlama, şok kendi başına eşit bir kitleyi süpürdüğünde başlar. Yaklaşık 1 proton / cm^3 yoğunluğa sahip bir ortama $5 \times 10^8 \text{ cm}^{-1}$ 'lik bir ortalama hızda genişleyen yaklaşık $10 M_{\odot}$ kütlesi olan bir süpernova düşünülürse ömrü yaklaşık 1000 yıldır denilebilir ($M_{\odot}$, orijinal yıldız kütlesidir ve değeri $(1,98847 \pm 0,00007) \times 10^{30} \text{ kg}$ ile verilir). Yaklaşık 10^{-10} T 'lık bir manyetik alan ve Hillas kriteri Eş. 2.2 ile protonlar için şu şekilde verilebilir [1].

$$E_{\max} \sim 10^{14} \text{ eV} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. Süpernova şok cephesi

Süpernova kalıntıları, galakside kozmik ışınların etkisini kozmik ışınların enerji spektrumunda diz bölgesi olarak bilinen bölgenin ötesinde açıklamak için iyi bir seçenektir [7].

Gama-ışını patlamaları (GRB), büyük patlamadan (Big Bang) sonra en güçlü patlama olaylarını oluşturur. Uzun ve kısa patlamalar olarak sınıflandırılabilir. Hayatının sonundaki büyük bir yıldızın çökmesi sırasında uzun patlamalar görülür. Kısa patlamalar ise iki saniyeden daha kısa süren patlamalardır. İki nötron yıldızının çarpışmasında da gözlenebilir. Her iki durumda da, dar ve yüksek göreceli hızları oluşturan bir kara delik doğar. Bu hızlar deşok oluşumuna sebep olabilir [8].

Bazı galaksiler kendi merkez bölgelerinden çok yoğun bir ışık yayarlar. Çekirdeklerden gelen aşırı ışığa sahip bu gökada sınıfına, aktif galaktik çekirdekler (AGN) denir. [9] AGN'lerin en büyük iki alt sınıfı Seyfert galaksileri ve kuasarlardır. Bu iki alt sınıf arasındaki temel fark kaynak tarafından yayılan radyasyon miktarındadır [10]. AGN, bir galaksinin merkezinde bir kara deliktir.

AGN ve GRB'nin güçlü gama ışınları yaydığı bilinmektedir ve yüksek enerjili kozmik ışınların kaynağı olabilir [1].

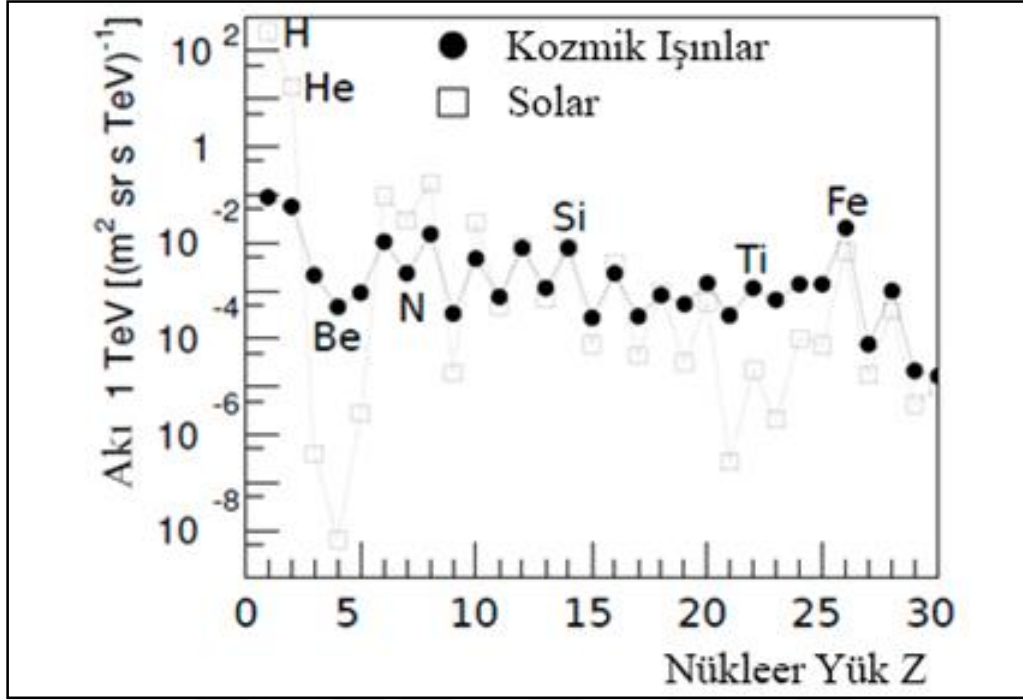
2.2. Kozmik Işınlardan Yapısı ve Spektrumu

Galaktik kozmik ışınlar (GCR) güneş sisteminin dışındaki kaynaklardan dünyaya gelmektedir. Galaktik kozmik ışınların, %98'ini nükleonik bileşen oluşturur. Kalan %2'lik kısım ise elektronlardan oluşur. Nükleonik bileşenin yaklaşık %87'si protonlardan, yaklaşık %12'si alfa parçacıklarından ve yaklaşık %1'i ise ağır çekirdeklerden oluşur.

Solar kozmik ışınlar (SCR), güneşte meydana gelen patlamalardan kaynaklanır. Enerjileri incelendiğinde çoğunlukla 100 MeV'nin altında olduğu görülür. Bu parçacıklar, atmosferin üst katmanlarında önemli doz oranları üretebilir, ancak zemin seviyesinde etkili olamazlar.

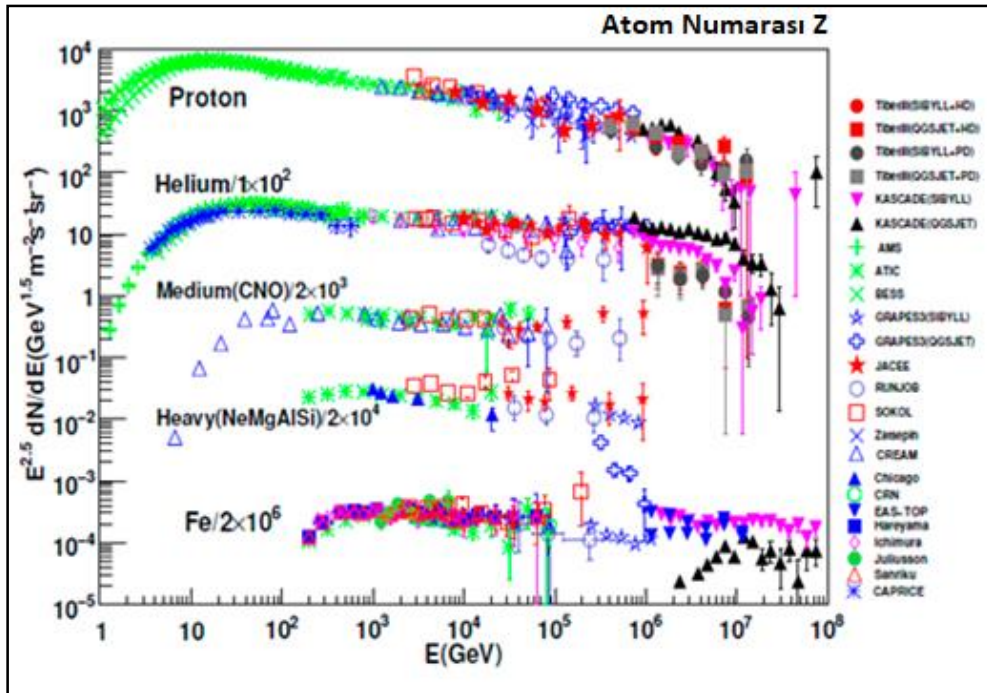
Van Allen radyasyon kuşakları, dünyanın manyetik alanı tarafından protonların ve elektronların yakalanmasıyla oluşur. Protonların enerjisi birkaç yüz megaelektron volta, elektronların enerjisi ise sadece birkaç megaelektron volta kadar ulaşabilir. Bu nedenle elektronların nüfuzu sınırlıdır. İki Van Allen radyasyon kuşağı vardır, iç kısmı yaklaşık

3 000 km ortadadır ve dış yüzey dünya yüzeyinden yaklaşık 22 000 kilometre ortadadır [11].



Şekil 2.3. 1 TeV enerjide elementlerin bulunma oranları($Z < 28$)

10^{12} eV'in üstündeki enerjilerde kozmik ışınların yaklaşık %50'si proton, %25'i helyum, %13'ü karbon, azot, oksijen ve %13'ü demirdir. Kozmik ışınların bileşimi Şekil 2.3. ve Şekil 2.4. 'de gösterilmektedir [7].



Şekil 2.4. Farklı deneylerden farklı kütleli grupların kozmik ışın spektrumları [7]

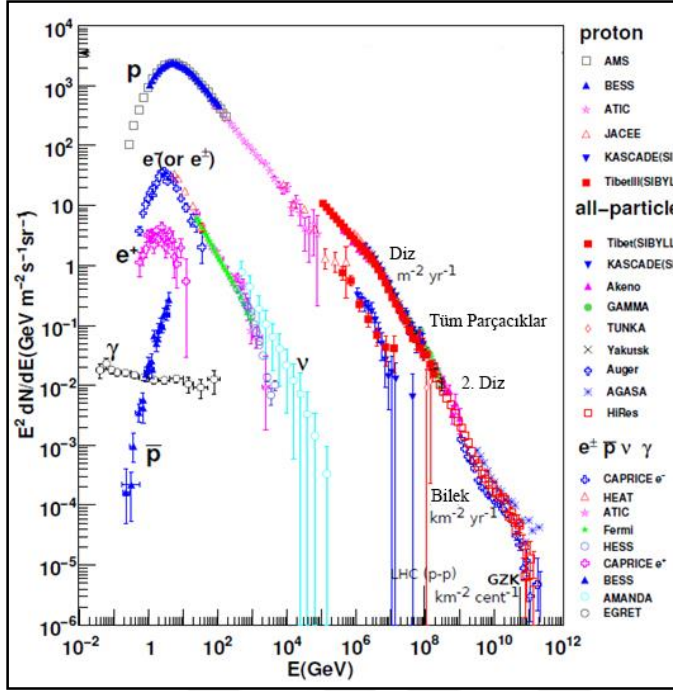
Büyük benzerlikler açıkça mevcuttur. Bununla birlikte, hafif elementler Li, Be ve B'nin yanı sıra alt demir elementleri Sc, Ti, V, Cr ve Mn daha fazladır. Bu parçalanma, yıldızlararası ortamdaki etkileşimlerden dolayı çekirdeklerin ayrılmasıyla ilişkilendirilir. H, He, C, O ve Fe'dir evrendeki en bol elementlerdir. C ve O'nun parçalanması ile Li, Be ve B'nin bollukları artacaktır [12].

Kozmik ışın araştırmaları, birincil kozmik ışınların geliş yönlerini, enerji spektrumunu ve element kompozisyonunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Şekil 2.5., kozmik ışınların enerji spektrumunu göstermektedir. Spektrum, MeV'den ZeV aralığını kapsamaktadır [13]. Diferansiyel enerji spektrumu, ayırt edilmesi güç olan dik tayfın özelliklerini görüntülemek için $E^{2.6}$ ile çarpılır. 1 GeV'nin altındaki enerjiler için spektrum, yüklü parçacıklar üzerindeki güneş etkileri nedeniyle güç-yasası dağılımına göre şekillenir. Güneş etkinliğinin yüksek dönemlerinde, Güneşten yayılan ve güneş rüzgarı olarak adlandırılan yüklü plazma, gelen kozmik ışınlarla etkileşime girerek, Dünya'ya doğru yayılımlarını engeller ve gözlenen akıyı azaltır. Tersine, kozmik ışın akısı, düşük güneş etkinliği dönemlerinde maksimuma ulaşır. Buna güneş modülasyonu denir ve yaklaşık 11 yıllık bir döngüye sahiptir. 10 GeV'nin üzerinde enerjiye sahip partiküller güneş rüzgarından etkilenmez [7].

Kozmik ışınların spektrumu aşağıda verilen bir güç yasasını izler. Eş. 2.3'te dN/dE ile yoğunluk, E ile nükleon başına kinetik enerji ve γ ile de spektral indeks ifade edilmektedir. Bu durum Şekil 2.5.'de gösterilmiştir [14].

$$\frac{dN}{dE} \sim E^{-\gamma} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki denklemde verilen γ indeksinin değiştiği dört nokta vardır. Bu noktalar diz, ikinci diz, bilek ve GZK (GZK kısaltması, bilim adamlarının isimlerinden gelen Greisen – Zatsepin - Kuzmin'i temsil etmektedir) bölgeleri olarak açıklanmaktadır [14].



Şekil 2.5. Kozmik ışınlar için tüm parçacıkların spektrumu [7]

Yapılan deneylerle, kozmik ışınların spektrumunun dört ana bölgeye ayrıldığı gözlenmiştir [15].

- 1) Düşük enerjilerde (~ 10 GeV'nin altında) gözlemlenen spektrum, Güneş modülasyonu ile;
- 2) Enerji $10 \text{ GeV} \leq E \leq 3 \times 10^{15} \text{ eV}$ aralığında spektrum, eğim ~ 2.7 olan bir güç yasasıyla uyumlu olabilir.
- 3) Enerji $3 \times 10^{15} \text{ eV}$ ile 10^{18} eV arasında ise eğim ~ 3.1 'e kadar yükselir.
- 4) Üçüncü bölgenin ötesinde, UHECR olarak adlandırılan kozmik ışınların davranışı iyi tanımlanmamıştır. Bu parçacıklar, astrofizik ve temel fizik teorisi açısından önemlidir. Çünkü yaklaşık $5 \times 10^{19} \text{ eV}$ 'de ortaya çıkan, Greisen-Zatsepin-Kuzmin sınırında (GZK sınırı) karşılaştırılabilir enerjilere sahiptirler [15].

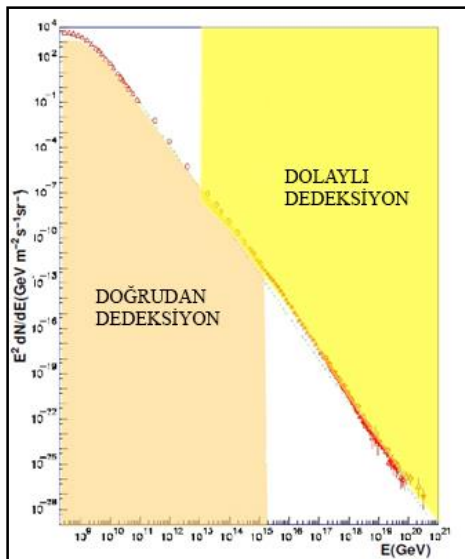
Spektrumun diz bölgesi, ilk olarak Moskova Devlet Üniversitesi Grubu tarafından gözlemlenmiş ve daha sonra yapılan birçok deneyle doğruluğu kanıtlanmıştır. Diz bölgesinde γ indeksi yaklaşık $\gamma = 3.1$ olmaktadır. Bilek bölgesinde ise tekrar $\gamma = 2.7$ olduğu görülür [16].

Diz, galakside hızlanabilen protonlar için maksimum enerji noktası olarak açıklanabilir. İkinci diz noktası ise demir bileşeninin sonunu temsil eder. Bilek ise genellikle galaktik dışbükey kozmik ışınlar geçişten kaynaklanan bir özellik olarak yorumlanır [7].

Düşük enerjili kozmik ışınlar galaktik kökenlidir. Bilek bölgesinin üzerinde ise galaktik kökenli olmayan kozmik ışınlar gözlenmektedir. Yani 10^{16} eV'den birkaç 10^{18} eV'ye kadar enerji aralığında bir yerde galaktik kozmik ışınların ekstragalaktik kökenli kozmik ışınlar geçişi beklenir [16]. Düşük enerjilerdeki tüm parçacık spektrumu balon deneyleri ve uydularla güvenilir şekilde ölçülür [7].

Bilindiği üzere büyük patlamadan (Big Bang) sonra, mikrodalga fotonlar uzaya nüfuz etmiştir. Genellikle kozmik mikrodalga arka plan radyasyonu olarak adlandırılır. En yüksek enerjilerdeki ($\sim 6 \times 10^{19}$ eV) kozmik ışınlar, kozmik mikrodalga arka plan radyasyonu ile etkileşir. Bu durum GZK kesmesi olarak açıklanabilir [7]. Bu limit, kozmik ışın protonları için üst sınırı temsil eder [17].

Victor Hess'in deneylerinin öncülüğünde kozmik radyasyonun incelenmesi, balonlara ve uydulara monte edilen deney düzenekleri sayesinde 80'li ve 90'lı yıllarda hız kazanmıştır [15]. Kozmik ışınların dedeksiyonu, doğrudan ve dolaylı dedeksiyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Balon, roket ve uydu sistemleri doğrudan dedeksiyon yapılmasına olanak sağlamaktadır [18]. Kozmik ışınların parçacık spektrumuna ait dedeksiyon bölgeleri Şekil 2.6.'da gösterilmiştir [15].



Şekil 2.6. Kozmik ışınlar için tüm parçacıkların spektrumunda dedeksiyon bölgeleri [18]

Kozmik ışınların dolaylı dedeksiyonu büyük teleskop ve hava duşları düzenekleri ile yapılır [18].

Energileri, $E \sim 10^{14}$ eV üzerindeki primer kozmik ışınlar ve atmosferdeki duş oluşumunda yaratılan ikincil parçacıklar, yer yüzeyinde bulunan geniş alan dedektörleri tarafından incelenir.

Dolaylı ölçümlerin kapsadığı enerji aralığını üçe bölerek, mevcut deneylerin ana özelliklerini özetleyebiliriz.

- a) $10^{13} - 10^{15}$ eV enerji aralığında deneyler genellikle dağ seviyelerinde yapılır. Yüzey alanı yaklaşık olarak 10^4 m^2 olmaktadır.
- b) 10^{14} eV'den 10^{18} eV enerji aralığında seçilen deneme yerleri, deniz seviyesinden 3 200 metre kadar yükseklikte bulunabilir. Yüzey alanı 10^4 m^2 ila 10^6 m^2 arasındadır.
- c) Ultra yüksek enerjiler, $E > 10^{18}$ eV olan enerjilerdir. Deneylerin asıl özelliği yüzey alanlarının 700 km^2 ile $3\,000 \text{ km}^2$ arasında değişmesidir [19].

2.3. Galaksideki Yayılım Mekanizmaları

Parçacık enerjisi ile parçacık akısı birbirlerine doğrudan bağlıdır. Düşük enerjili yüklü parçacıklar Dünya ve Güneş'in manyetik alanları tarafından saptırılır. Çok düşük enerjili parçacıklar, Dünya'yı çevreleyen Van Allen radyasyon kuşaklarında sıkışıp kalırlar. Bu partiküllerin, atmosfere girebilmesi için manyetik kutupların yakınındaki bir yerden gelmeleri gerekir. Bu noktalardan gelen parçacıklar ve hava molekülleri arasındaki etkileşimler auraları üretir. Bu parçacıklar, çoğunlukla Güneş'in üst atmosferinden çıkan güneş rüzgârından kaynaklanmaktadır. Güneş rüzgarı parçacıkları MeV enerji aralığında ağırlıklı olarak protonlar ve elektronlardır. Güneş rüzgarının Dünyanın manyetik alanıyla bulunduğu etkileşim bölgesine manyetosfer denir. Manyetosferin özellikleri, güneş etkinliğine bağlıdır ve bu nedenle on bir yıl süren güneş döngüsünü takip eder. Güneş'in manyetik alanını heliosfer boyunca tüm güneş sistemine ve ötesine taşır. Bu nedenle, gezegenler arası manyetik alan adı verilen güneş çevrimine de bağlıdır. Böylece düşük enerjili birincil kozmik ışınların parçacık akıları aynı döngüyü takip eder. Güneş etkinliği yüksek olduğunda, kozmik ışınlar Dünya'ya daha az ulaşır [12].

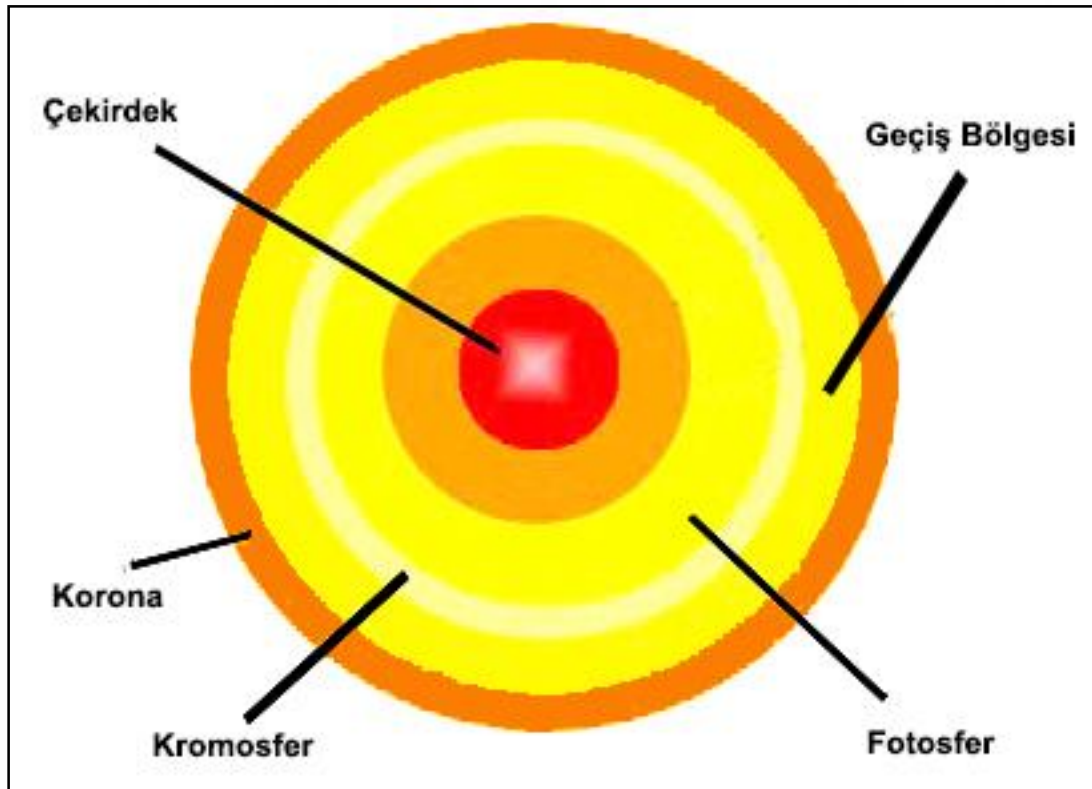
2.3.1. Güneş

Güneş, güneş sistemimizin enerji kaynağıdır. Dünyaya en yakın yıldızdır. Güneş'ten Dünya'ya olan mesafeye Astronomik Birim (AU) denir ve yaklaşık 150×10^6 km'dir.

Çizelge 2.1. Güneşin özellikleri [20]

Parametre	Sayısal Değer
Yarıçap	695 500 km
Kütle	$1,989 \times 10^{33}$ g
Ortalama Yoğunluk	$1\,409$ g / cm ³
Yer Çekim İvmesi	274 m / s ²
Yüzeyden Kaçış Hızı	$617,7$ km / s
Dünyaya Uzaklığı	1 AU
Merkezdeki Sıcaklık	$15,7 \times 10^6$ K
Yüzeydeki Sıcaklık	$6\,400$ K

Güneşin kimyasal bileşimi %92.1 hidrojen ve %7.8 helyum (veya kütlece %27.4) ve ağır elementlerin %0.1'i (veya kütle itibarıyla % 1.9, çoğunlukla C, N, O, Ne, Mg, Si, S, Fe) olarak bilinir [20].



Şekil 2.7. Güneşin katmanları

2.3.2. Güneşin katmanları

Fotosfer

Güneş'in doğrudan gözlemleyebileceğimiz en derin tabakasıdır. Güneş diskinin ortasında görünen yüzeyden yaklaşık 400 kilometre üzerine çıkar. Fotosferdeki sıcaklık altta yaklaşık 6 500 K, üstte 4 000 K (11 000 ve 6 700 derece F, 6 200 ve 3 700 derece C) arasında değişir.

Kromosfer

Güneş'ten yaklaşık 400 kilometre uzaklıkta başlar ve güneş yüzeyinin 2 100 kilometre üzerine ulaşan bir tabakadır. Kromosferdeki sıcaklık yaklaşık 4 000 K ile 8 000 K arasında değişir.

Geçiş bölgesi

Sıcaklık yaklaşık 8 000 K ile yaklaşık 500 000 K arasındadır. Kromosfer ve korona arasında yaklaşık 100 kilometre uzanan bir katmandır.

Korona

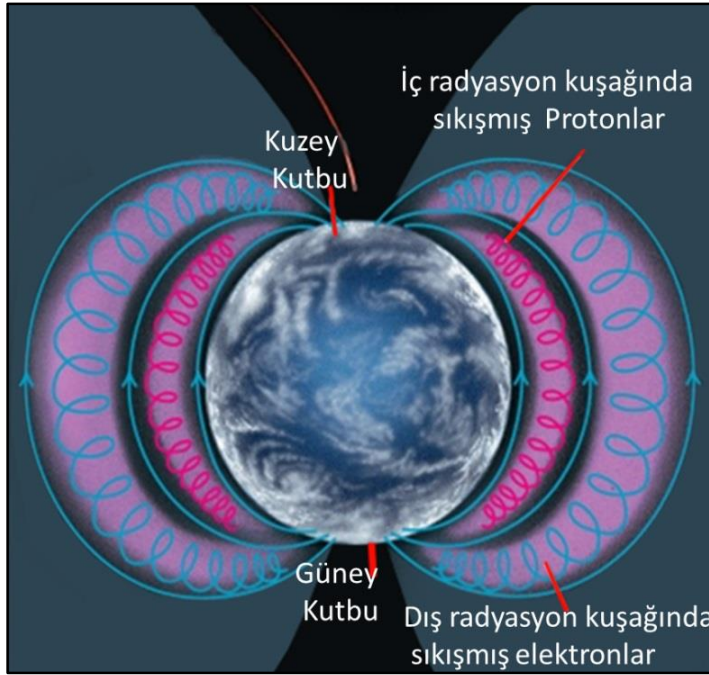
Güneş yüzeyinin yaklaşık 2 100 kilometre üzerinde başlar ve Güneş'in en dış tabakasıdır. Korona sıcaklığı 500 000 K üzerindedir. Korona toplam güneş tutulması haricinde veya bir koronagraf kullanılması dışında çıplak gözle görülemez. Koronanın üst sınırı yoktur [21].

2.4. Manyetosfer, Heliosfer ve Güneş Rüzgarları

Manyetosfer terimi, ilk olarak T. Gold tarafından 1959'da kullanılmıştır. Gezegenler arasında keşfedilen ilk manyetosfer dünyanıdır. Dünyanın manyetik alanından etkilenen yüklü parçacıkların bulunduğu, iyonosferin üstündeki bölgedir.

Van Allen kuşaklarının yapısı şu şekildedir. Manyetik alan, düşük enerjili yüklü parçacıkları yakalar ve yüksek enerjili iyonların ve elektronların (onlarca keV ve üstü) Dünya'nın etrafında sürüklendiği halka şeklinde bölgeleri olan Van Allen kuşaklarını oluşturur. Bunlar, iç (iyonosferden $\sim 4-5 r_E$ 'ye) ve dıştaki ($\sim 4-5 r_E$ 'den manyetopozya) radyasyon kuşaklarına

ayrılmıştır. İçerdeki radyasyon kuşağındaki enerjik parçacıklar, dünya atmosferine doğru giden kozmik ışınlar tarafından üretilen nötronlardan gelir. Yüklü parçacıkların gezegen manyetik alanı tarafından kontrolü bir çok Dünya yarıçapı kadar uzaya doğru uzanır, Güneş yönüne doğru 10 Dünya r_E 'de son bulur. Bu mesafede, manyetosfer güneş rüzgarı olarak adlandırılan ve güneşten süpersonik hızlarda dışarıya doğru akan düşük yoğunluklu mıknatıslanmış bir plazma ile sınırlandırılmıştır [22,23].

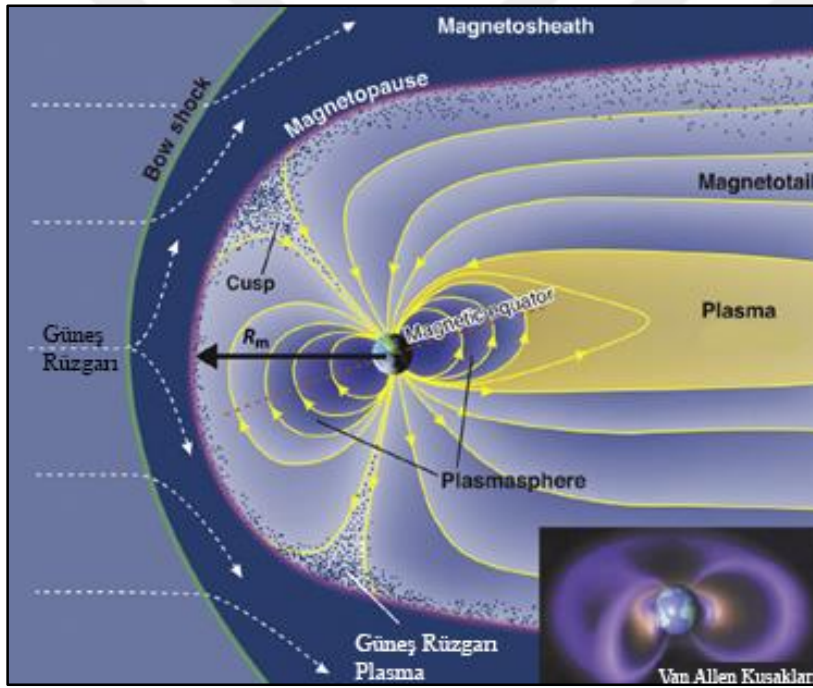


Şekil 2.8. Van Allen kuşakları [23]

Güneş Rüzgarı, gezegenler arası bir alana nüfuz eden bir iyonize gaz plazmadır. Güneş korona olarak bilinen Güneş'in sıcak dış atmosferinin, süpersonik genişlemesinin bir sonucu olarak var olur. Güneş rüzgarı öncelikle elektronlardan ve protonlardan oluşur, ancak alfa parçacıkları ve diğer birçok iyonik tür de düşük bolluk seviyelerinde bulunur. Güneş'ten 1 Astronomik Birim (AU) uzaklıkta, tipik güneş rüzgar yoğunlukları, akış hızı ve sıcaklık sırasıyla 8 proton / cm^3 , 440 km / s ve $1,2 \times 10^5$ K düzeyindedir. Bununla birlikte, güneş rüzgarı hem yer hem de zaman bakımından oldukça değişkendir. Güneş rüzgar plazması içerisinde gömülü zayıf bir manyetik alan, hem düşük enerjili kozmik ışınların güneş sisteminden çıkarılmasında hem de enerjik parçacıkların Güneş'ten heliosfere kanalize edilmesinde etkilidir. Güneş'ten 1 AU mesafe sonra dünya yörüngesine gelinir [24].

Nitel olarak, gezegenin manyetosferi, gezegenin manyetik alanı tarafından güneş rüzgarının çıkarıldığı bölge hacmidir. Şekil 2.9.'da, güneş rüzgarının manyetopoz etrafında nasıl

döndüğünü, Dünya'yı içeren hacmi çevreleyen bir yüzeyi, çarpık manyetik alanını ve o alanın içinde sıkışan plazmayı gösteren manyetosferin şematik bir gösterimi verilmiştir. Çoğu zaman, güneş rüzgar plazması manyetosfer olarak adlandırılan bölgeden tamamen çıkarılmamaktadır [22]. Bir gezegen manyetosferinin alt sınırı, gezegen atmosferinin iyonlaşmış bileşenlerinin üst atmosferde önemli bir rol oynadığı bölümden başlar. Dünya için bu sınır, iyonosferin başladığı bölümde (iyonosferler Güneş'in ultraviyole radyasyonu tarafından oluşturulur) bulunur. İyonosfer bu nedenle manyetosferin bir parçasıdır. Manyetosferin dış sınırına manyetopoz denir ve gezegensel manyetik alanın alanlarını ve bunun dışına çıkan güneş rüzgar alanlarını birbirinden ayırır. Konumu değişkendir ve güneş rüzgarı ile gezegen manyetik alanı arasındaki basınç dengesi ile belirlenir [23].

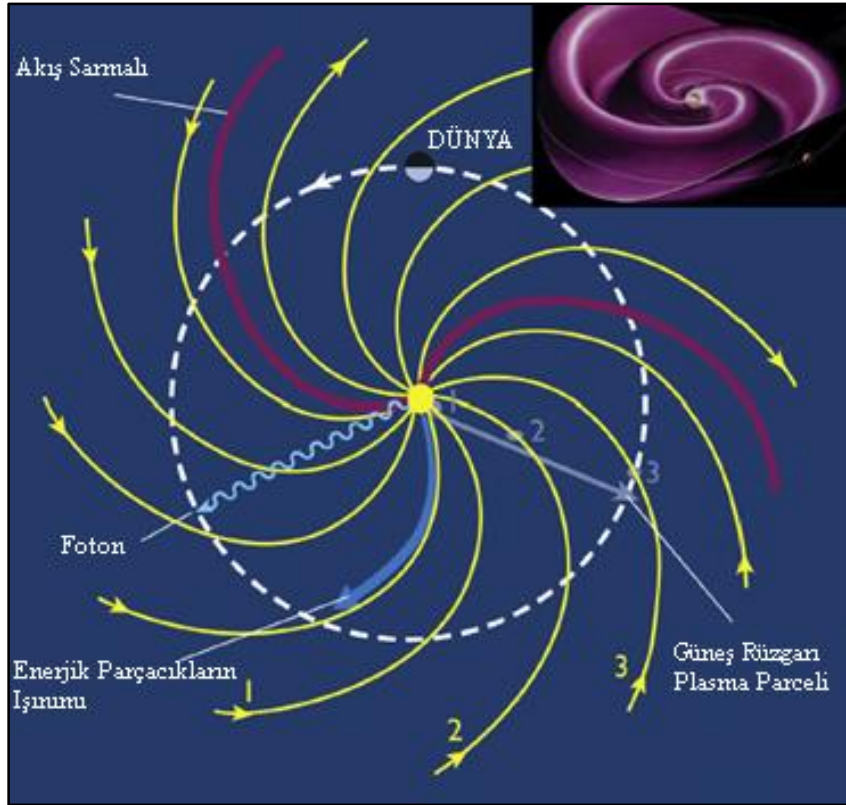


Şekil 2.9. Manyetosferin gösterimi [22]

Güneş sistemi, heliosfer olarak adlandırılan kendi manyetosferini oluşturan Güneş'in hakimiyeti altındadır. Heliosferin büyüklüğü ve yapısı, Güneş'in hareketiyle, yıldızlararası plazmanın yoğunluğuyla ve güneş korona kaynaklı güneş rüzgarıyla değişir. Korona, aşırı derecede iyonize edilmiş bir gazdır. Sıcaklığı çok yüksektir ve bu sebeple Güneş'in yer çekim alanından kaçabilir, süpersonik hızlarda dışarı akabilir.

Güneş rüzgarı, Güneş'e dönen manyetik alan çizgileri tarafından yönlendirilir. Plazmanın iletkenliği oldukça büyükse manyetik alan plazma içinde dondurulur ve alan çizgileri

plazmanın hareketini takip ederek kaynağından izlenebilir. Alan çizgilerinin kökleri, dönen Güneş'le bağlantılı kaldığı için, Şekil 2.10.'da gösterildiği gibi Arşimet sarmalı şeklinde bükülür. Yıldızlararası plazmaya göre Güneş'in hareketi yönünde, çıkış yıldızlar arası plazma tarafından uygulanan kuvvetlerle sona erer. Diğer yerlerde akış heliosfer sınırı içinde yönlendirilir. Böylece, Güneş ve güneş rüzgarı heliosfer boşluğunda sınırlıdır. Güneş sistemindeki manyetosferlerin en büyüğü Heliosfer olarak bilinmektedir [22].



Şekil 2.10. Güneş'in manyetik alanı [22]

Güneş rüzgarı çalışmalarının temeli olan birkaç fizik ilkesi vardır. İlki basitçe, plazma ile manyetik alanın birlikte hareket ettiği durumdur. Bir iyon ya da elektron manyetik alan çizgisi boyunca hareket ederse, $E = -V \times B$ elektrik alanı oluşturur ve bu da yüklü parçacığın manyetik alan çizgisi etrafında dönmesine neden olur. Elektrik alan kuvveti B 'ye dik olduğundan, plazma manyetik alan çizgileri boyunca akabilir, ancak plazma aynı manyetik alan çizgisinde kalmalıdır. Bu kısıtlama yalnızca yüklü parçacıklar için geçerlidir. Manyetik alan nötr parçacıkları etkileyemez. İkinci ilke yük değişimi ile ilgilidir. Yük değişimi, iyonlarla nötr parçacıklar arasında önemli bir etkileşim şeklidir. Bir iyon ve nötr parçacık çarpıştığında, nötr parçacık iyonla bir elektron verebilir. İyon, nötr olur ve manyetik alana bağlı olmadığından aynı yönde hareket etmeye devam eder. Yeni iyon (eski nötr) artık

manyetik alanla sınırlanmış ve plazma hızına hızlandırılmıştır. Plazma akış enerjisine eşit başlangıç termal enerjisine sahiptir. Bu ısıtma ve ivmelenme enerjisi plazma akışı enerjisinden gelir, bu nedenle plazma yavaşlar [25].

Güneş rüzgarı plazması iyi bir termal iletkenidir. Buna ek olarak elektriği de çok iyi iletir. Güneş döndüğü için, Güneş'in ekvatorial düzlemindeki manyetik alan çizgileri Arşimet spirallerine bükülür. Bu spirallerin radyal yöne göre eğilimleri heliosentrik mesafeye ve rüzgar hızına bağlıdır. 1 AU'da ekvatorial düzlemdeki ortalama alan çizgisi radyal yönde $\sim 45^\circ$ eğimlidir [24].

2.4.1. Güneş rüzgarını etkileyen faktörler

Heliosferde, yerel güneş rüzgarını gezegenler, aylar, kuyruklu yıldızlar, tozlar ve nötr atomlar gibi küçük engeller etkiler.

En basit etkileşim, Ay ve çoğu asteroit gibi atmosfere sahip olmayan iletken olmayan engellerle ilgilidir. Manyetik alan çizgileri bu cisimler boyunca engellenmeden hareket eder, ancak plazma bunu yapamaz. Yüzeye akar ve absorbe edilir.

İletken engeller daha karmaşık etkileşimlere sahiptir. Çünkü manyetik alan içlerinden geçemez ve etrafından dolanması gerekir. Manyetik alanlı gezegenlerin manyetosferleri, gezegenin manyetik alanının egemen olduğu bölgelerdir. Güneş rüzgarı bu manyetosferlerin etrafından akar.

Manyetik alanları olmayan, ancak atmosferi olan gezegenler ve kuyruklu yıldızlar da (Venüs, Mars) engeller oluşturmaktadır [25].

Dünya gezegensel bir manyetik alana sahiptir. Bununla birlikte gezegenlerin tümünde bu özellik yoktur [22].

2.5. Kozmik Işınlardan Sapması

Lorentz kuvveti, manyetik alan boyunca hareket eden yüklü bir parçacıklara etki eder.

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.4)$$

Burada q parçacık yükü ve v hızdır. E , elektrik alanı ve B manyetik alanı temsil eder. Galaksinin net elektrik alanı yoktur, bu nedenle hareket denklemi aşağıdaki eşitlikteki gibi yazılabilir.

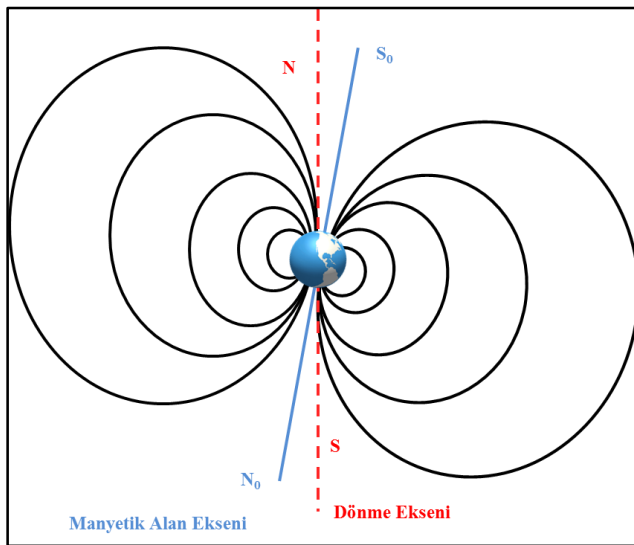
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.5)$$

Kozmik ışın çalışmaları için yeniden şu şekilde yazılabilir.

$$\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{v} \times \vec{B}) = \frac{Zc^2}{E[eV]}(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.6)$$

Burada a ivmedir. Kütle $m = \alpha m_0$ ile verilir. Z , atomik sayıdır ve c , vakum içindeki ışık hızıdır. Burada, $\alpha = 1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ ile verilir. [26]. Manyetik alan, gelen kozmik ışınların düşük enerjili kısmını saptırır; Güneş rüzgarının etkisiyle de kozmik ışınlar yavaşlar. Genel etki, Solar modülasyon olarak bilinir. Güneş parçacıklarının üretimi yüksekse, Dünya'ya ulaşabilen galaktik kozmik ışınların sayısı düşüktür.

Kozmik radyasyon miktarının azaltılmasına bir katkı da Dünya'nın manyetik alanından gelir. Dünyanın çekirdeğinin hareketlerine bağlı olan elektrik akımları tarafından sürülen manyetik alandan etkilenir. Eksenini, yaklaşık 11° eğimlidir. Neredeyse dipolar bir davranış izler Şekil 2.11.'de bu durum gösterilmiştir. Manyetik kuzey kutbu güney yarımkürede bulunur.



Şekil 2.11. Dünyanın manyetik alanı çizimi

Gauss cinsinden ifade edilen B yoğunluğu yaklaşık olarak şu şekilde verilir.

$$B(r, \lambda) \cong \frac{0,31 G}{(r/r_E)^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \lambda} \quad (2.7)$$

Burada λ , coğrafi enlem ve boylama (dipol ekseninin eğimine bağlı olarak) bağlı jeomanyetik enlemi temsil eder. r_E , Dünya'nın yarıçapıdır ve r , merkez ile ilgili nokta arasındaki mesafedir. Denklemden λ 'nın varlığı kozmik ışın zayıflama etkisinin yüzeydeki coğrafi bölgeye bağlı olmasına neden olur. Bu sebeple, manyetik alan sapmasına rağmen Dünya'ya ulaşmak için dikey olarak hareket eden bir parçacığın ihtiyaç duyduğu minimum rijitliği vererek yaygın olarak ifade edilen jeomanyetik kesme etkisi söz konusudur. Bir parçacığın rijitliği R , momentumunun büyüklüğü $p = |\mathbf{p}|$ ile yükü q arasındaki oran olarak tanımlanır ve genellikle GV / c cinsinden ifade edilir.

$$R = \frac{p}{q} \quad (2.8)$$

Rijitlik, bir manyetik alan içinde hareket eden yüklü parçacıklar için temel bir niceliktir. Çünkü farklı momentum ve yüke sahip ancak rijitliği aynı olan parçacıklar Lorentz kuvveti nedeniyle aynı eğride aynı yönde bükülmüştür. Rijitliğin, jeomanyetik enlem λ ile değişimi aşağıdaki ifade ile yaklaşık olarak hesaplanabilir [27].

$$R_{\text{cut-off}} \cong 14,9 \text{ GV}/c \cos^4 \lambda \quad (2.9)$$

2.6. İvmelenme Mekanizmaları

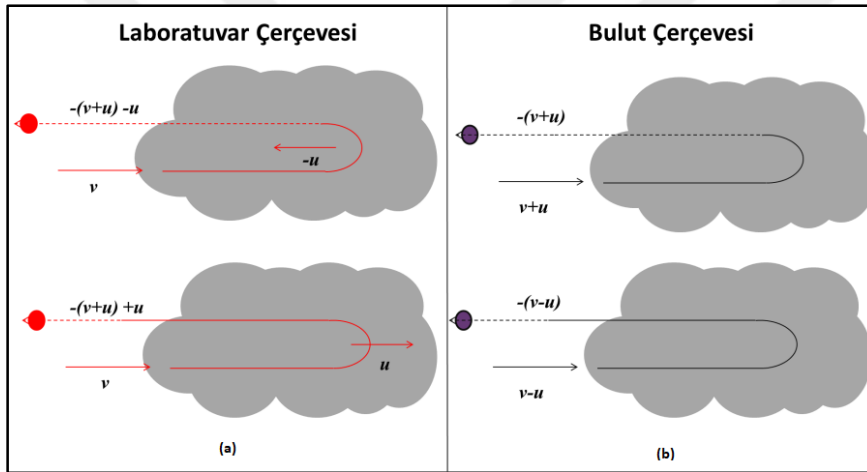
Kozmik ışınlar için ivmelenme mekanizmaları iki sınıfta incelenmektedir. Bunlardan ilki Fermi, ikincisi de Şok ivmelenmesidir.

2.6.1. Fermi ivmelenmesi

Fermi, yıldızlararası ortamın manyetik alanlarla dolu olduğunu ve yıldızlararası bulutlarda büyük alanların bulunduğunu varsaymış ve bunları manyetik bir ayna olarak değerlendirmiştir. Böyle bir yapılandırmada, manyetik alan çizgileri boyunca hareket eden

yüklü parçacıklar, değişen alan kuvvetlerine rastlar. Bu sebeple güçlü alanları olan bölgelerden, parçacıklar uzağa saptırılır.

Fermi modelinde, yüklü parçacıklar manyetik bulutlarla karşılaşır ve sonunda buluttan ayrılır. Parçacık, kendi yönünde ilerleyen buluttan çıkarsa, manyetik alan içindeki tüm saçılma elastik olduğu için enerjisi değişmeden kalır. Bununla birlikte, parçacığın yönü değiştirilirse, enerjisi de değişir. Tüm manyetik etkileşimler sadece bulutun referans çerçevesinde esnektir. Laboratuvar çerçevesindeki enerjiyi belirlemek için, iki tane dönüşüm gerçekleştirilmelidir. Bunlar laboratuvar çerçevesinden buluta ve buluttan laboratuvara geri dönüş olarak bilinir.



Şekil 2.12. Fermi hızlanma mekanizmaları

Basit bir modelde, kendisinin hızı $-u$ olan bir manyetik buluta doğru, hızı v olan bir parçacığın yaklaştığı durum ele alınır. Durum, Şekil 2.12.'nin üst kısmında tasvir edilmiştir. Parçacıkların kinetik enerjisi $E_0 = \frac{1}{2}(mv^2)$ ile verilmiştir. Manyetik bulut çerçevesinde parçacıkların hızı $v+u$ ile verilmiştir. Tersine döndüğünde, bu $-(v+u)$ olur. Son olarak, orijinal laboratuvar çerçevesinde, parçacık hızı $-(v+u) - u = -v - 2u$ olur. Parçacıkların kinetik enerjisi ise şu şekildedir [13].

$$E_1 = \frac{1}{2}m(-v - 2u)^2 = \frac{1}{2}m(v^2 + 4u^2 + 4uv) \quad (2.10)$$

Enerji kazancı ise aşağıdaki gibidir.

$$\Delta E_1 = E_1 - E_0 = \frac{1}{2}m(4u^2 + 4uv) \quad (2.11)$$

Bununla birlikte parçacık, hızı u olan ve aynı yönde hareket eden bir bulutla karşılaşabilir. Yani bir arka uç çarpışması (rear-end collision) olabilir. Bu durum, Şekil 2.12.'nin alt kısmında gösterilmektedir. Bu durumda, bulut çerçevesindeki parçacık hızı $v - u$ olur ve tersine durumda ise $-(v - u)$. Laboratuvar çerçevesinde de durum $-(v - u) + u = -v + 2u$ olur. Kinetik enerji şu şekilde verilir.

$$E_2 = \frac{1}{2} m(-v + 2u)^2 = \frac{1}{2} m(v^2 + 4u^2 - 4uv) \quad (2.12)$$

Enerji kazancı ise şu şekilde olur.

$$\Delta E_2 = E_2 - E_0 = \frac{1}{2} m(4u^2 - 4uv) \quad (2.13)$$

Eğer parçacığın hızı bulutun hızından büyükse yani $v > u$ ise enerji kazancı ΔE_2 negatif olur. Bu da parçacığın enerji kaybettiğini gösterir. Eğer $v < u$ ise parçacıkların manyetik bir buluttan geçmesi olanaksızdır. v hızının u hızından da çok daha büyük olduğu varsayımında, parçacık yaklaşık olarak aynı sayıda kafa kafaya çarpışma (head-on collisions) ve arka uç çarpışması (rear-end collisions) yaşayacaktır. İki çarpışma tipinde ortalama enerji kazancı şu şekilde verilir.

$$\frac{\Delta E_1 + \Delta E_2}{E_0} = \frac{\frac{1}{2} m(8u^2)}{\frac{1}{2} m v^2} = 8 \frac{u^2}{v^2} \quad (2.14)$$

Bu da manyetik bulutun hızının karesi ile orantılıdır. Bu nedenle, bu ivme modeline, ikinci dereceden Fermi ivmesi denir.

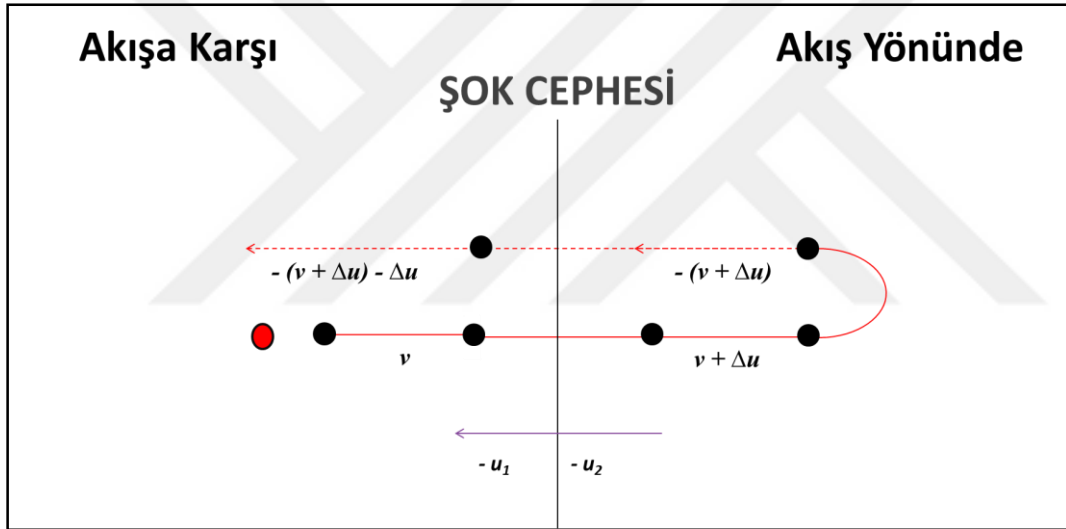
Eğer rastgele hızlar ve yönler içeren çok sayıda bulut varsa ve parçacık hızı v hala ortalama bulut hızından daha küçükse, kafa kafaya bir karşılaşma ihtimali bir arka uç karşılaşma olasılığından daha yüksektir. Bu durumda enerji kazanma ihtimali, enerji kaybı ihtimalinden yüksek olmaktadır.

Parçacıklar manyetik bulut bölgesinden kaçma ihtimaline sahiptir. Çarpışma başına enerji kazancı ve bir başka çarpışmanın olasılığı göz önüne alınarak, ortaya çıkan enerji spektrumu

hesaplanabilir. Bu bir güç yasası olur. Spektral indeks, manyetik bulut hızlarına ve parçacık hızlanma bölgesinden kaçma ihtimaline bağlıdır.

2.6.2. Şok ivmelenmesi

Süpernova patlamaları sırasında yıldızlararası madde, yıldızlararası ortama çok yüksek hızda atılır. Böylece, yıldızlar arası madde ısınır, yoğunluğu ve basıncı artar ve maddeyi dışarı doğru sürer. Ortaya çıkan şok dalgası, onu takip eden süpernova ejeksiyonundan daha hızlı ilerlemektedir. Hem yıldız hem de yıldızlararası madde plazmalardır. Şok dalgasına neden olan plazmadaki çarpışmalar değil elektromanyetik alanlardır. Parçacık yoğunlukları çok düşük olduğundan, madde çarpışmaz olarak adlandırılabilir.



Şekil 2.13. Şok ivmelenme mekanizması

Şok cephesi akışa karşı $-u_1$ ve akış yönünde $-u_2$ hızıyla hareket eder. Parçacık v hızıyla cepheden geçer. Akış yönünde yansır ve hız değişmez. Akışa karşı hız ve enerji kazanır.

Şok cephesinin perspektifinden görüldüğü gibi (Şekil 2.13.), akış yukarı (sarsıntısız) gaz, u_1 hızında ve ρ_1 yoğunluğunda öne doğru akar. Aşağı (şoklu) olan gazın yoğunluğu ρ_2 daha yüksek olduğu için hızını u_2 hesaplamak mümkündür. Şok cephesi önemsiz olduğu için öne akan herhangi bir madde de ön taraftan çıkmalıdır. Bu nedenle,

$$\rho_1 u_1 = \rho_2 u_2 \quad (2.15)$$

$\rho_2 > \rho_1$ olduğundan $u_2 < u_1$ olur. $\Delta u = u_1 - u_2$ olsun, ki bu pozitiftir. Durum şimdi ikinci dereceden Fermi ivmesi ile tanımlanan duruma çok benzemektedir. Bir partikül şok cephesinden geçebilir ve şok eden gazın içindeki manyetik alanlar tarafından saptırılabilir. Hız şok ön hızından daha büyükse şok cephesini tekrar geçebilir. Sonuç olarak;

$$E_1 = \frac{1}{2}m(-v - 2\Delta u)^2 = \frac{1}{2}m(v^2 + 4\Delta u^2 + 4v\Delta u) \quad (2.16)$$

Enerji kazancı ise şu şekilde olur.

$$\Delta E_1 = E_1 - E_0 = \frac{1}{2}m(4\Delta u^2 + 4v\Delta u) \quad (2.17)$$

Şok ve Fermi ivmelenmesi arasındaki fark, geriye çekilen bir şok dalgasıyla karşılaşma ihtimalinin bu durumda sıfır olmasıdır. Manyetik bulutların tersine, şok dalgası tek yönde ve dışa doğru ilerler. Göreceli enerji kazancının ifadesi böylelikle şu şekilde olur.

$$\frac{\Delta E_1}{E_0} = \frac{\frac{1}{2}m(4\Delta u^2 + 4v\Delta u)}{\frac{1}{2}mv^2} = 4 \left(\frac{\Delta u^2}{v^2} + \frac{\Delta u}{v} \right) \quad (2.18)$$

$v \gg \Delta u$ göz önüne alındığında, doğrusal terim baskındır.

$$\frac{\Delta E_1}{E_0} \sim \frac{4\Delta u}{v} \quad (2.19)$$

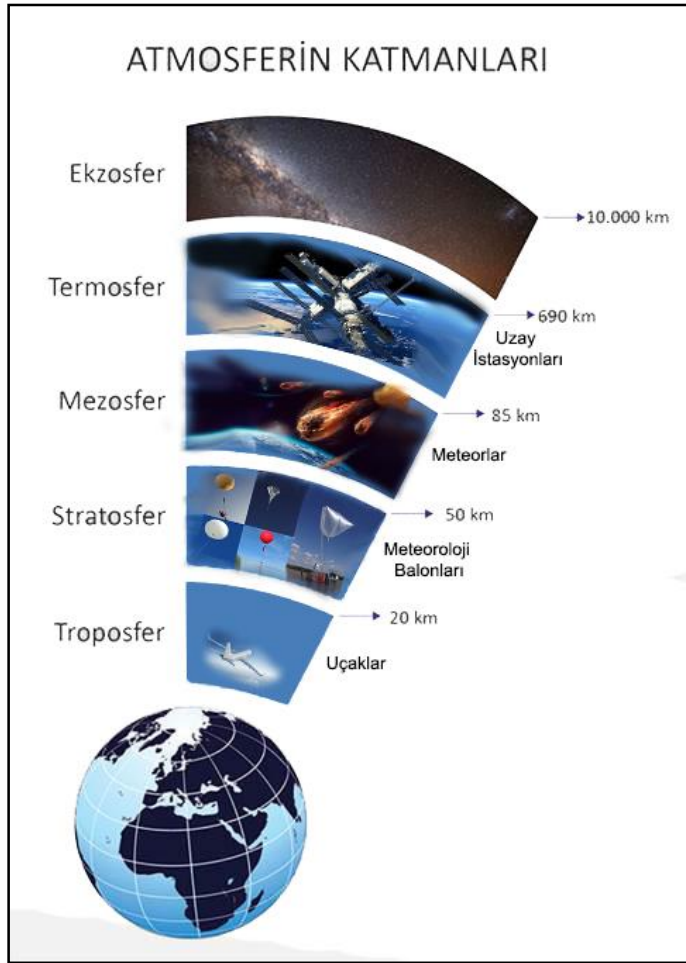
Şok cephesinin her iki tarafındaki plazmada bulunan manyetik alanlar ve parçacık hızının şok hızından daha yüksek olması nedeniyle, parçacık şok cephesini sayısız kez aşabilir. Şok ivmelenmesine bazen birinci derecede Fermi ivmesi denir ve kozmik ışın üretimi için birincil işlem olduğuna inanılır [12].



3. DÜNYAMIZIN ATMOSFERİ VE KATMANLARI

Atmosferler, bazı gezegenleri ve uyduları çevreleyen katmanlardır. Yerçekimi kuvvetleri sebebiyle, gezegen yüzeylerine doğru atmosferlerin yoğunlukları artar.

Dünyanın atmosferi, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak bölgelere ayrılmıştır. Atmosferin en dışında bulunan manyetosfer, dünyanın manyetik alanına sıkışmış yüksek enerjili nükleer parçacıklardan oluşur.



Şekil 3.1. Atmosferin Katmanları

Troposfer, atmosferin en alt tabakasıdır. Yerküreden başlar ve yaklaşık 20 kilometredir. Troposferin tepesine tropopoz denir. Yerçekimi, atmosferin yoğunluğunun yükseklik arttıkça azalmasına neden olur. Bu nedenle yoğunluğu en fazla olan atmosfer katmanı troposferdir. Yeryüzüne etki eden iklim olayları bu katmanda meydana gelir.

Stratosfer, Troposferin bittiği yerden başlayan atmosfer tabakasıdır. Yaklaşık 50 kilometredir. Güneşten kaynaklanan ultraviyole ışınlarla karşı koruma sağlayan ve bu ışınları dağıtan ozon tabakası, atmosferin Stratosfer katmanında bulunmaktadır. Ozon, çoğunlukla ekvator bölgesinde üretilir. Buna rağmen en büyük Ozon konsantrasyonları kutuplar bölgelerinde bulunmaktadır.

Mezosfer, yaklaşık 80 kilometrelik bir yükseklikte ve yaklaşık olarak 130 K'lık sıcaklığa sahiptir. Dünyamıza isabet eden göktaşları bu katmanda yanmaktadır. Dünyanın Stratosfer ve Mezosferine genellikle toplu olarak orta atmosfer denir.

Termosfer, yerküreden yaklaşık olarak 600 kilometre uzaklıkta başlamaktadır. Sıcaklık, güneş etkinliğine bağlı olarak yaklaşık 500 K ila 2 000 K arasında değişebilir.

Bu tabaka, Stratosfer katmanındaki ozon tabakasının yaptığı işe benzer olarak, atomik ve moleküler oksijen, güneş UV ışınımını güçlü bir şekilde emer ve atmosferi ısıtır.

İyonosfer, yüzeyden yaklaşık 48 kilometre yükseklikten başlayıp, yaklaşık 965 km'de son bulur. Elektron, iyonize atom ve moleküllerden oluşan tabakadır. Bu tabaka dünyanın manyetik alanıyla ve güneş rüzgarı ile etkileşerek bir iyonosfer oluşturur. Mezosfer ve Termosfer katmanları yükseklikleri nedeniyle İyonosfer ile kesişmektedir.

Ekzosfer katmanı ise atmosferin üst sınırını oluşturur. Termosferin bitiminden 10 000 km'ye kadar uzanır.

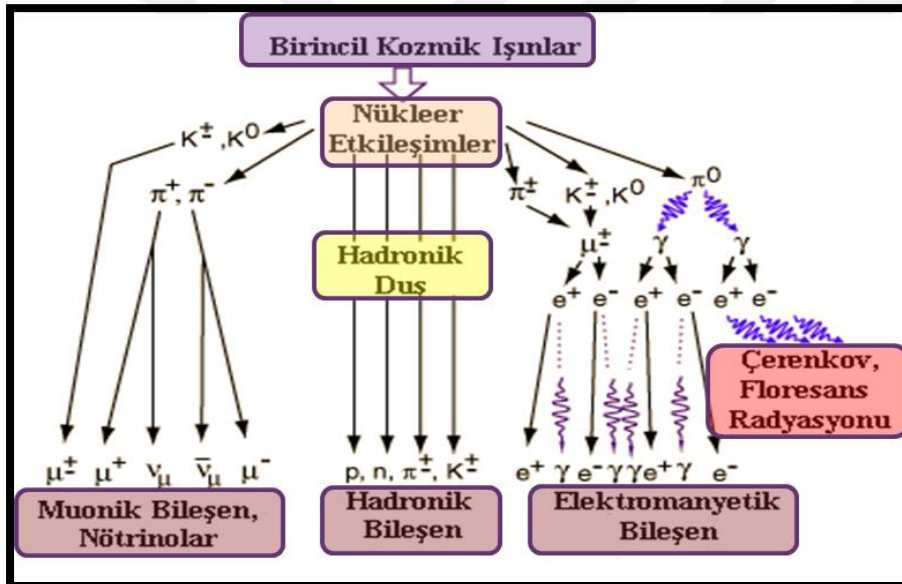
3.1. Atmosferin Kimyasal Kompozisyonu

Havada bulunan moleküllerin yaklaşık %78'i azot (N_2) ve yaklaşık %21'i oksijendir (O_2). Bu mol yüzdeleri genellikle karışım oranları olarak adlandırılır ancak bir gazın basınç hacim ürünü birim hacim başına mevcut moleküllerin sayısı ile neredeyse orantılı olduğu için hacim yüzdeleri veya kısmi basınç yüzdeleri olarak da düşünülebilir. Atmosferde az miktarda argon ve karbon dioksit gibi diğer gazlarda bulunur [28-31].

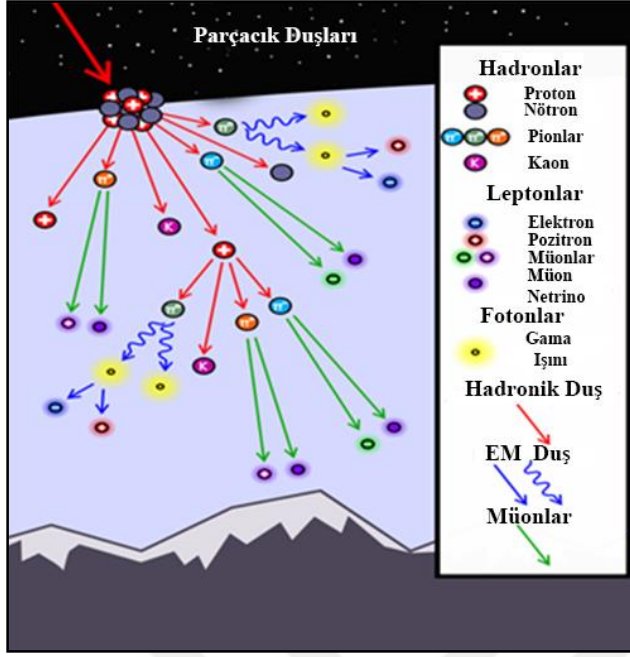
4. KAPSAMLI HAVA DUŞLARI

Yüksek enerjili kozmik ışınlar atmosfere gelerek hava molekülleri ile etkileşime girer [26]. Birincil kozmik ışınlar atmosfere girdiğinde, N_2 , O_2 veya Ar molekülleri ile karşılaşır ve esnek olmayan çarpışma yaparlar. Bunun sonucu olarak ikincil parçacıklar üretirler [32]. Birincil kozmik ışınların toplam enerjisi, artan sayıda ikinci mertebeye dağıtılır ve bu süreç parçacıkların enerjisi ikincillerin daha fazla üretimi için yetersiz kalana kadar devam eder.

Hava duşunun ikincilleri iki ana bileşene ayrılabilir. Birincisi elektromanyetik (yumuşak) ve ikincisi muonlar ve hadronlardan oluşan (sert) bileşendir. Bunlara ek olarak, toplam enerji dengesine fazla katkıda bulunmayan Floresans ve Çerenkov fotonları bulunur [26].



Şekil 4.1. Kapsamlı hava duşları bileşenleri



Şekil 4.2. Kapsamlı hava duşları (Telescope Array 2011)

Çizelge 4.1. Parçacıkların sınıflandırılması [33]

Sınıf	İsim	Sembol	MeV	Kütle(u)	Ömür(s) ;Bozunma modu
Baryon	Nötron Proton	n p	939,6 938,3	1,008665 1,007276	889; $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$ kararlı
Mezon	K-mezon (Kaon) π -mezon (pion)	K^+, K^- π^+, π^0, π^-	493,7 139,6	0,530009 0,149867	$\approx 10^{-8}$; $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \pi^+ + \pi^0$, $\approx 10^{-8}$; $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$
Lepton	Muon Elektron kararlı Nötrino	μ^- e^- ν_e, ν_μ, ν_τ	105,6 0,5110	0,113366 0,000548	2×10^6 ; $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$
Foton	Foton, Gama	$h\nu$ γ	0	0	kararlı kararlı

4.1. Elektromanyetik Duş

Hava duşları, fotonlardan ve elektronlardan oluştuğunda elektromanyetik duşlar olarak adlandırılır. Ya kozmik ışın elektronları ve fotonları ya da hadronik etkileşimlerde ikincil parçacıklar olarak yaratılan elektronlar ve fotonlar tarafından başlatılırlar. Yüksek enerjilerde, Bremsstrahlung ve çift üretimi hakimdir.

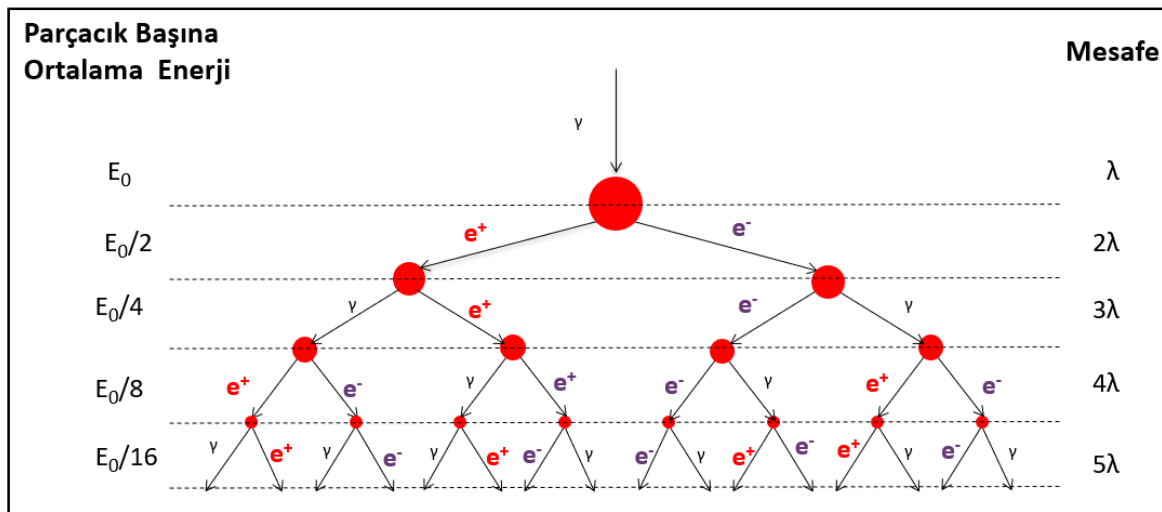
Bremsstrahlung,

$$e^+ \rightarrow e^+ + \gamma, \quad e^- \rightarrow e^- + \gamma \quad (4.1)$$

ve çift üretimi,

$$\gamma^* \rightarrow e^- + e^+ \quad (4.2)$$

denklemleriyle ifade edilebilir. Parçacıkların sayısı arttıkça, parçacık başına düşen ortalama enerji azalmalıdır. Daha düşük enerjide elektronlar, iyonlaşma nedeniyle enerjisini kaybetmeye başlarlar. Bir noktada iyonizasyon yoluyla kaybedilen enerji baskın hale gelir. Bu enerjiye, ortamın kritik enerjisi E_c denir. Bu noktada, parçacıkların sayısı artmayı durdurur ve düş maksimumuna ulaşılır. Düş maksimumunun iki önemli parametresi vardır. İlki, düş maksimumuna ulaşılan nokta olarak bilinir ve $X_{\max}$ ile ifade edilir. İkincisi ise elektromanyetik düştaki elektron, pozitron ve fotonların maksimum sayısı olan $N_{\max}$ olarak bilinir. $X_{\max}$, birincil bir kozmik ışının kimyasal bileşimine duyarlı bir niceliktir ve kozmik ışınların enerjisine logaritmik olarak bağlıdır. Hava düşünün elektron ve fotonlarının maksimum sayılarına ulaştığı atmosfer derinliğidir. Elektromanyetik bileşen, fotonlar tarafından π^0 bozunumlarından üretilir. $N_{\max}$, birincil bir kozmik ışının enerjisiyle doğrusal olarak bağlıdır. Bremsstrahlung ve çift üretimi arasındaki etkileşimler, Heitler'in modeline ilham kaynağı olmuştur.



Şekil 4.3. Heitler modeli grafiği

Bu model Heitler tarafından 1944'te önerilmiştir. Bir elektromanyetik duşun genel davranışını ve $X_{\max}$ ile $N_{\max}$ niceliklerinin, birincil kozmik ışınlar nasıl bağlı olduğunu açıklarken yararlıdır. Heitler modelinin iki varsayımı vardır. İlk olarak, duştaki herhangi bir noktada enerji, duştaki parçacıklar arasında eşit olarak dağılır. İkincisi ise, çift üretimi için alınan yol (Λ), bir elektron veya pozitronun bremsstrahlung ile etkileşen ortalama serbest yoluna eşittir. Bu, Λ ile gösterilir. Önce enerjisi E_0 olan bir γ parçacığını düşünelim. Λ mesafe yol aldıktan sonra her biri $E_0 / 2$ enerjili bir elektron ve bir pozitron üretir. Sonra ise oluşan elektron ve pozitron Λ mesafesi yol alır ve bir γ üretir. γ 'nın kinetik enerjisini yarı yarıya verirler. İşlemin iki tekrarı sonrası başlangıçtaki γ , her biri $E_0 / 4$ enerjili dört parçacık (iki γ , bir elektron ve bir pozitron) oluşturur [6]. Heitler modelinde, i adım sonra,

$$N_i = 2^i \quad (4.3)$$

Her parçacığın enerjisi ise ;

$$E_i = \frac{E_0}{2^i} \quad (4.4)$$

Mesafeyi incelemek istersek ;

$$N(x) = 2^{x/\Lambda} \quad (4.5)$$

$$E(x) = \frac{E_0}{2^{x/\Lambda}} \quad (4.6)$$

Bu işlem, parçacık başına enerjinin kritik enerjiye E_c 'ye ulaştığı noktaya kadar devam eder. Bu noktada $x = X_{\max}$. Bu basit modelde,

$$N_{\max} = \frac{E_0}{E_c} \quad (4.7)$$

$X_{\max}$ için bu ifadeyi yazarsak karşımıza şu denklem çıkar.

$$X_{\max} = \Lambda \frac{\ln(E_0/E_c)}{\ln(2)} \quad (4.8)$$

$X_{\max}$ 'ın enerjiye bağımlılığı uzama hızı olarak adlandırılır. Elektromanyetik duşa başlayan γ parçacıkları, duşun hadronik çekirdeğinden bir proton iki γ 'a kadar bozunan nötr pilyonlar üretir. Ağır bir çekirdek durumunda, kozmik ışın her biri kendi alt duşunu üreten kendi iletken nükleonları vasıtasıyla etkileşir. Böylece, A atomik kütleli birincil kozmik ışın bir A alt duş üretecektir. Heitler modeli E_0 / A başlangıç enerjisiyle başlar. Son olarak, E_c ve Λ içeren denklem şu şekildedir.

$$X_{\max} \propto \Lambda \log_{10} \left(\frac{E_0}{E_c A} \right) \quad (4.9)$$

Dağılımların şekli birincil kozmik ışınların kimyasal bileşimine bağlıdır. Yukarıda anlatıldığı gibi, atom kütlesi A olan ağır bir çekirdek, atmosferde etkileşime girdiğinde, A alt duşlarını başlatır. Bu alt duşlar, tek bir hava duşunda ortalama bir etki yaratır. Daha ağır çekirdeklerden kaynaklanan elektromanyetik duşların daha az dalgalanma göstermesi ve dolayısıyla $X_{\max}$ 'ın daha dar dağılımına neden olması sonucudur [12,14,34,35].

4.2. Hadronik Duş

Hadronik duş, kozmik ışın protonların atmosferle etkileşim kurmasıyla yaratılır. Hadronik etkileşimler, pionların ve kaonların yaratılmasına neden olur. Pionlar “ π ” ile kaonlar “ p ” ile gösterilmiştir. Aşağıdaki denklemde yüksüz pionlar “ π^0 ” ile ifade edilmiştir.

$$p + p \rightarrow p + \Delta^+ \rightarrow p + p + \pi^0 \quad (4.10)$$

Burada Δ^+ rezonansı aynı zamanda bir nötron ve yüklü bir piona dönüşüm olarak ifade edilebilir. Kaon üretim oranına karşılık pion yaklaşık 9’da 1’dir. Pionlar çoğunlukla muonlara, elektronlara, nötrinolara ve fotonlara bozunur. Örneğin;

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (4.11)$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Eş. 4.11'in sol tarafında yüklü ve yüksüz pionlar ifade edilmektedir. Pozitif yüklü pionlar " π^+ ", negatif yüklü pionlar " π^- " ve yüksüz pionlar " π^0 " ile gösterilmiştir. Pozitif yüklü pionların bozunumunda pozitif yüklü muonlar " μ^+ " ve muon nötrinoları " ν_μ " oluşur. Negatif yüklü pionların bozunumunda ise negatif yüklü muonlar " μ^- " ve muon antinötrinoları " $\bar{\nu}_\mu$ " oluşur. Yüksüz pionların bozunumunda ise gama fotonları oluşur.

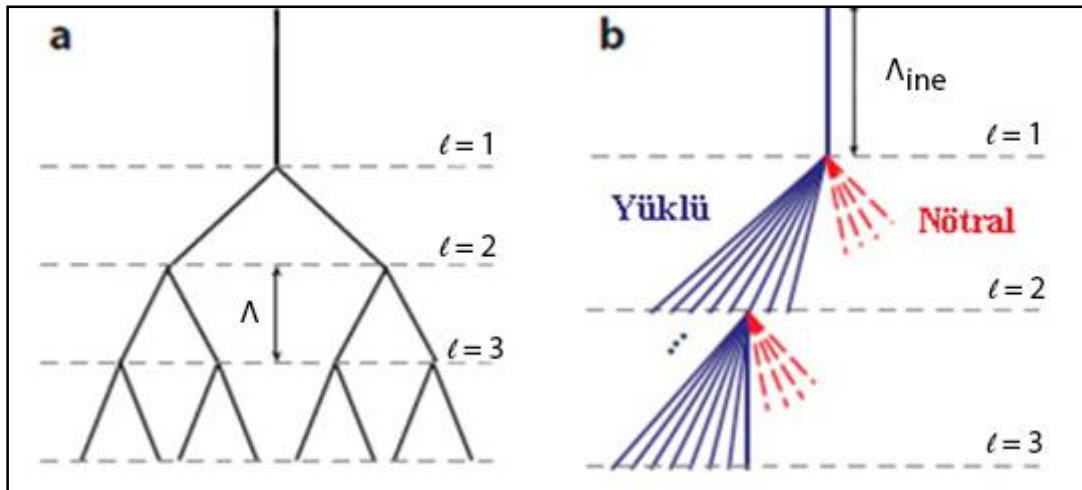
Kaonlar, esas olarak pionlara, muonlara, elektronlara ve nötrino molekülüne bozunurlar. Rölativistik enerjilerde, pionların ve kaonların bozunması, zaman genişlemesi nedeniyle gecikir. Bu enerjilerde, madde ile etkileşimler, parçacıkların bozunmasından önce gerçekleşebilir.

Bozunan nötr piyonlar tarafından üretilen fotonlar elektromanyetik duşları başlatır.

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e \quad (4.12)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$$

Birincil enerjinin en büyük fraksiyonu nihayetinde elektromanyetik basamakların üretimine doğru gider [12].



Şekil 4.4. Hava duşunun çağlayan modeli.(a) Elektromanyetik, (b) Hadronik bileşen. (Kesik çizgiler nötral π^0 , düz çizgiler yüklü $\pi^\pm$.)

Elektromanyetik duşlarda olduğu gibi, hadronik duşlar için de Heitler modeline benzer bir modelleme yapılabilir (Heitler-Matthews modeli) [35]. Bir hadronun, üçte biri n_{ch} (yüklü piyonlar) yüklü ve üçte biri nötr parçacıklar (nötr pionlar) olan E / n_{tot} enerjili parçacıklar

ürettiği varsayılmakta olup Şekil 4.4.'de gösterilmektedir. Nötr parçacıklar hemen elektromanyetik parçacıkların içine bozunur.

Ortalama etkileşim uzunluğu Λ_{ine} 'ye karşılık gelen bir mesafeyi dolaştıktan sonra, yüklü parçacıkların enerjisi, E_{dec} enerjisinden daha büyükse, hava çekirdeği ile tekrar etkileşime girer. Yüklü hadronların enerjisi E_{dec} 'in altına düştüğünde, bu parçacıklar bozunur ve hadron başına bir muon üretir. Her hadronik etkileşimde, enerjinin üçte biri π^0 bozunumu yoluyla elektromanyetik duş bileşenine aktarılır. ℓ nesillerinden sonra, hadronik ve elektromanyetik bileşenlerindeki enerjiler sırasıyla şu şekilde ifade edilebilir.

$$E_{had} = \left(\frac{2}{3}\right)^\ell E_0, \quad E_{EM} = \left[1 - \left(\frac{2}{3}\right)^\ell\right] E_0 \quad (4.13)$$

$\ell \approx 6$ ile başlangıçtaki duş enerjisinin yaklaşık %90'ı elektromanyetik parçacıklar tarafından taşınır ve atmosferde iyonizasyon enerjisi olarak depolanır. Duş maksimumunun hadronik duş derinliği, elektromanyetik parçacıklar tarafından belirlenir. Yalnızca ilk hadronik etkileşimde üretilen elektromanyetik alt duşlarını göz önüne alırsak,

$$X_{max}^{had}(E_0) \approx \Lambda_{ine} + X_{max}^{EM} \left[\frac{E_0}{2n_{tot}} \right] \sim \Lambda_{ine} + X_0 \ln \left(\frac{E_0}{2n_{tot}E_\ell} \right) \quad (4.14)$$

Burada Λ_{ine} , hadronik etkileşim uzunluğudur. Daha yüksek hadronik etkileşim nesillerinin dahil edilmesi denklemin yapısını değiştirmez. Bir hadronik duşun maksimumunda elektronların sayısı, azaltılmış enerjili bir elektromanyetik duşuna karşılık gelir. Heitler-Matthews modelindeki muonların sayısı, yüklü hadronlarınkinden gelir.

$$E = \frac{E_0}{(n_{tot})^\ell} = E_{dec}, \quad N_\mu = n_{ch}^\ell \quad (4.15)$$

Kuşakların sayısını ortadan kaldırarak elde edilecek denklem aşağıdaki olur.

$$N_\mu = \left(\frac{E_0}{E_{dec}} \right)^\alpha, \quad \alpha = \frac{\ln n_{ch}}{\ln n_{tot}} \approx 0.82 \dots \quad (4.16)$$

Hava duşunda üretilen muon sayısı birincil enerjiye, hava yoğunluğuna (E_{dec} yoluyla) ve hadronik etkileşimlerin yüklü ve toplam parçacık çokluğuna (α' 'ya göre) bağlıdır. Hadronlar, elektromanyetik parçacıklara göre daha geniş bir yanal dağılım gösterir. Yüksek enerjili π^0 bozunumundan fotonlar üretildiyse, elektromanyetik parçacıklarının yanal yayılımı çoklu Coulomb saçılımı ile belirlenir. Sadece $r \gg r_1$ 'in bulunduğu düşük mesafelerde düşük enerjili piyonların bozunmasından fotonlar alır. Benzer şekilde, muonların yanal dağılımı, elektromanyetik parçacıklarından daha geniştir, çünkü muonlar esas olarak düşük enerjili piyonların bozunmasında üretilir. Buna karşılık, toplam muon veriminde düşük enerjide ($E \leq 200$ GeV) hadronik etkileşimlerin etkisi vardır [36].

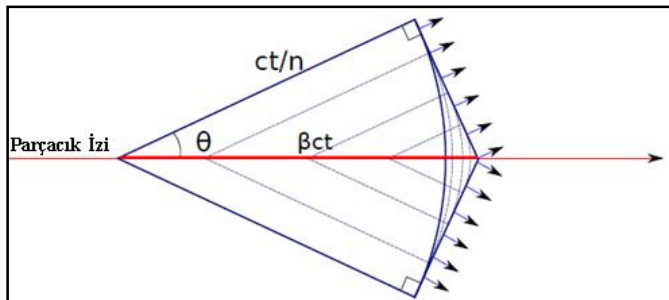
4.3. Çerenkov Etkisi

Yüklü bir parçacık, ortamdaki ışık hızından daha yüksek bir hızla ortam içinden geçtiğinde Çerenkov ışığı yayılır [7]. Bu durum Şekil 4.5.'de gösterilmektedir.

$$v > \frac{c}{n}, \quad \beta = \frac{v}{c} > \frac{c}{cn} \quad (4.17)$$

Burada n , ortamın kırılma indisidir. Işık, koni içinde, aşağıda verilen dar bir açılma açısı ile üretilir.

$$\cos \theta = \frac{c}{nv} = \frac{1}{n\beta} \quad (4.18)$$



Şekil 4.5. Çerenkov Etkisi [7]

Işık üretimi Çerenkov radyasyonunu yaymak için gereken minimum enerji hesaba katılır ve denklemlerle tanımlanır [7].

$$E_{th} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (1/n)^2}} \quad (4.19)$$

4.4. Floresans Etkisi

Floresans yöntemi atmosferde hareket ederken bir hava duşunun uzunlamasına gelişimini ölçmek için azot floresans kullanır. Bu, floresans dedektörleri tarafından kullanılan kozmik ışın algılama yöntemidir. Hava duşları geliştikçe ikincil yüklü parçacık azot gazını uyarıp sonra ultraviyole (UV) floresans fotonları yayar [34].

4.5. Kozmojenik Radyonüklitler

Kozmik ışınların atmosferdeki çekirdeklerle etkileşimi, temel parçacıkların yanı sıra bir radyonüklitler de üretir. Radyonüklit üretimine solar modülasyon, yükseklik, enlem ve dünyanın manyetik alanı gibi faktörler etki eder. Üretim, en fazla üst stratosferde olur, fakat bazı enerjik kozmik ışınlar, alt atmosfere ulaşarak, bu katmanda da kozmojenik radyonüklitler üretirler [11].

Çizelge 4.2. UNSCEAR 2000 raporu kozmojenik radyonüklit oranları [37]

Radyonüklit	Üretim Oranı		Global Envanter (PBq)	Troposferdeki Miktar	Troposferdeki Konsantrasyon (mBq m ⁻³)
	Birim Alan Başına atom (m ⁻² s ⁻¹)	Yıllık Miktar (PBq a ⁻¹)			
³ H	2 500	72	1 275	0,004	1,4
⁷ Be	810	1 960	413	0,11	12,5
¹⁰ Be	450	0,000064	230	0,0023	0,15
¹⁴ C	25 000	1,54	12 750	0,016	56,3
²² Na	0,86	0,12	0,44	0,017	0,0021
²⁶ Al	1,4	0,000001	0,71	7,7 x 10 ⁻⁸	1,5 x 10 ⁻⁸
³² Si	1,6	0,00087	0,82	0,00011	0,000025
³² P	8,1	73	4,1	0,24	0,27
³³ P	6,8	35	3,5	0,16	0,15
³⁵ S	14	21	7,1	0,08	0,16
³⁶ Cl	11	0,00013	5,6	6 x 10 ⁻⁸	9,3 x 10 ⁻⁸

Çizelge 4.2. (devam) UNSCEAR 2000 raporu kozmojenik radyonüklit oranları [37]

³⁷ Ar	8,3	31	4,2	0,37	0,43
³⁹ Ar	56	0,074	28,6	0,83	6,5
⁸¹ Kr	0,01	1,7 x 10 ⁻⁸	0,005	0,82	0,0012

5. YER SEVİYESİNDE KOZMİK IŞINLAR

Kozmik ışınlar atmosferde hava duşlarını oluştururken dünyanın jeomanyetik alanı ve atmosfer, enerji analizörleri olarak düşünülebilir. Hava duşlarında, yer seviyesine erişmek için enerjinin yüksek olmasına ihtiyaç duyulur. Yüksek enerjili birincil parçacıklar, atmosferin alt katmanlarındaki parçacık akılarının oluşmasını sağlar [38].

Atmosferin üst katmanlarında birincil kozmik ışıklardan dolayı protonlar ve elektronlar çoğunluğu oluştururken deniz seviyesine yaklaştıkça hava duşlarında oluşan muon ve nötrinolar çoğunluğu oluşturur [27].

Pionlar ve kaonlar olmak üzere yüklü mezonlar, birincil kozmik ışınları oluşturan protonlar ve alfa parçacıklarının, atmosfer ile etkileşimi yoluyla üretilir. Nötrinolar ve muonlar, bu parçacıkların bozunmasından üretilir. Muonlar da aynı zamanda nötrinolar üretirler [39].

Birincil parçacıkların çoğunun, yerseviyesine ulaşan duş üretmek için yeterli enerjisi yoktur. Bununla birlikte, muonlar böyle duşlarda yaratılır [12]. Muonlar öncelikle aşağıdaki bozunma süreçlerinden üretilir [32].

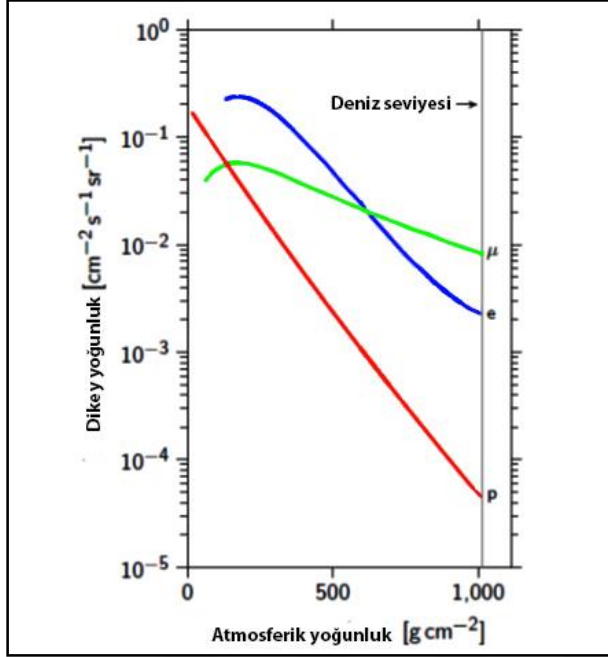
$$\begin{aligned}\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu\end{aligned}\tag{5.1}$$

Bunların kütlesi $105.7 \text{ MeV} / c^2$ olarak bilinir. Bu, bir elektron kütlesinin yaklaşık 200 katıdır. İkincil partiküllere aşağıdaki şekilde bozunurlar [32].

$$\begin{aligned}\mu^- &\rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu \\ \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu\end{aligned}\tag{5.2}$$

Muonların ömrü yalnızca $2,2 \mu\text{s}$ 'dir ancak yüksek enerjili muonların deniz seviyesine ulaşması için yeterli bir Lorentz faktörü vardır [12]. Lorentz faktörü nedeniyle çoğu muon, özellikle birincil yüksek enerjilerde bozunma olmaksızın zemine ulaşabilir [32]. Muonlar, zaman genişlemesinin etkisi ile yer seviyesine ulaşabilir [27].

Muonlar, Bremsstrahlung nedeniyle elektronlardan çok daha az enerji kaybederler. Bu nedenle, muonların deniz seviyesine ulaşması elektronlardan çok daha olasıdır. Sonuç olarak, deniz seviyesindeki tüm yüklü parçacıkların %80'i muon olup, Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi yaklaşık $1 \text{ cm}^{-2} \text{ dak}^{-1}$ akı oluşturur [12].



Şekil 5.1. Atmosferik yoğunluğa göre parçacık bileşimi [12]

Muonların TeV enerjileri mertebesinde enerji kaybetmeleri için ana süreç, atmosferdeki iyonizasyon yoluyla olur. İyonlaşma kaybı Bethe-Bloch denklemi ile verilir.

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi}{m_c} \cdot \frac{n_d z^2}{\beta^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I(1-\beta^2)} \right) - \beta^2 \right] \quad (5.3)$$

TeV enerjilerinin üstünde, bremsstrahlung ve elektron-pozitron çifti üretimine bağlı kayıplar da önemlidir [32]. Bu denklemde $\beta=(v/c)$ ile verilir. E, parçacıkların enerjisini ve x mesafeyi gösterir. m_e ise elektronun durgun kütlesidir. Elektronların yoğunluğu n_d , uyarılma potansiyeli I , parçacığın yükü ze ile verilmektedir. Elektrik geçirgenlik ϵ_0 ile verilir.

Deniz seviyesinde hadronik duşlar sebebiyle oluşan küçük nükleon akısı da vardır. Birincil kozmik ışınlardan kaynaklanan nükleonların deniz seviyesine ulaşma olasılığı düşüktür. Elektromanyetik duşlarda oluşan fotonlar, elektronlar ve pozitronların akıları muon akısından çok daha düşüktür [12].

Sonuç olarak bakıldığında, gelen parçacık yeterli enerjiye sahipse, zemin seviyesine ulaşabilir. Ancak genel duruma bakılırsa çoğunlukla muonların ve nötrinoların Dünya yüzeyine ulaşabildikleri görülür [27].

5.1. Nötron Kaynaklı Radyasyon

Nötronlar, 1 GeV'den büyük enerjili birincil kozmik ışınların oluşturduğu reaksiyonlarda üretilir. Nötronlar bilindiği üzere yüksüzdür. Dolayısıyla yüklü parçacıklar gibi elektromanyetik etkileşimlerden etkilenmezler. Bu sebeple elektromanyetik etkileşimlerde enerji kaybetmezler. Enerjilerini ancak çarpışma yoluyla kaybedebilirler. Bazı nötronlar, izotop oluşumuyla sonuçlanan ve nötron yakalama reaksiyonlarına katılırlar. Birincil kozmik ışınlar stratosferde bir nötron akısına neden olur. Birincil kozmik ışınların enerjileri çok yüksek olsa bile, nötronlar toprak üzerinde önemli miktarda radyasyon dozu oluşturamaz. Geniş kesitleri nedeniyle nötronlar üst atmosferde, özellikle uçuş yüksekliklerinde önemli bir tehdit oluşturmaktadır [40].



6. KOZMİK RADYASYON DOZU VE İNSAN SAĞLIĞI

Maruz kalınan radyasyon dozu, röntgen (R) birimi ile ölçülür. Tanım gereği STP (Standard Temperature and Pressure)'de $1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$ hava olarak ifade edilir. Röntgen, çoğunlukla tarihsel ve nadiren kullanılan bir birimdir. Absorbe edilen dozun orijinal birimi, "radyasyon absorbe doz" teriminden türetilen rad'dir.

Rad, absorbe edilen dozun SI birimi olan Gray (Gy) ile değiştirilmiştir. Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçüm Komisyonu (ICRU), SI birimlerinin kullanımını önermektedir. Rad ve Gray aşağıdaki şekilde dönüştürülebilir.

$$100 \text{ rad} = 10^4 \text{ erg/g} = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \quad (6.1)$$

$$1 \text{ rad} = 10 \text{ mGy} = 100 \text{ erg/g} \quad (6.2)$$

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ olduğu için Gray, bir kilogramlık absorbe edici madde içinde birikmiş elektron volt enerjisi birimlerine dönüştürülebilir.

$$1 \text{ Gy} = 6,24 \times 10^{12} \text{ MeV/kg} \quad (6.3)$$

Radyasyon dozunun bir diğer önemli birimi ise Rem'dir. Rem, biyolojik doku için absorbe edilen dozun bir ölçüsüdür. Ölçü birimi, "insan için röntgen eş değeri" teriminden türetilir. Rem, tahmini biyolojik etki açısından vücut dokusuna iyonize radyasyon dozu ölçümü olarak oluşturulmuştur.

$$100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} \quad (6.4)$$

Radyasyon türü ve enerjisi doz kavramını tanımlarken önemlidir. Radyasyonun göreceli tehlikesini tanımlayan bir ağırlık faktörü (w_R) temel alınarak ölçülür. Rem veya Sv (Sievert), eşdeğer doz birimleri olarak adlandırılır. Ağırlık faktörü, daha önce kalite faktörü (QF) olarak biliniyordu. Bu, söz konusu radyasyon tarafından aynı biyolojik etkiyi üretmek için gereken doza gama ışını veya x-ışını dozunun oranı olarak tanımlandı. Çizelge 6.1.'da radyasyonun türüne ve enerjisine göre radyasyon ağırlıklandırma faktörleri listelenmiştir.

Çizelge 6.1. Radyasyon ağırlık faktörleri

Radyasyon	w_R
x-ve gama ışınları, tüm enerjilerde	1
Elektron ve muonlar, tüm enerjilerde	1
Nötronlar < 10 keV	5
Nötronlar 10 - 100 keV	10
Nötronlar > 100 keV'den 2 MeV'e kadar	20
Nötronlar 2- 20 MeV	10
Nötronlar > 20 MeV	5
Proton(geri tepmesiz) > 2 MeV	5
Alfa parçacıkları, fizyon parçaları, ağır çekirdekler	20

Sievert biriminde eşdeğer doz, ağırlık faktörü ile şu şekilde hesaplanabilir.

$$Sv = \text{Absorbe Edilen Doz}(Gray) \times w_R \quad (6.5)$$

Absorbe edilen ortalama doz ise dokular için şu şekilde yazılabilir.

$$Sv = D_{T,R} \times w_R \quad (6.6)$$

Burada Sv, Sievert'deki eşdeğer dozdur. $D_{T,R}$, dokuda absorbe edilen eşdeğer dozu ifade eder. Eşdeğer doz, radyasyonun biyolojik etkileri gözönünde bulundurularak hesaplanan, vücutta birim kütlede soğurulan enerji miktarıyla orantılı bir değerdir [41].

6.1. Kozmik Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerinde Etkileri

Dünya üzerindeki herkes doğal kaynaklardan gelen iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon, bir atomdan bir elektron koparabilecek enerjiye sahiptir. Biyolojik yapılarda hasarlara sebep olabilir. DNA yapısını bozabilir. Maruz kalınan süre ne kadar artarsa ortaya çıkan risk o kadar büyük olur. Kansere sebep olabilir [42].

Doğal radyasyona maruz kalmamızın iki ana sebebi bulunur. Birincisi Dünya atmosferine gelen kozmik ışınlardır. İkincisi ise Dünya'nın kabuğundan kaynaklanan ve çevrenin her yerinde bulunan ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{14}C gibi radyoaktif materyallerdir [43].

İnsan vücudunun maruz kaldığı radyasyon oranları şu şekilde belirtilebilir. Radon (%55), tıbbi x-ışınları (%11), iç radyasyon (%11), karasal radyasyon (%8), kozmik radyasyon (%8), nükleer tıp (%4), tüketici ürünleri (%3) [41].

Maruz kalabileceğimiz radyasyon dozu sınırları ABD Ulusal Radyasyon Koruma Konseyi (NCRP) tarafından ve Uluslararası Radyasyon Koruması Konseyi (ICRP) tarafından belirlenmiştir. Bu kuruluşlara göre, radyasyon çalışanları için 5 yılda 100 mSv doz limiti vardır (yılda ortalama 20 mSv). Genel halk için ise standart radyasyon dozu 1 mSv / y olarak belirlenmiştir [42].

UNSCEAR dünya çapında maruz kalınan radyasyon dozu ile ilgili detaylı bir rapor yayınlamıştır. Kozmik radyasyondan kaynaklanan dünya çapında ortalama yıllık etkin doz UNSCEAR 2000 raporuna göre zemin seviyesinde 0,38 mSv / y olarak verilmiştir. Aynı raporda yıllık ortalama etkin doz da 2,4 mSv / y olarak verilmiştir.

Kozmik radyasyon dozunu etkileyen faktörler kozmik radyasyon yoğunluğuna bağlıdır. Bu yoğunluk ise yükseklik ve enlem ve solar modülasyona bağlı olarak değişir. Dünya atmosferinde troposferden ekzosfere doğru, kozmik radyasyon dozu artar. Kutuplardan ekvatora doğru azalır.

6.1.1. Enlem etkileri

Dünyanın manyetik alanı, üst atmosfere ulaşan kozmik radyasyon yoğunluğunu azaltır. Dünyanın manyetik alanının şekli, yalnızca daha yüksek enerjilere sahip parçacıkların daha düşük jeomanyetik enlemlerde nüfuz edebileceği şekildedir. Bu, jeomanyetik kutuplara yakın ekvatorlarda azami yoğunluk ve yoğunluklar ile en yüksek düzeyde ve jeomanyetik enlem etkisini üretir.

Yeryüzünün yakınında, jeomanyetik alan, kozmik parçacıkların enerjilerine göre (gerçekte, rijitliklerine göre) bir ayıraç görevi görür. jeomanyetik alanın etkili bir şekilde korunmasından dolayı parçacıkların belirli bir yere ulaşmadığı eşiği tanımlayan parçacık enerjisi ve rijitlik arasındaki ilişki,

$$E = \sqrt{(RZe/A)^2 + m^2} - m \quad (6.7)$$

E'nin GeV'deki nükleon başına enerji, R'nin GV olarak rijitlik, Z'nin nükleer yükü, A'nın atom ağırlığı ve m'nin GeV'deki nükleon kütlesi olduğu bilinmektedir. Yüksek enerjili protonlar için, parçacık enerjisi ve rijitlik oldukça benzerdir. Her bir jeomanyetik enlem, bir rijitlik ile karakterize edilebilir, öyle ki daha az rijitliğe sahip olan parçacıklar bu enlemlere ulaşamazlar.

Kesme rijitliği (R_c) şu şekilde verilir:

$$R_c = 14,9 \cos^4(\lambda) \quad (6.8)$$

λ , jeomanyetik enlemdir. Ekvatorik enlemler en çok korunan bölgelerdir. Sadece 15 GV'dan daha büyük rijitliklere sahip parçacıklar ve 14 GeV'den daha büyük enerjili protonlar ekvatorial bölgelere ulaşabilir.

6.1.2. İrtifa etkileri

Nötronların, ortalama serbest yolları uzundur. Çeşitli etkileşimlerin bir sonucu olarak, nötron enerji dağılımı 50 ila 500 MeV arasında zirveye ulaşır. Yaklaşık 1 MeV'de daha düşük bir enerji tepe noktası, nükleer de-eksitasyon (buharlaşma) ile üretilir. Her iki bileşen de kozmik ışın maruziyetlerinin değerlendirilmesi için önemlidir.

Yer seviyesinde, müonlar (çoğunlukla 1 ile 20 GeV arasında değişen enerjilerle) kozmik ışın alanının baskın bileşenini oluşturur. Doğrudan iyonlaşan radyasyondan kaynaklanan serbest havadaki emilmiş doz oranının yaklaşık %80'ine katkıda bulunurlar. Kalan kısım, müonlar tarafından üretilen veya elektromanyetik duşlarda bulunan elektronlardan gelir. Yükseklik arttıkça, elektronlar doz oranına daha çok katkıda bulunur.

Foton ve iyonize edici bileşenden alınan doz oranının enlem ile değiştiği bilinmektedir, ancak varyasyon küçüktür. Doz oranı, jeomanyetik ekvatorda yüksek enlemlere göre yaklaşık daha düşüktür.

Deniz seviyesinin üzerindeki yükselmelerdeki kozmik ışın doz oranları tahminleri Bouville ve Lowder tarafından yayınlanan bir prosedür kullanılarak yapılır.

$$E_1(z) = E_1(0)[0,21e^{-1,649z} + 0,79e^{-0,4528z}] \quad (6.9)$$

Burada $E_1(0)$ deniz seviyesinde doz oranıdır ve z kilometre olarak yüksekliktir.

Nötron bileşeni için, hem enlem hem de yükseklik, doz oranını güçlü şekilde etkiler. Nötronlar, üst atmosferdeki yüksek enerjili protonların çarpışmalarının sonucu olarak ortaya çıkar. Bu protonlar, dünyanın manyetik alanından etkilenir ve ekvatoryal bölgelerdeki nötron akısı oranının kutup bölgelerindeki akıdan daha az olmasına sebep olur.

Kozmik ışınların nötron bileşenine, önemli bir etki de yükseklik tarafından verilir. Bununla ilgili olarak aşağıdaki ifadeden faydalanılabilir.

$$E_N(z) = E_N(0)b_N e^{az} \quad (6.10)$$

$E_N(0)$, deniz seviyesinde nötronlara bağlı etkin doz oranıdır. $z < 2$ km için $b_N = 1$ ve $a = 1 \text{ km}^{-1}$ ile ve $z > 2$ km için $b_N = 2$ ve $a = 0,7 \text{ km}^{-1}$ olarak verilir.

İnsan vücudunda bulunan ve metabolik rolleri olan elementlerin izotopları ^3H , ^{14}C , ^{22}Na ve ^7Be haricinde, kozmojenik radyonüklitler radyasyon dozlarına çok az katkıda bulunurlar.

^{14}C kaynaklı ortalama yıllık bireysel etkin doza yaklaşık $12 \mu\text{Sv}$ katkıda bulunur. Tritiyum ortalama olarak yıllık doz $0,01 \mu\text{Sv}$. ^7Be ise yıllık etkin doza olan $0,03 \mu\text{Sv}$ katkı yapar [11].

Atmosfer dışından gelen yüksek enerjili radyasyonun biyosfere zarar veren iki temel mekanizması vardır. Birinci sebep olarak, kozmik ışınların atmosferi iyonize etmesi üst stratosferdeki ozonun tükenmesine neden olur denilebilir. Bunun sonucunda da zemin seviyesinde UVB'nin (280 - 315 nm) oranı artar. İkincisi ise, atmosferde üretilen ikincil parçacıkların (muonlar ve termal nötronlar) canlı organizmalara doğrudan ışınlamasıdır. Üst atmosferi iyonize edebilecek bir diğer şey de foton patlamasıdır. Üst stratosferdeki ozon tabakası bu iyonlaşma nedeniyle tükenmekte ve oksijene dönüştürülmektedir. Bildiğimiz gibi ozon tabakası, Güneş'ten gelen zararlı UVB ışınımını bloke eder. Bu tabakada oluşan hasarlar UVB akısının yer seviyesinde artış göstermesine sebep olur. UVB radyasyonunun kanserojen olduğu ve DNA hasarına sebep olduğu bilinmektedir.

Güneş kökenli düşük enerjili parçacıklar Dünya'nın üst atmosferine gelirler. Atmosferde üretilen ikincil parçacıklar atmosferin yüksek kısımlarında absorbe edilir. Üst atmosfere

verilen hasar seviyesi çok sınırlıdır. Galaktik kozmik ışınlar olarak bilinen daha yüksek enerjili parçacıklar atmosfere gelirler. Düşük bir ikincil parçacık dozu, dünyanın yüzeyine ulaşır ve karasal yaşamda zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Daha yüksek enerjili primer ışınlar, uzun zaman ölçeklerinde dünyaya çarpabilir. Kozmik ışın akısının bu yüksek enerji bileşeni, Gama ışını patlamaları, yakın süpernova ve galaksideki güneş dinamikleri gibi aşırı olaylarda önemli ölçüde artar. Bu durum gezegenimizdeki hayatı önemli derecede etkileyebilir. Yer seviyesinde yoğunlaşmış muonlar doğrudan canlı organizmaları etkileyebilir. Normal kozmik ışınım oluşturan bu etkiler normal yaşantımıza herhangi bir ciddi etki yaratacak kadar büyük değildir ve fazla bir dikkat gösterilmemiştir. Ancak, uzun zaman ölçekleri ile ilgili aşırı astrofizik olaylardan etkilenme durumunda bu etkiler önem kazanmaktadır.

GRB'lerin ve yakın süpernovaların atmosferik etkilerinin ayrıntılı hesaplamalı modellemesini içeren çalışmalar yapılmış ve sonrasındaki yaşam üzerindeki etkileri sadece fotonlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Çoğu foton, galaktik kozmik ışınlara kıyasla enerjide çok daha düşüktür ve bir hava duşu başlatamaz. Bununla birlikte, kısa-sert patlamalar (SHBs) tarafından üretilen GeV fotonları hava duşları üretebilir ve kozmik ışınlara benzer sonuçlara neden olabilir. Fotonlar, üst atmosferi iyonize ederek güneşten daha fazla UVB radyasyona maruz kalmaya izin vererek ozon tabakasını tüketirler [32].

Çizelge 6.2. Deniz Seviyesinde nüfus ve enleme göre etkin doz oranları [37]

Enlem (Derece)	Enlem bandında nüfus		Etkin Doz Oranı (nSv / saat)	
	Kuzey Yarımküre	Güney Yarımküre	Doğrudan İyonlayıcı Bileşen	Nötron Bileşen
80-90	0	0	32	11
70-80	0	0	32	11
60-70	0,4	0	32	10,9
50-60	13,7	0,5	32	10
40-50	15,5	0,9	32	7,8
30-40	20,4	13,0	32	5,3
20-30	32,7	14,9	30	4
10-20	11,0	16,7	30	3,7

Çizelge 6.2. (devam) Deniz Seviyesinde nüfus ve enleme göre etkin doz oranları [37]

0-10	6,3	54,0	30	3,6
Toplam	100	100		
Nüfus Ağırlıklı Ortalama				
Kuzey Yarımküre			31,0	5,6
Güney Yarımküre			30,3	4,0
Dünya			30,9	5,5



7. İÇ ANADOLU BÖLGESİ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ



Harita 7.1. İç anadolu bölgesi illeri

İç Anadolu Bölgesi, Anadolu'nun orta kısmında yer alan Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinden biridir. İç Anadolu Bölgesi'nin yüz ölçümü 163 057 km² olup bu alan Türkiye topraklarının yaklaşık %20'sini kaplar. Ülkenin başkenti olan Ankara ilini de içine alan bu bölgede bulunan diğer iller Aksaray, Çankırı, Eskişehir, Karaman, Kayseri, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Sivas ve Yozgat illeridir. İç Anadolu bölgesi, konumu ve yer şekilleri sebebiyle ulaşımına çok elverişlidir. Diğer bölgelerin tam ortasında yer alır. Bu sebeple İç Anadolu bölgesi diğer bölgeleri birbirine bağlayan bir köprü görevi görmektedir. Bölgenin bu özelliği eski çağlardan beri önemini arttırmıştır.

İç Anadolu Bölgesi'nde yer şekilleri sade bir yapıya sahiptir ve fazla çeşitlilik göstermez. Bölgenin çevresinin yüksek dağlarla çevrili olması denizlerin nemli ve ılıman havasının bölgeye taşınmasına izin vermez. Sönmüş bir volkan olan Erciyes dağı bu bölgede yer alır. Bölgenin büyük kısmında geniş platolar bulunur. Bu platoların başlıcaları Cihanbeyli, Obruk, Uzunyayla, Haymana ve Kızılırmak'tır. Bölgede karasal iklim hüküm sürer. Yer şekilleri ve iklim koşulları tahıl tarımını öne çıkarır. Türkiye'nin en önemli tahıl üretim bölgesidir. Bölgenin önemli yeraltı zenginlikleri arasında linyit, krom, lületaşı, tuz ve bor mineralleri bulunur.

İç Anadolu; doğa, tarih ve kültür değerleri açısından çok zengin bir bölgemizdir. Bölgenin en önemli turistik yöreleri Ürgüp-Göreme çevresindeki Göreme, Avanos ve Zelve vadileri ile Aksaray'daki İhlara Vadisi'dir. Bölge, göl varlığı bakımından zengindir. Türkiye coğrafyasındaki ikinci büyük doğal göl olan Tuz gölü bölgenin orta kesiminde yer alır. Sultansazlığı, Seyfe, Akşehir ve Eber gölleri bu bölgenin önemli gölleridir.

Kızılırmak, Sakarya ve Porsuk ırmakları bu kesimin sularını Karadeniz'e ulaştırırlar. Bölgenin diğer akarsuları, kapalı havzalara akar. Kapalı havzaların en önemlisi; aynı zamanda Türkiye'nin de en geniş kapalı havzası olan Konya Bölümü kapalı havzasıdır. Başlıca hayvansal ürünler başta tiftik olmak üzere yün, et, süt , süt ürünleri, yumurta ve baldır. Bölgede bir adet petrol rafinerisi de bulunmaktadır. 2016 Tük verilerine göre bölgedeki toplam nüfus yaklaşık 13 milyondur [44].

Çizelge 7.1. İç anadolu bölgesi nüfus yoğunluğu

İl	Toplam	İl ve İlçe Merkezleri	Belde ve Köyler	Yıllık Nüfus Artış Hızı (%)
Ankara	5 445 026	5 445 026	-	18,3
Çankırı	186 074	133 056	53 018	11,9
Eskişehir	860 620	860620	-	18,5
Kayseri	1 376 722	1 376 722	-	13,0
Kırşehir	234 529	184445	50 084	19,6
Konya	2 180 149	2 180 149	-	8,7
Nevşehir	292 365	182 965	109 400	5,0
Niğde	352 727	199 485	153 242	3,6
Sivas	621 301	464 455	156 846	0,1
Yozgat	418 650	269 334	149 316	-5,7
Aksaray	402 404	279 254	123 150	14,3
Karaman	246 672	182 510	64 162	4,3
Kırıkkale	278 749	245 749	33 000	2,7

8. RADYASYON DOZ HEAPLAMALARINDA KULLANILAN SİMÜLASYON PROGRAMLARI

8.1. FLUKA Simülasyon Programı

FLUKA, temel olarak parçacıkların madde ile etkileşmelerini hesaplamak için geliştirilmiş çok amaçlı bir Monte Carlo Simülasyon programıdır. Fortran programlama dilinde yazılmıştır. Linux işletim sisteminde kullanılabilir. 1962 yılında J. Ranft ve H. Geibel tarafından hadron demetleri için yazılan bir simülasyon kodu olarak başlamıştır. FLUKA programının ilk jenerasyonu J. Ranft tarafından yazılan kodlarla (Ran64, Gei65, Ran66, Ran67, Ran70a, Ran72), 1962 – 1978 yılları arasında geliştirilmiştir. Programın ikinci jenerasyonu 1978 yılında Graham Stevenson ve Klaus Goebel önderliğinde Helsinki Teknoloji Üniversitesi (HUT) Teknik Fizik Bölümü, CERN ve Leipzig Üniversitesi arasında bir işbirliği ile [Moh81, Aar84, Aar84a, Ran85b] kodu tamamen yeniden tasarlamak için başlamıştır.

1988 yılında ise programın üçüncü jenerasyonu geliştirilmeye başlanmıştır. A. Ferrari ve A. Fassò, FLUKA'yı daha çok parçacık ve parçacık etkileşimlerini içeren, geniş enerji aralıklarını kapsayan bir koda dönüştürmek çalışmalar yapmışlardır. Günümüzde kullanılan FLUKA versiyonu üçüncü jenerasyonun devamıdır.

Fluka programı, hızlandırıcı sistemleri, zırlama, aktivasyon, radyoterapi, kozmik ışınlar vb gibi bir çok alanda kullanılabilen bir programdır.

Kullanıldığı projeler arasında LHC (The Large Hadron Collider), LCLS (The Linac Coherent Light Source), BB (Beta-beam Task), n_TOF (Neutrons Time of Flight), CNGS (CERN Neutrinos to Gran Sasso), ICARUS (ICARUS Neutrino Oscillation Experiment) gibi bilinen projeler vardır.

FLUKA simülasyonu için birçok arayüz vardır. Bu tez çalışması kapsamında FLAIR arayüzü kullanılmıştır [45].

8.1.1. Monte carlo yöntemi

Monte Carlo yöntemi, istatistiksel bir simülasyon tekniğidir. Analitik çözümü zor olan matematik problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Monte Carlo yöntemi, parçacık etkileşimlerini tanımlayan niceliklerin belli olasılık dağılımlarına sahip olduğu varsayımından yola çıkarak, madde içinde yol alan her parçacığın izlerini birer birer takip eder. Birçok parçacık için akı, enerji kaybı ve soğurulan doz gibi nicelikler kaydedilir ve bu dağılımlar için ortalama değerler hesaplanır.

Monte Carlo yönteminin bir probleme uygulanması sırasında, rastgele sayılar kullanılarak simülasyon yapılır. Hesaplanmak istenen parametrenin simülasyon sonuçlarına bakılarak yaklaşık hesaplanması fikrine dayanır.

Monte Carlo yöntemi, fen ve mühendislik alanında, savunma teknolojilerinde, nükleer teknolojilerde ve istatistiksel analiz alanlarında kullanılan bir yöntemdir.

Monte Carlo metodunda sayısal olarak bir deneyi veya olayı taklit etmek için temel araç, 0-1 arasında değerler alan düzgün dağılımlı sayıları kullanmaktır. Bu sayılar gelişmiş bilgisayar programları ile oluşturulabilir. Belli bir ölçü ve düzende bulunabilecek değerler kümesi gelişigüzel sayı kümesini oluşturur. Gelişigüzel sayılar kümesinde herhangi bir sayının gelme olasılığı diğerlerinden farklı olabilir. Olasılıklar aynı ise böyle bir kümeye düzgün dağılımlı gelişigüzel sayılar kümesi denir. Gelişigüzel Sayılar her bir rakamı aynı olasılıkla seçilmiş ve birbirinden bağımsız sayılardan oluşmuş bir kümenin elemanlarıdır. Monte Carlo metodunda çok sayıda gelişigüzel sayı gerektiğinden bu sayılar bilgisayarda üretilir. Bilgisayarda tümüyle belirli bir yönteme göre ardı ardına oluşturulan bu sayılar gerçekte gelişigüzel olmamakla birlikte gelişigüzel sayıların istatistiksel özelliklerini içerirler [46].

8.1.2. FLUKA'da enerji limitleri

FLUKA simülasyon programında parçacıkların türlerine(Yüklü hadronlar, nötronlar, antinötronlar, muonlar, elektronlar, fotonlar ve ağır iyonları içerir) ve enerjilerine göre sınırlandırmalar bulunmaktadır. (Bkz. Çizelge 8.1.)

Çizelge 8.1. Flukada kullanılan enerji limitleri [45]

	İkincil Parçacıklar	Birincil Parçacıklar
Yüklü hadronlar	1 keV-20 TeV	100 keV-20 TeV
Nötronlar	termal-20 TeV	termal-20 TeV
Anti-nötronlar	1 keV-20 TeV	10 MeV-20 TeV
Muonlar	1 keV-1 000 TeV	100 keV-1 000 TeV
Elektronlar	1 keV-1 000 TeV	70 keV-1 000 TeV (düşük-Z) 150 keV-1 000 TeV(yüksek-Z)
Fotonlar	100 eV-10 000 TeV	1 keV-10000 TeV
Ağır iyonlar	<10 000 TeV/n	<10000 TeV/n

8.1.3. FLUKA’da kullanılan birim sistemi

FLUKA simülasyon programında hesaplamalar yapılırken, programda verilen birim sistemi kullanılmaktadır. (Bkz. Çizelge 8.2).

Çizelge 8.2. Flukada kullanılan birimler [45]

Uzaklık	cm (yüzey cm^2 , alan cm^3)
Enerji	GeV
Momentum	GeV/c
Sıcaklık	K
Katı Açısı	sr
Manyetik Alan	T
Elektrik Alan	kV/cm
Zaman	s
Aktivite	Bq
LET (Linear Energy Transfer)	keV/(mg/cm ³)
Eşdeğer Doz	pSv

8.1.4. FLUKA’ da giriş dosyasının oluşturulması

FLUKA, kullanıcı tarafından yazılan ve çözülecek problemi detaylandıran “.inp” uzantılı bir giriş dosyasını ASCII formatında okur.

- Giriş dosyası, komutlardan oluşur.
- Her bir komut bir ya da daha fazla sayıda satır içermektedir.
- Bu satır aynı zamanda kart olarak da adlandırılır.

FLUKA programında giriş dosyasının yapısı aşağıdaki gibidir ve şu şekilde oluşturulur.

- Yazılacak dosyaya başlık (isim) verilir.
- Parçacık kaynağı tanımlanır. (Örneğin kinetik enerjisi belirtilen proton kaynağı).
- Çalışılacak olan geometri tanımlanır ve oluşturulur. (katı hacim ve yüzeyler, bölgeler vb).
- Oluşturulan geometride kullanılacak materyaller tanımlanır.(Materyal ile anlatılmak istenen elementler ve bileşiklerdir. Azot, Oksijen ya da H₂O gibi)
- Materyaller karşılık geldiği geometrik bölgelere atanır. (Bölge olarak seçilmiş bir küreye Azot materyal atanırsa Azot bir küp elde edilir.)
- Gerekli olan detektörler tanımlanır.
- Gelişigüzel sayı seçimi düzeni girilir.
- Birincil parçacık sayısı girilir ve simülasyon başlatılır [45].

8.1.5. FLUKA'da kozmik ışınlar

FLUKA ile kozmik radyasyon hesaplamaları yapılırken başlangıçta tanımlanması gereken parametreler vardır.

- Kozmik ışınların ve spektrumunun tanımlanması,
- Güneş rüzgarının ve manyetik alanın değişken koşullarının tanımlanması,
- Kozmik ışınların yerkürenin manyetik alanı etkisindeyken yörüngelerinin tanımlanması,
- Dünyamızın sahip olduğu geometrik şeklin ve sahip olduğu atmosferin gerçeğine uygun olarak FLUKA ortamında tanımlanması,
- “atmlc_2011.f ” ile yerel atmosfer oluşturulur.

“atmlc_2011.f ”, FLUKA programının standart olarak kullanıcılara sunduğu yardımcı bir programdır. Bu programa çalışılmak istenilen bölgenin coğrafik konumu (enlem ve boylam olarak) ya da jeomanyetik konumu girilir. Çalışılacak bölgenin deniz seviyesinden olan yükseklik değeri girilir. Son olarak jeomanyetik cutoff değeri girilir. Böylece çalışılmak istenen bölgenin yerel geometrisi elde edilir.

- “atmmat.cards” ile materyal kartı (U.S Standart Atmosfer Çizelgesine göre) standart olarak FLUKA programı ile birlikte verilir.
- “atmgeo.cards” ile üç boyutlu geometrik dünya modeli standart olarak FLUKA programı ile birlikte verilir.
- Elde edilen dosyalar FLUKA programının içindeki gerekli kartlara tanıtılır ve onlarla birlikte işleme konur.

Çizelge 8.3. US standart atmosfer çizelgesi [45]

FLUKA Bölgesi	Rakım (km)	Yoğunluk (g/cm ³)	FLUKA Bölgesi	Rakım (km)	Yoğunluk (g/cm ³)	FLUKA Bölgesi	Rakım (km)	Yoğunluk (g/cm ³)
1	70,0	0,092	35	31,6	9,367	69	10,7	242,777
2	68,5	0,108	36	30,8	10,540	70	10,2	260,107
3	67,1	0,126	37	30,0	11,849	71	9,8	278,093
4	65,6	0,146	38	29,2	13,309	72	9,4	296,729
5	64,2	0,170	39	28,4	14,937	73	8,9	316,007
6	62,8	0,198	40	27,7	16,748	74	8,5	335,921
7	61,5	0,230	41	26,9	18,763	75	8,1	356,460
8	60,1	0,266	42	26,2	21,004	76	7,7	377,615
9	58,8	0,308	43	25,5	23,492	77	7,3	399,374
10	57,5	0,356	44	24,8	26,255	78	6,9	421,727
11	56,2	0,411	45	24,1	29,290	79	6,6	444,661
12	55,0	0,474	46	23,4	32,613	80	6,2	468,163
13	53,8	0,546	47	22,7	36,244	81	5,8	492,219
14	52,5	0,628	48	22,1	40,205	82	5,5	516,815
15	51,4	0,722	49	21,4	44,516	83	5,1	541,936
16	50,2	0,828	50	20,8	49,201	84	4,8	567,566
17	49,1	0,950	51	20,2	54,283	85	4,4	593,691
18	47,9	1,088	52	19,6	59,785	86	4,1	620,295
19	46,8	1,245	53	19,0	65,733	87	3,8	647,359
20	45,7	1,423	54	18,4	72,152	88	3,4	674,869
21	44,7	1,625	55	17,8	79,068	89	3,1	702,807
22	43,6	1,854	56	17,2	86,506	90	2,8	731,155
23	42,6	2,112	57	16,7	94,493	91	2,5	759,898
24	41,6	2,404	58	16,1	103,057	92	2,2	789,016
25	40,6	2,734	59	15,6	112,224	93	1,9	818,493
26	39,6	3,106	60	15,0	122,023	94	1,6	848,311
27	38,7	3,525	61	14,5	132,482	95	1,3	878,453
28	37,7	3,996	62	14,0	143,628	96	1,1	908,900
29	36,8	4,526	63	13,5	155,489	97	0,8	939,636
30	35,9	5,121	64	13,0	168,094	98	0,5	970,643
31	35,0	5,789	65	12,5	181,471	99	0,3	1001,903
32	34,1	6,538	66	12,0	195,646	100	0,0	1033,400
33	33,3	7,378	67	11,6	210,649			
34	32,4	8,317	68	11,1	226,507			

8.1.7. FLUKA dedektörleri

FLUKA programında, farklı özelliklere sahip dedektörler bulunur. Bu dedektörler oluşturulan simülasyona, aynı isimli kartlarla tanımlanır. Dedektörler yukarıda verilen adımlar takip edilerek oluşturulan simülasyondaki sonuçları görmek için gereklidirler. FLUKA programında bulunan dedektörler SCORE, USRTRACK, USRCOLL, USRBDX, USRBIN, USRYIELD, RESNUCLEI, EVENTBIN, USERDUMP, AUXSCORE olarak verilir.

Bu tez çalışmasında USRBIN, USRTRACK ve AUXSCORE kartları kullanılmıştır. USRBIN ve USRTRACK kartlarının seçilmesinin sebebi kozmik ışınların akısını elde etmektir. AUXSCORE kartıysa diğer kartlardan elde edilen akının doza çevrilmesi için kullanılmıştır.

USRTRACK

Belirtilen bölgede belirtilen türdeki parçacıkların oluşturduğu ortalama akı miktarını kaydeder. Çalışılan bölgenin hacmi ve parçacıkların aldığı yol gibi bilgileri de içerir.

USRBIN

Kullanıcı tarafından belirtilen hacimde (kartezyen, silindirik ,küresel) depo edilen enerjinin dağılımını ya da belirtilen parçacık türünün akısını hesaplar.

AUXSCORE

Belirli türde parçacıkları filtreler ve çevrim katsayılarını tanımlar. Bu çalışmada USRBIN dedektöründen elde edilen akıların doza çevrilmesinde kullanılmıştır [45].

8.1.8. İç Anadolu bölgesi illeri

İç Anadolu bölgesindeki 13 il bulunmaktadır. Bu illere ait enlem, boylam ve rakım değerleri Çizelge 8.4'te gösterilmiştir. Verilen değerler şehir merkezleri içindir. FLUKA, CARI6 ve EXPACS programlarında illere ait veriler girilirken şehir merkezleri için verilen enlem, boylam ve rakım değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 8.4. İç Anadolu bölgesi il merkezlerinin koordinatları ve deniz seviyesinden yükseklikleri

İL	ENLEM (DMS)	BOYLAM (DMS)	RAKIM (m)
ÇANKIRI	40°36'0.745"	33°36'58.402"	720
KIRIKKALE	39°50'23.221"	33°30'31.961"	740
ESKİŞEHİR	39°46'0,142"N	30 ° 31'32,27"E	792
ANKARA	39°56'0,109"N	32°51'35,07"E	938
AKSARAY	38°20'6,73"N	33°58'30,006"E	980
KIRŞEHİR	39°8'45,881"	34°9'34196"	1 000
KONYA	37°52'28,714"	32°29'35,359"	1 016
KARAMAN	37°10'51.632"	33°13'20.074"	1 039
KAYSERİ	38°43'13.76"	35°28'57.349"	1 054
NEVŞEHİR	38°41'38.184"	34°41'8.343"	1 224
NİĞDE	37°58'11,186"	34°40'35,788"	1 229
SİVAS	39°45'1.962"	37°0'54.078"	1 285
YOZGAT	39°49'15.776"	34°48'30.862"	1 300

8.2. CARI6 Programı

CARI programının ilk versiyonu 1980'li yılların sonuna doğru FAA'nın Sivil Havacılık ve Uzay Tıbbi Enstitüsünde geliştirilmiştir. CARI-2 versiyonundan itibaren CARI programı LUIN kodunu temel almaktadır (Friedberg, 1992; Friedberg,1993; O'Brien, 1992; O'Brien, 1994; O'Brien, 1996). Bu tez çalışmasında kullanılan CARI-6 programı ise, O'Brien'in LUIN99/LUIN2000 kodunu temel almaktadır. (O'Brien, 2003). CARI-6 bilgisayar programı, herhangi iki havaalanı arasındaki en kısa rotayı kullanan bir uçaktaki uçuş personelinin maruz kaldığı galaktik kozmik radyasyonun etkin dozunu hesaplar. Program, uçuş sırasında kullanıcı tarafından girilen uçuş yüksekliği ve coğrafi konumdaki değişiklikleri dikkate alır. Bunun yanı sıra yer seviyesi için de kozmik radyasyon etkin dozlarını hesaplayabilir. CARI6 programı ile en fazla 60 000 feet yükseklik için çalışılabilmektedir.

Uçuşun tarihine (ay ve yıl) dayanarak, dünyanın manyetik alanı ve güneş aktivitesindeki değişikliklerin, atmosferdeki galaktik radyasyon seviyeleri üzerindeki etkilerini açıklamak için uygun veri tabanları kullanılır. CARI6 programı ile geçmiş zamanlara ait etkin doz verileri hesaplanmak istenirse, programın 1958 yılına kadar olan doz hesaplamalarını yapabildiği görülür. Program MS-DOS gerektirir ve Xp işletim sisteminde çalışmaktadır.

Bu tez çalışmasında CARI6 programının 2004 yılında geliştirilen versiyonu kullanılmıştır [47].

8.3. EXPACS Programı

EXPACS, atmosferik kozmik ışın spektrumunu hesaplamak için Excel tabanlı programı temsil eder. (EXcel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum) Nötronların, protonların, iyonların 28 (Ni), muon, elektron, pozitron ve fotonların neredeyse her zaman ve dünyanın atmosferinin herhangi bir yerine kadar olan yerdeki kozmik ışın akılarını anında hesaplayabilir. Hesaplanan kozmik ışın akılarına dayanarak EXPACS, kozmik ışın maruziyetine bağlı olarak havadaki etkin dozu, çevre dozu eşdeğerini ve absorbe edilen dozu da hesaplayabilir.

EXPACS, PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) tabanlı, atmosferdeki parçacık taşıma simülasyonudur ve Monte Carlo kullanarak çalışan bir programdır [48].





9. TARTIŞMA VE SONUÇ

9.1. FLUKA'dan Elde Edilen Spektrum Grafikleri

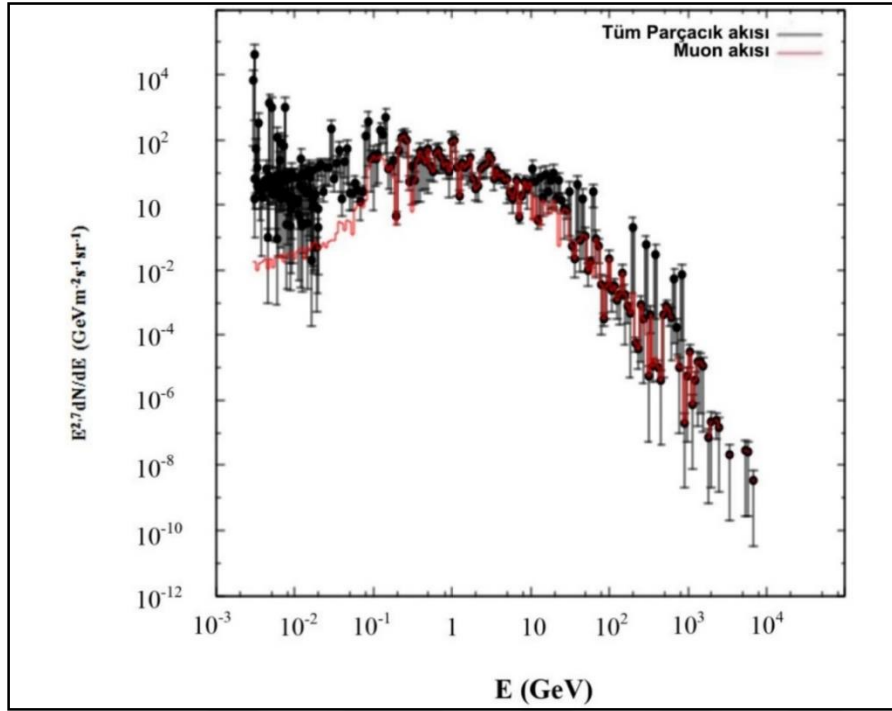
Kozmik ışın akısı, birim zamanda birim kesitten geçen kozmik parçacık sayısının bir ifadesidir. Bu tez çalışmasında kullanılan CARI6, EXPACS ve FLUKA programları arasından FLUKA programı ile grafik elde etmek mümkündür. Bu çalışma kapsamında İç Anadolu bölgesinde yer alan illerin şehir merkezleri için elde edilmiş doz oranlarına karşılık gelen kozmik ışın spektrumu grafik olarak çıkarılmıştır.

Victor Hess öncülüğünde başlayan kozmik ışın çalışmaları uydu, balon ve yer seviyesinde kurulmuş olan dedektörlerle devam etmiştir. Teknolojik ilerlemelerin ışığında yapılan çalışmalarla kozmik ışınların enerji spektrumları gözlenebilmiştir (AMS, LAT gibi). Bu tez çalışmasında FLUKA programından elde edilen grafikler, daha önce yapılmış olan AMS ve LAT gibi çalışmaların sonuçlarına göre elde edilen grafiklerle uyumludur.

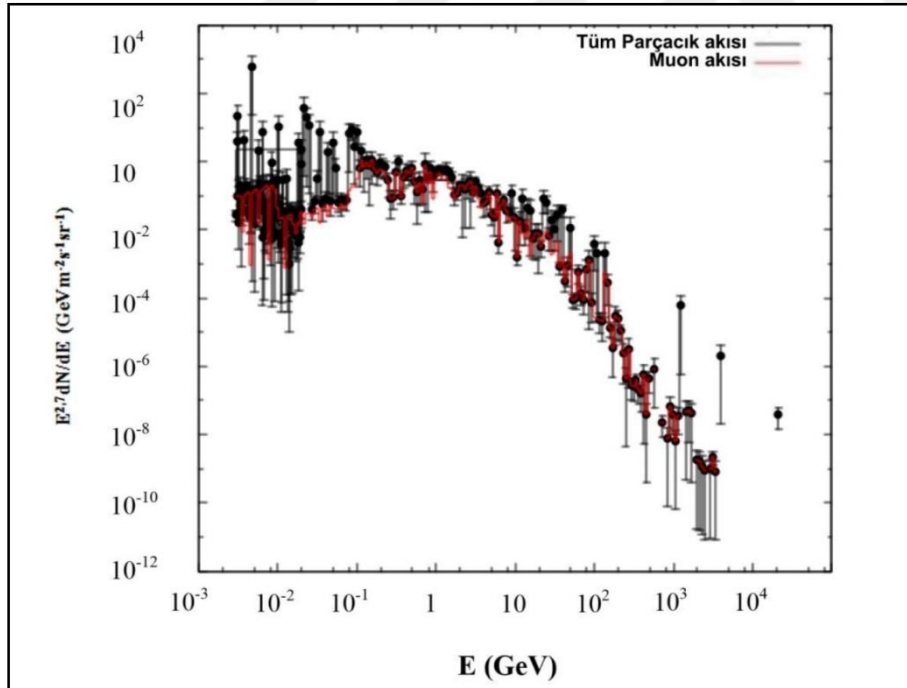
Kozmik ışınların enerji spektrumuna ait grafikler çizilirken tezin ikinci bölümünde bahsedilen spektral indeks dikkate alınmaktadır. Spektral indeks değeri 2,6 ile 4,3 aralığında değişmektedir. Kozmik ışınlara ait enerji spektrumunu daha anlaşılır hale getirmek için yapılan çalışmalarda, spektrumun en anlaşılabilir olduğu hal için indeksin bu aralıkta olması gerektiği sonucuna varılmıştır. FLUKA'da programın yaptığı hesaplamalara göre çıktı olarak verdiği grafiklerde spektral indeks 2,7 olarak alınmaktadır. İç Anadolu bölgesi illerinin merkezleri için yer seviyesine ait doz değerlerine karşılık gelen akı grafikleri aşağıda verilmiştir.

Bu grafiklerde kırmızı renk ile muonların, siyah renk ile tüm parçacıkların akısı ifade edilmektedir. Burada tüm parçacıklar ile hava duşlarını başlatan protonlar ile elektronlar ve hava duşlarında gerçekleşen etkileşimler sonucu oluşan pion, kaon, muon vb parçacıklar ifade edilmektedir. Grafikler, akıya karşılık gelen enerjileri göstermektedir.

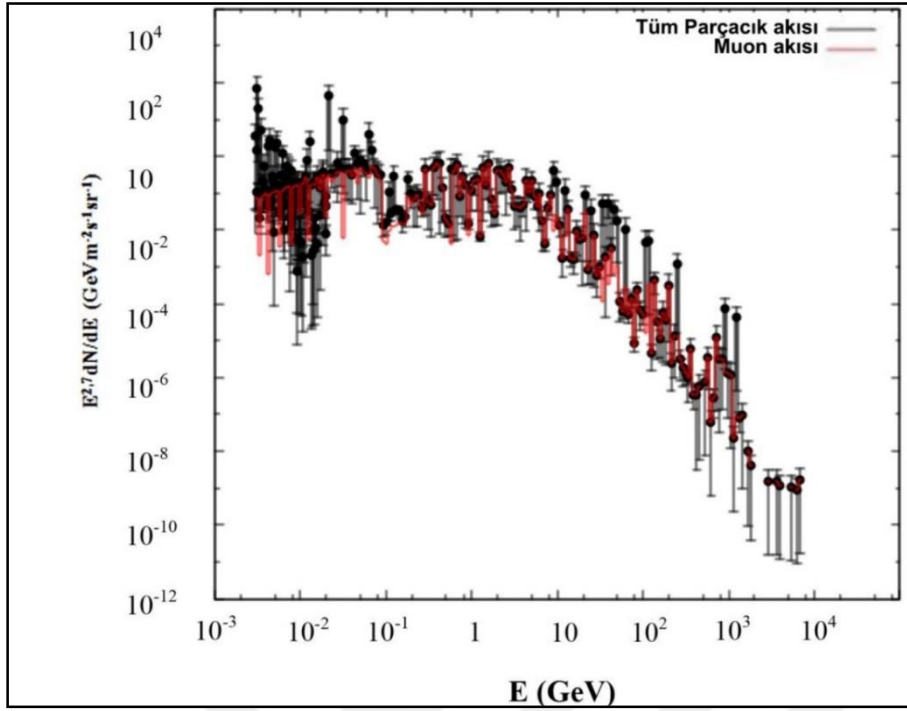
FLUKA programında yerel atmosfer kartı ile şehir merkezleri için yerel geometriler U.S Standart Atmosfer tablosuna göre hazırlanmıştır. Bu tabloya göre şehir merkezlerinin yükseklik değerlerine karşılık gelen bölgelere göre grafikler elde edilmiştir.



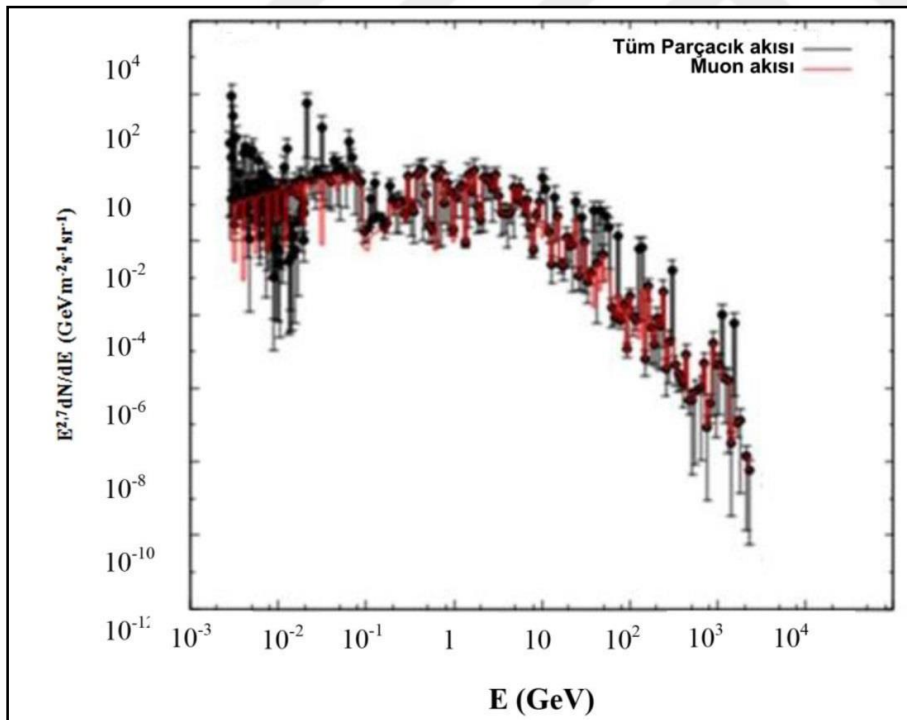
Şekil 9.1. Çankırı ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



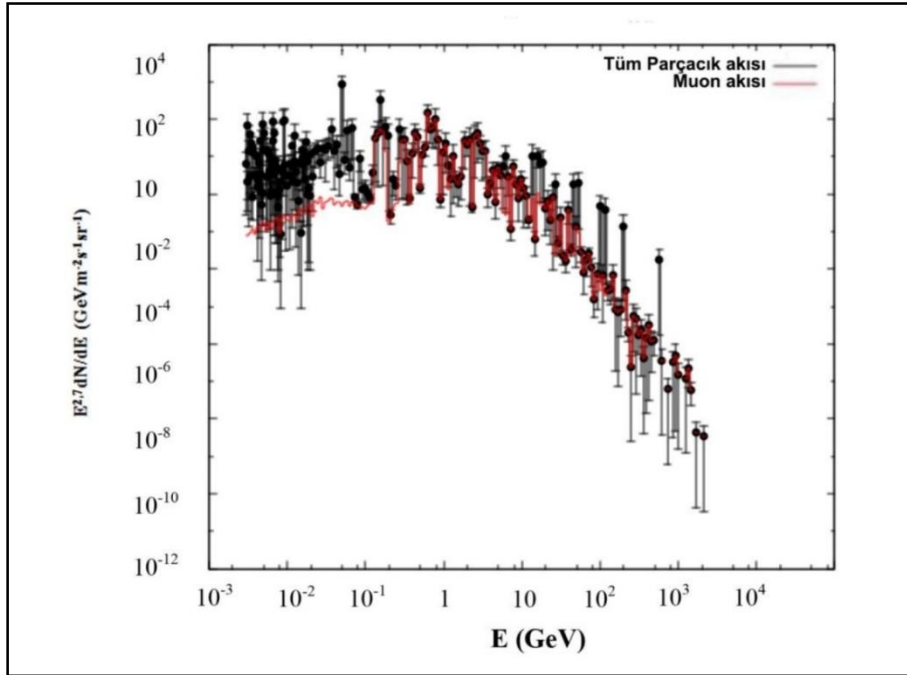
Şekil 9.2. Kırıkkale ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



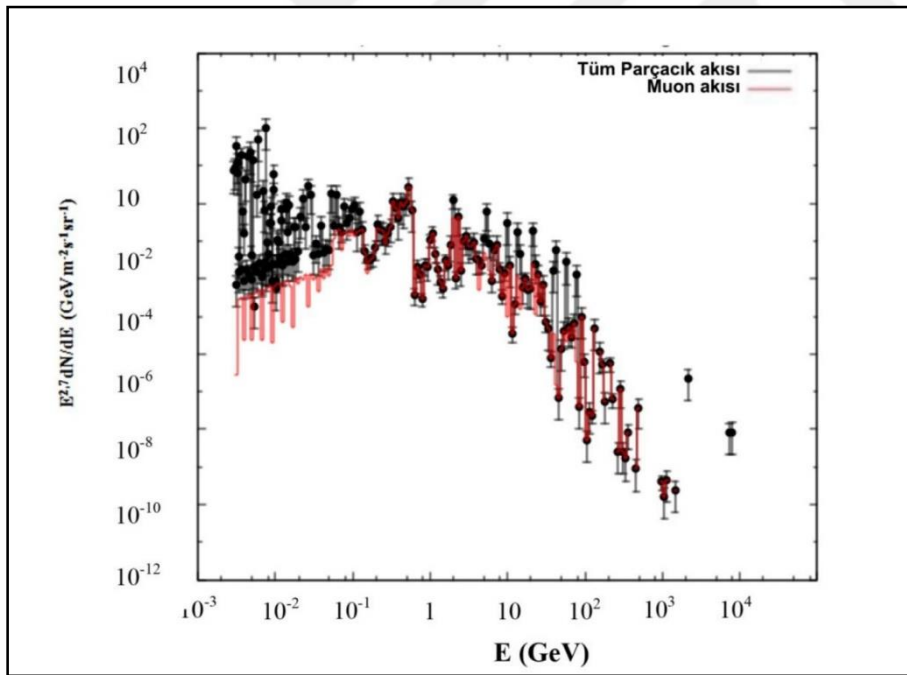
Şekil 9.3. Eskişehir ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



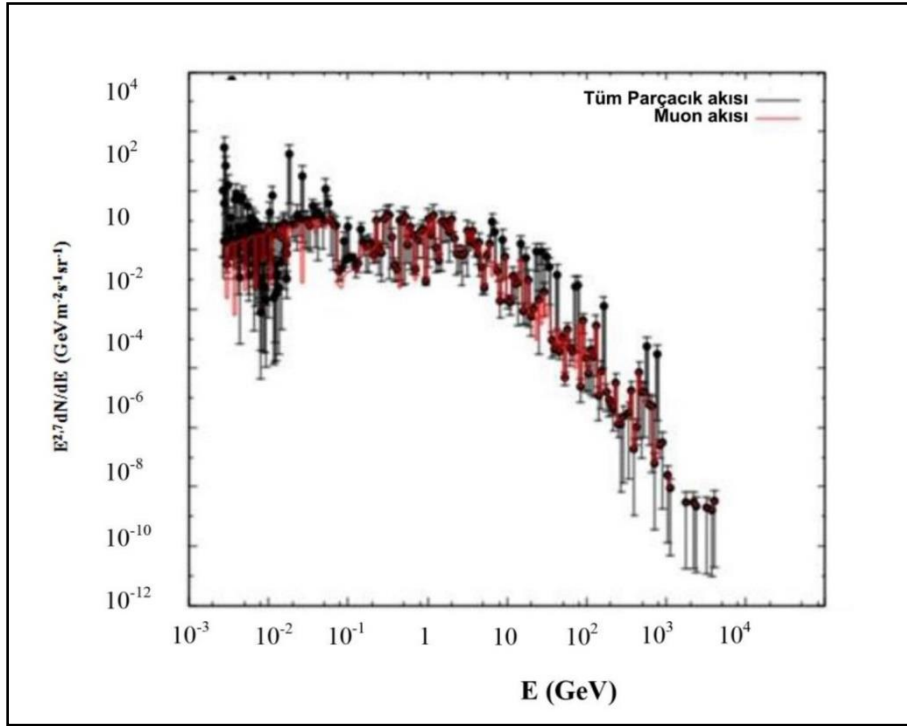
Şekil 9.4. Ankara ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



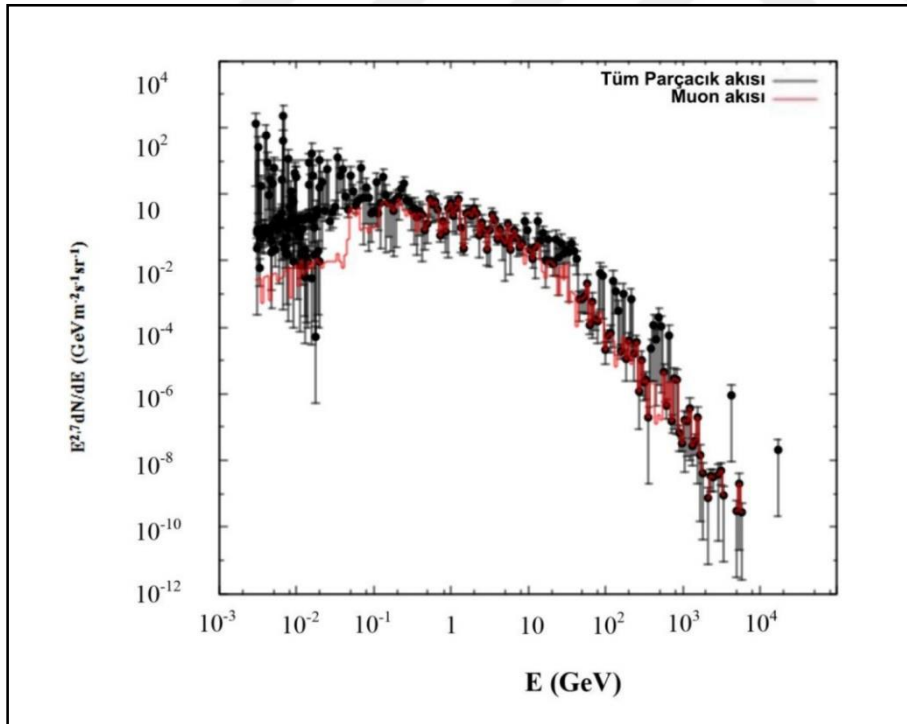
Şekil 9.5. Aksaray ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



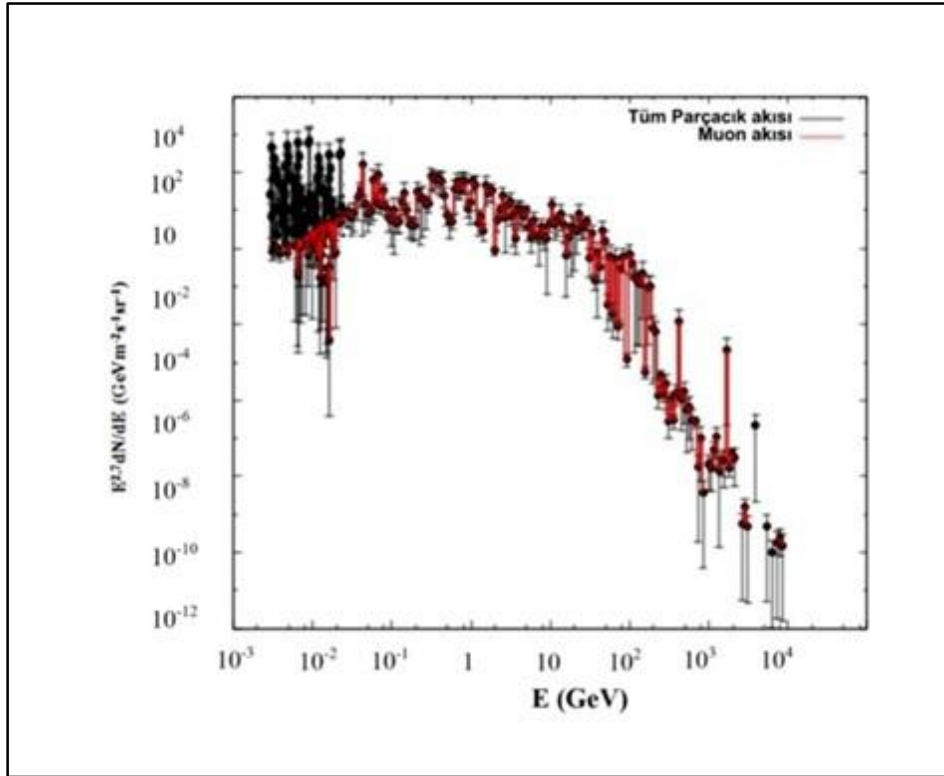
Şekil 9.6. Kırşehir ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



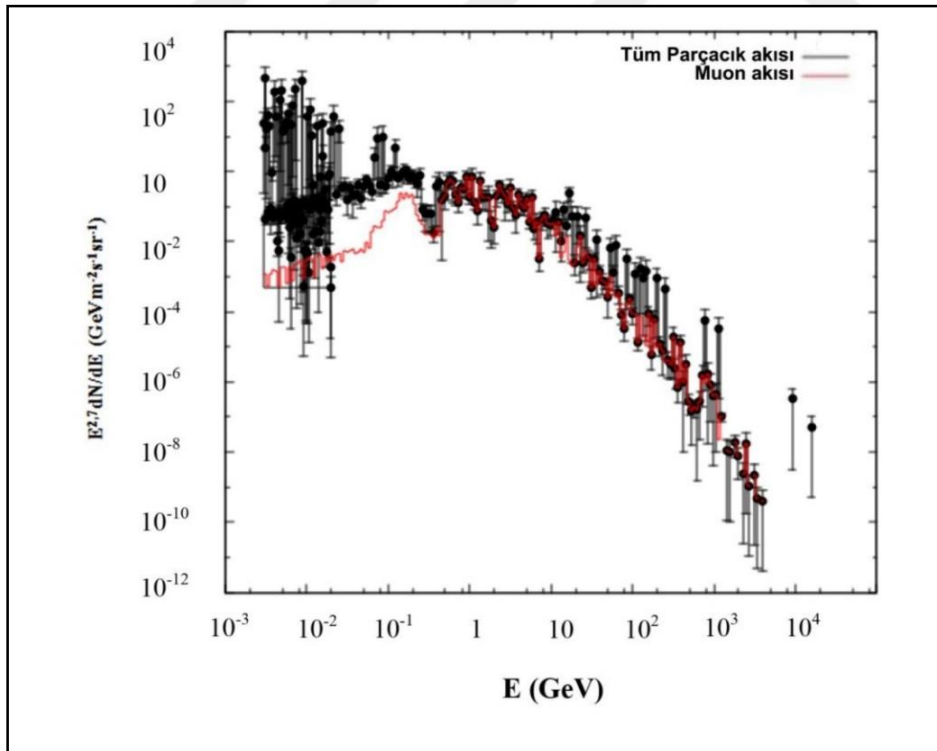
Şekil 9.7. Konya ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



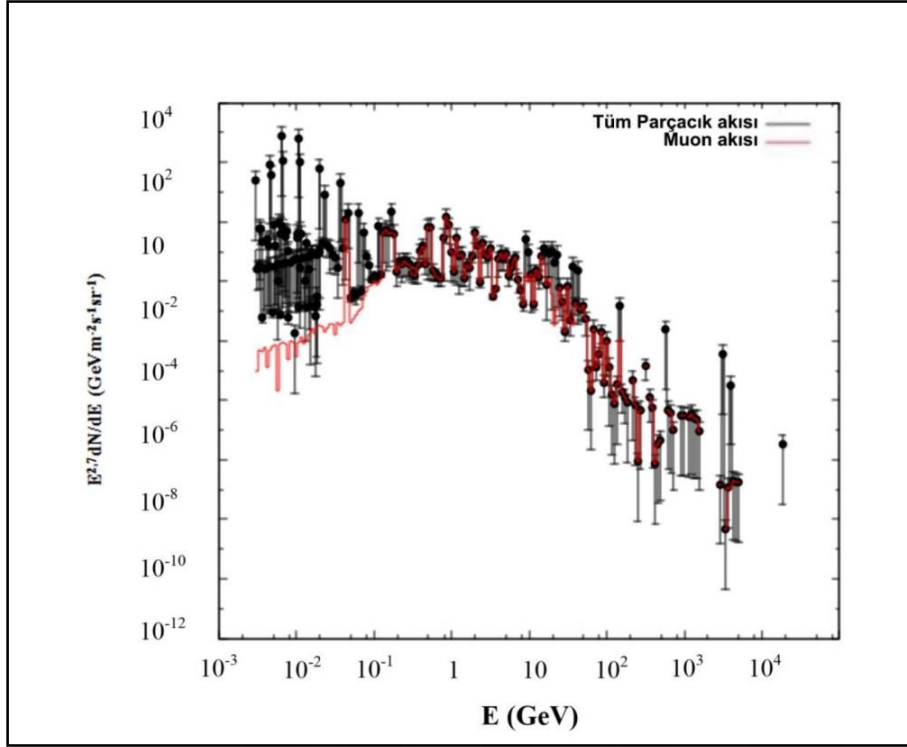
Şekil 9.8. Karaman ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



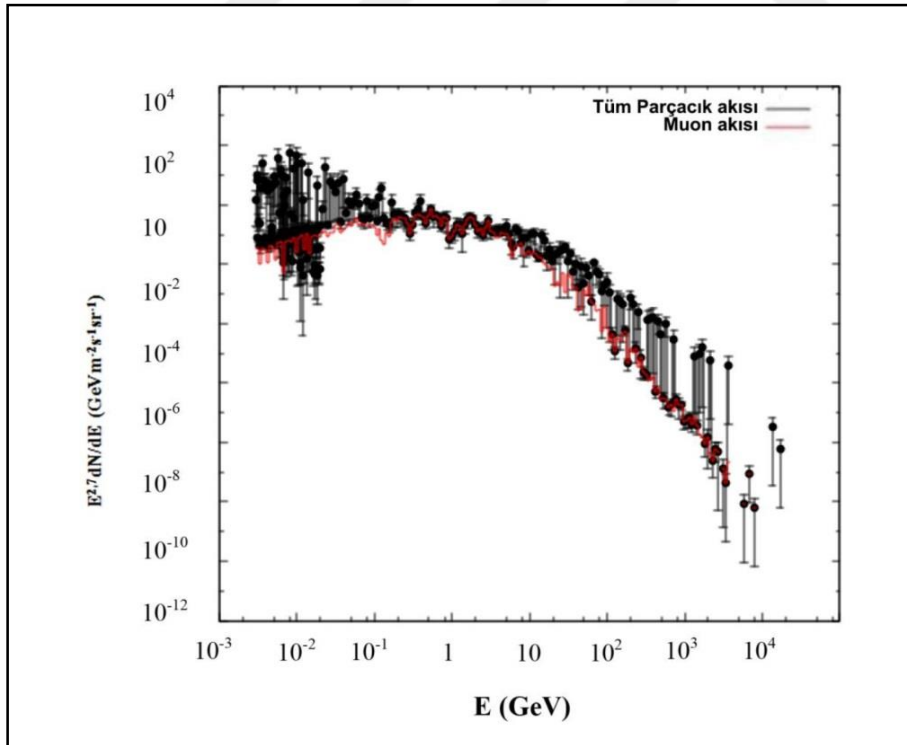
Şekil 9.9. Kayseri ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



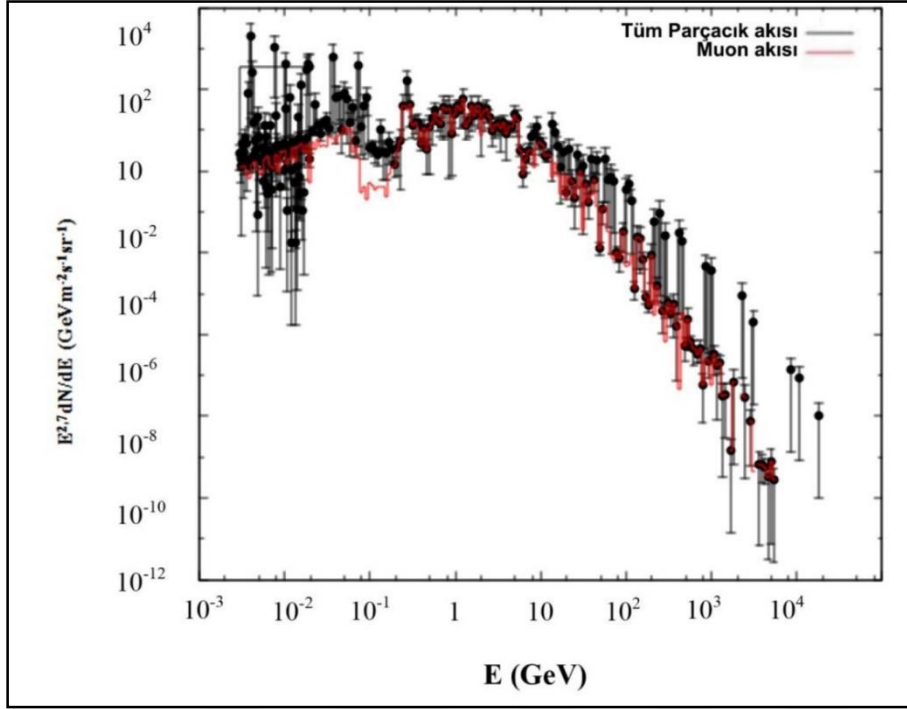
Şekil 9.10. Nevşehir ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



Şekil 9.11. Niğde ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



Şekil 9.12. Sivas ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği



Şekil 9.13. Yozgat ili şehir merkezi için enerji spektrum grafiği

Atmosferin üst katmanlarında başlayan kozmik duşlarda gerçekleşen etkileşimler sonucu, muonlar oluşmaktadır. Grafikte siyah renk ile belirtilen tüm parçacıklara ait akı ile kırmızı renk ile belirtilen muonlara ait akı uyum içinde ilerlemektedir. Hava duşlarında, atmosferin üst katmanlarında proton ve elektronlar çoğunluğu oluştururken, muonlar atmosferin üst katmanlarından yer seviyesine doğru inildikçe artış göstermektedir. Bilindiği üzere yer seviyesindeki parçacıkların yaklaşık %80'i muonlardan oluşmaktadır.

Beklenildiği üzere grafiklerde muonların yer seviyesinde enerji spektrumuna olan katkıları geniş enerji aralığında fazladır.

9.2. Elde Edilen Sonuçlar

İç Anadolu Bölgesi illerinin maruz kaldığı kozmik radyasyon doz oranları FLUKA, CARI6 ve EXPACS programlarıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar, 2016 yılı ve şehir merkezleri koordinatları baz alınarak yapılmıştır. Alınan sonuçlar Çizelge 9.1.'de verilmiştir. Farklı programlar kullanılarak yapılan hesaplamalardan alınan sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Üç programdan alınan sonuçlarda, bölgedeki iller arasında en yüksek kozmik radyasyon doz oranı Yozgat iline ve yine üç programdan alınan sonuçlarda en düşük kozmik radyasyon doz oranı Çankırı iline aittir. Yozgat ili, bölgedeki iller arasında deniz

seviyesinden en yüksek olanıdır. Kozmik radyasyon dozunun, deniz seviyesinden yukarılara doğru çıkıldıkça arttığı bilinmektedir. UNSCEAR 2000 yılı raporunda kozmik ışınlar dolayısıyla maruz kalınan doz 0,38 mSv / y olarak belirtilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen doz ile de uyumludur. FLUKA ile yapılan çalışmalarda, programın kendisinin hesapladığı hata oranı %1'dir.

Çizelge 9.1. Üç programdan elde edilen yıllık ortalama doz oranları

İL	FLUKA	CARI6	EXPACS
ÇANKIRI	424 μ Sv / y	437 μ Sv / y	388 μ Sv / y
KIRIKKALE	432 μ Sv / y	445 μ Sv / y	397 μ Sv / y
ESKİŞEHİR	438 μ Sv / y	452 μ Sv / y	409 μ Sv / y
ANKARA	449 μ Sv / y	468 μ Sv / y	418 μ Sv / y
AKSARAY	453 μ Sv / y	473 μ Sv / y	426 μ Sv / y
KIRŞEHİR	457 μ Sv / y	475 μ Sv / y	430 μ Sv / y
KONYA	461 μ Sv / y	479 μ Sv / y	437 μ Sv / y
KARAMAN	467 μ Sv / y	482 μ Sv / y	440 μ Sv / y
KAYSERİ	469 μ Sv / y	486 μ Sv / y	447 μ Sv / y
NEVŞEHİR	506 μ Sv / y	520 μ Sv / y	471 μ Sv / y
NİĞDE	508 μ Sv / y	525 μ Sv / y	476 μ Sv / y
SİVAS	530 μ Sv / y	545 μ Sv / y	494 μ Sv / y
YOZGAT	532 μ Sv / y	548 μ Sv / y	495 μ Sv / y

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, Dr. Aydın Parmaksız tarafından (Parmaksız, 2015) 2014 yılı baz alınarak, CARI6 programı ile yapılan benzer bir çalışmanın sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.2. CARI6 sonuçları (Parmaksız, 2015) ile bu çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

İL	FLUKA	CARI6	EXPACS	CARI6(Parmaksız, 2015)
ÇANKIRI	424 μ Sv / y	437 μ Sv / y	388 μ Sv / y	427 μ Sv / y
KIRIKKALE	432 μ Sv / y	445 μ Sv / y	397 μ Sv / y	418 μ Sv / y
ESKİŞEHİR	438 μ Sv / y	452 μ Sv / y	409 μ Sv / y	434 μ Sv / y
ANKARA	449 μ Sv / y	468 μ Sv / y	418 μ Sv / y	447 μ Sv / y
AKSARAY	453 μ Sv / y	473 μ Sv / y	426 μ Sv / y	445 μ Sv / y
KIRŞEHİR	457 μ Sv / y	475 μ Sv / y	430 μ Sv / y	466 μ Sv / y
KONYA	461 μ Sv / y	479 μ Sv / y	437 μ Sv / y	465 μ Sv / y

Çizelge 9.2. (devam) CARI6 sonuçları (Parmaksız, 2015) ile bu çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

KARAMAN	467 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	482 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	440 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	464 $\mu\text{Sv} / \text{y}$
KAYSERİ	469 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	486 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	447 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	482 $\mu\text{Sv} / \text{y}$
NEVŞEHİR	506 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	520 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	471 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	521 $\mu\text{Sv} / \text{y}$
NİĞDE	508 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	525 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	476 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	510 $\mu\text{Sv} / \text{y}$
SİVAS	530 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	545 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	494 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	538 $\mu\text{Sv} / \text{y}$
YOZGAT	532 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	548 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	495 $\mu\text{Sv} / \text{y}$	543 $\mu\text{Sv} / \text{y}$

Sonuçlar uyumlu olsa da bazı şehirlerde küçük farklar vardır. Örneğin 2016 yılı verileri ile yapılan bu çalışmada Karaman iline ait sonuçlar Konya iline ait olanlardan büyüktür. Fakat 2014 yılını baz alan diğer çalışmada Karaman iline ait sonuç Konya ilinin sonucundan küçüktür. Aynı durum Ankara ile Aksaray ve Nevşehir ile Niğde arasında da görülmektedir. Bu farklılıkların sebeplerinden birincisi hesaplamaların farklı yıllara ait olmasıdır. İkincisi ise simülasyon programlarının performansı ve hassasiyetidir. Sonuçlarda büyük farklılıklara sebep olmasa da, kullanılan bilgisayarların işlemcileri, işletim sistemleri ve çekirdek sayıları vb etkenler simülasyon programlarının performans ve hassasiyetini etkilemektedir.

Atmosfer dışından dünyaya gelen birincil kozmik ışınlar atmosferde bulunan oksijen, azot, argon vb. molekülleriyle etkileşime girerek ikincil parçacıkları oluştururlar. Kozmik ışınlar ve atmosferdeki etkileşimleri sonucunda ortaya çıkan radyasyon insan sağlığına etki etmektedir. İnsan vücudunun maruz kaldığı radyasyon dozu oranları incelenirse kozmik radyasyonun bu oranlara yaklaşık %8’lik bir katkı yaptığı görülür. Kozmik radyasyon dozları yer seviyesinde çok etkili olmasa da uçuş yüksekliklerinde etkilidir. Maruz kalınan sürenin artması da bu etkiyi artırır. Kozmik radyasyon dozu enlem, boylam, deniz seviyesinden yükseklik, dünyanın manyetik alanı ve güneş rüzgarlarına bağlıdır.

Bu tez çalışmasında kozmik ışınlar, kozmik ışınların dünya atmosferindeki davranışları ve yer seviyesinde kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon dozları simülasyon yoluyla hesaplanmıştır. Hesaplamalarda FLUKA, CARI6 ve EXPACS programları kullanılmıştır.

FLUKA programı fortran koduyla yazılmış, Monte Carlo simülasyon programıdır. Kullanım alanları arasında hızlandırıcı sistemleri, zırhlama, radyoterapi, aktivasyon, kozmik ışınlar ve doz hesapları gibi bir çok alan vardır. LHC, LCLS, CNGS, BB, n_TOF gibi bilinen projelerde kullanılmaktadır. Dünya genelinde sözü edilen kullanım alanlarında FLUKA programını tercih eden kullanıcı sayısı fazladır. Ancak ülkemizde programı aktif olarak

kullanabilen kullanıcı sayısı henüz çok azdır. Ülkemizde FLUKA programı ile hızlandırıcı sistemleri ve zırhlama çalışmaları üzerine yapılmış sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu tez çalışması, Türkiye’de FLUKA ile yapılan ilk kozmik ışın çalışmasıdır.

FLUKA programının kurulum, öğrenme ve programdan elde edilen sonuçları yorumlama aşamalarında geçilmesi gereken süreçler vardır. Linux işletim sisteminde kullanılması ve fortran koduyla geliştirilmiş olması sebebiyle yeterli seviyede Linux ve fortran bilgisine ihtiyaç duyulur. FLUKA programında elde edilen sonuçlarda genelde istenilen sonucu doğrudan elde etmek pek mümkün değildir. Kullanılan geometrilere ve yazılan giriş dosyasına göre kullanıcı tarafından ayrıca hesaplanması gereken değerler vardır. Örneğin doz hesaplamalarında USBIN kartında “Region” seçimi yapılmış ise FLUKA’nın verdiği sonuç hacme göre normalize edilmelidir.

Tez çalışması kapsamında ayrıca CARI6 ve EXPACS programları ile de çalışılmıştır. Ülkemizde daha önce CARI6 programı kullanılarak yer seviyesi ve uçuş yükseklikleri için kozmik radyasyon dozları hesaplanmıştır (Parmaksız, 2015). Adı geçen bu çalışmanın sonuçlarıyla tez çalışmasına ait sonuçlar ayrıca karşılaştırılmıştır. EXPACS programı ile ülkemizde daha önce yapılmış bir kozmik ışın çalışması bulunmamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında ülkemizde ilk defa FLUKA ile kozmik ışın hesaplamaları yapılmıştır. Aynı şekilde ülkemizde ilk defa EXPACS programı ile kozmik ışın hesaplamaları yapılmıştır. Bunun yanı sıra ülkemizde ilk defa FLUKA, CARI6 ve EXPACS programlarının üçü ile kozmik ışın hesaplamaları aynı çalışma kapsamında yapılmıştır. Üç programla ayrı ayrı yapılan çalışmaların sonuçlarının uyum içinde olması bu çalışmayı güvenilir kılmaktadır. Üç programla yapılan hesaplamaların uyumlu olması, dozların doğrulunu teyit etmektedir.

Yer seviyesi için alınan bu sonuçlar, İç Anadolu bölgesinde yer alan illerin merkezlerinde kozmik ışınlarla bağlı doz oranlarını göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye’nin doğal radyasyon haritasına önemli bir katkı yapmaktadır. Daha önce Türkiye’de yapılmış olan doğal radyasyon ile ilgili çalışmalarda kozmik radyasyon etkileri ihmal edilmiştir. “TAEK TR-2010-12 Teknik Raporu” kapsamında kozmik radyasyon verileri yoktur. Olası bir nükleer kaza sonrasında doz ölçümleri yapılırken kozmik radyasyon dozu verileri bu tez çalışmasının sonuçlarından elde edilebilir. Türkiye’nin diğer coğrafi bölgeleri için yer

seviyesini baz alan çalışmalar devam etmektedir. Bunun yanı sıra uçuş süreleri dikkate alınarak, uçuş yükseklikleri için de çalışmalar devam etmektedir.



KAYNAKLAR

1. Vereecken, M. (2014). *Cosmic Ray Shock Acceleration in Galactic and Extragalactic Sources*, Master of Science Thesis, Faculty of Sciences Universiteit Gent, 12-21
2. Ronaldo V. Lobato, Jaziel G. Coelho and M. Malheiro (2016, May). *Ultra-high energy cosmic rays from white dwarf pulsars and the Hillas criterion*. Paper presented at the Compact Stars in the QCD Phase Diagram V, Italy.
3. Stanev, T. (2009). *High Energy Cosmic Rays (Second Edition)*. Chichester: Praxis Publishing, 43.
4. İnternet: From character to personality. (2017, Jan). White Dwarfs. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.com%2Fscience%2Fspace%2Funiverse%2Fwhite-dwarfs&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
5. İnternet: Naeye, R. Neutron Stars. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fmission_pages%2FGLAST%2Fscience%2Fneutron_stars.html&date=2018-12-02, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
6. Berezhko, E.G. (2009). Cosmic rays from active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal Letters*, 698(2), 138-141
7. Epimakhov, S. (2015). *Exploring cosmic ray origins with ground-based EAS arrays Tunka and HiSCORE*, Doctor of Philosophy Thesis, Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences Department of Physics University of Hamburg, Hamburg, 13-15
8. İnternet: O'Brien, P. Gamma Ray Bursts. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww2.le.ac.uk%2Fdepartments%2Fphysics%2Fresearch%2Fxxroa%2Fastrophysics-1%2Fgamma-ray-bursts&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
9. İnternet: Villarroel, B., Korn, A. Active Galactic Nuclei. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.physics.uu.se%2Fresearch%2Fastronomy-and-space-physics%2Fresearch%2Fgalaxies%2Fagn%2F&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
10. İnternet: Peterson, B.M.. An Introduction to Active Galactic Nuclei. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fned.ipac.caltech.edu%2Flevel5%2FCambridge%2Fframes.html&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.

11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2010). Sources and Effects of Ionizing Radiation; UNSCEAR E.10.XI.3. New York, 230-233.
12. Fokkema, D. (2012). *The Hisparc Cosmic Ray Experiment Data Acquisition And Reconstruction Of Shower Direction*, Doctor of Philosophy Thesis, Universiteit Twente, Enschede, 4-17
13. Blandforda, R., Simeona,P. and Yuana, Y. (2014). Cosmic Ray Origins: An Introduction, *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)* (256–257), 9–22
14. Nierstenhoefer, N. (2011). *On the Origin and Propagation of Ultra-High Energy Cosmic Rays(Measurements & Prediction Techniques)*, Doctor of Philosophy Thesis, University of Wuppertal, Wuppertal. 9-11
15. Sparvoli, R., (2013). Direct measurements of cosmic rays in space, *Nuclear Physics B - Proceeding Supplements* 239-240, 115–122
16. Haungs, A. (2015). Cosmic Rays from the Knee to the Ankle, *Physics Procedia* 61, 425-434
17. Eijsden, L.V., (2010). *Cosmic Rays Their Energizing Mechanisms & Their Energy Limit*, Master of Science Thesis,Vrije Universiteit, Amsterdam, 6-8.
18. Ghia, P.L. (2012, July). *Cosmic Ray Detection*. Paper presented at International School of Astroparticle Physics, Paris.
19. Chiavassa, A, (2013). Indirect measurements of High Energy Cosmic Rays, *Nuclear Physics B - Proceeding Supplements*, 239-240, 151–156.
20. Aschwanden, M.J. (2014). The Sun. In T. Spohn, D. Breuer and T. Johnson (Eds). *Encyclopedia of the Solar System*. (Third Edition). New York: Elsevier, 236-241
21. İnternet: Zell, H.. Layers of The Sun. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fmission_pages%2Firis%2Fmultimedia%2Fplayerzoo.html&date=2018-12-02, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
22. Kivelson, M.G, Bagenal, F. (2014). Planetary Magnetosphere. In T. Spohn, D. Breuer and T. Johnson (Eds). *Encyclopedia of the Solar System*. (Third Edition). New York: Elsevier, 137-140
23. Parks, G.K. (2015). Magnetosphere. In G. R. North, J. Pyle and F. Zhang (Eds). *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. (Second Edition). New York: Elsevier, 1229–1237
24. Gosling, J.T. (2014). The Solar Wind. In T. Spohn, D. Breuer and T. Johnson (Eds). *Encyclopedia of the Solar System*. (Third Edition). New York: Elsevier, 261-262
25. Richardson, J. D., (2010). The Solar Wind and Its Interaction with the Interstellar Medium. In N. Gopalswamy, S. Hasan, A. Ambastha (Eds). *Heliophysical Processes*. Berlin: Springer, 83-87.

26. Smida, R. (2009). *Cosmic-Ray Physics with the Pierre Auger Observatory*, Doctoral Thesis, Charles University in Prague Faculty of Mathematics and Physics Astronomical Institute of the Charles University, Prague, 38-42
27. Bongi, M. (2005). *Data analysis of cosmic rays at ground level with the PAMELA experiment*, Doctor of Philosophy Thesis, Università degli Studi di Firenze, Firenze FI, 4-9,13,14
28. Condie, K.C. (2011), *Earth as an Evolving Planetary System*, (Second Edition). Cambridge: Academic Press, 199,200.
29. Showman, A.P. and T.E. Dowling (2014). Earth as a planet: atmospheres and oceans. In T. Spohn, D. Breuer, and T.V. Johnson (Eds.), *Encyclopedia of the Solar System*. (Third Edition). New York: Elsevier, 425-427
30. İnternet: Zell, H.. Earth's Atmospheric Layers. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fmission_pages%2Fsunearth%2Fscience%2Fatmosphere-layers2.html&date=2018-12-02, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
31. Hemond, H., Fechner, E., (2015), *Chemical Fate and Transport In The Environment* (Third Edition). USA: Academic Press, 311-315
32. Atri, D. (2011). *Terrestrial Effects Of High Energy Cosmic Rays*, Doctor of Philosophy Thesis, Physics and the Graduate Faculty of the University of Kansas, 11-17
33. Choppin, G., Liljenzin, J., Rydberg, J. and Ekberg, C.(2013). *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*,(4th Edition), USA: Academic Press, 21
34. Barcikowski, E. (2011). *The Composition Of Ultra High Energy Cosmic Rays Through Hybrid Analysis At Telescope Array*, Doctor of Philosophy Thesis, Department of Physics and Astronomy The University of Utah, Salt Lake City, 1
35. Matthews, J. (2005). A Heitler model of extensive air showers. *Astroparticle Physics*, 22, 387–397
36. Engel, R., Heck, D. and Pierog, T. (2011). Extensive Air Showers and Hadronic Interactions at High Energy. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 467-489.
37. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation; UNSCEAR E.00.IX.3, New York, 113
38. Bazilevskaya, G.A., Stozhkov, Y.I., Svirzhevskaya, A.K. and Svirzhevsky, N.S. (2013, July). *Cosmic rays and radioactivity in the near-ground level of the atmosphere*. Paper presented at the 23rd European Cosmic Ray Symposium, Moscow
39. Arslan, H., Bektasoglu, M. (2015). Altitude profile of atmospheric muons in a location with relatively high cut-off rigidity. *Advances in Space Research*, 2662-2668
40. Atri, D., Melott, A.L. (2014) Cosmic rays and terrestrial life: A brief review. *Astroparticle Physics*, 186–190.

41. L'Annunziata, M.F. (2016). *Radioactivity*. (Second Edition), New York : Elsevier, 515-517
42. Gupta, P.K. (2016). *Fundamentals of Toxicology Essential Concepts and Applications*. New York : Elsevier, 333-339
43. Chen, J., Newton, D. (2013) An estimation of Canadian population exposure to cosmic rays from air travel. *Radiation Environment Biophysics*, 52, 59-64
44. İnternet : From character to personality. (2017). Veritabanları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tuik.gov.tr%2FPreTabloArama.do%3Fmetod%3Dsearch%26araType%3Dvt&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
45. İnternet: Ferrari, A., Fasso, A. Index of the FLUKA manual on-line. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fluka.org%2Fcontent%2Fmanuals%2Fonline%2FINDEX-fluka2011.html&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
46. Hançerlioğulları, A. (2006, Ekim) Monte Carlo Simülasyon Metodu VE MCNP Kod Sistemi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14(2), 545-556
47. İnternet : From character to personality. (2017). CARI-6: Radiobiology Research Team. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.faa.gov%2Fdata_research%2Fresearch%2Fmed_humanfacs%2Faeromedical%2Fradiobiology%2Fcari6%2F&date=2018-12-02, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.
48. İnternet : From character to personality. (2017). EXPACS. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fphits.jaea.go.jp%2Fexpacs&date=2018-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2018.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SEÇKİN, Caner
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 07.12.1989, Denizli
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (505) 105 18 74
 e-mail : caner.seckn@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	2018
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	2014
Lise	İnönü Lisesi (Aydınlıkevler-ANKARA)	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	ODTÜ/ SDH Projesi	Fizikçi – Sistem Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Seçkin, C. (2018). *Estimation of cosmic radiation doses at ground level in central anatolia by simulation techniques*. Paper presented at Turkish Physical Society 34th International Physics Congress, Bodrum

Hobiler

Gitar, Muay Thai-Boks-Kungfu , İleri teknik fotoğraf çekimleri

DİZİN

A

AMS · 2

Atmosferin Katmanları · 27

C

CARI6 · 3, 4, 60, 70, 71, 72

CREAM · 2

Ç

Çankırı · 4, 51, 52, 64, 70

Çerenkov Etkisi · 36

D

dedektör · 2, 3

dünya · 1, 2, 3, 4, 8, 16, 45, 56

Dünyanın Manyetik · 20

E

Elster ve Geitel · 1

en düşük doz · 4, 70

En yüksek doz · 4

EXPACS · 3, 4, 60, 61, 70, 71

F

Fermi · 2, 21, 22, 23, 25

FLUKA · 3, 4, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 63, 70, 71

G

gama · 2, 8, 43, 44

Güneş rüzgarları · 16

Güneşin Katmanları · 14

Güneş'in manyetik · 13, 18

H

hızlandırıcı · 4, 53

Hillas Grafiği · 6

Hillas kriteri · 5, 7

İ

İç Anadolu Bölgesi · 3, 4, 51, 52, 59, 70, 73

İÇ ANADOLU BÖLGESİ · 3,

insan sağlığı · 1, 4

iyonlaşma · 2, 31, 47

K

Kapsamlı Hava Duşları · 29

Karl Kurz · 2

KASCADE · 2

kozmetik ışın kaynakları · 4, 5

Kozmik Işımlar · 11, 12, 56

KOZMİK IŞINLAR · 5, 39

M

manyetik alan · 5, 6, 7, 13, 16, 17, 18, 19, 21, 22

Manyetosfer · 15

Manyetosferin Gösterimi · 17

P

Pacini · 2

PAMELA · 2, 77

Parçacık · 13, 22, 24, 40, 56, 57

R

radasyon · 2, 3, 4, 5, 8, 13, 15, 20, 41, 43, 44, 45, 47,
56, 60, 70, 73

S

Supernova · 7

Ş

Şok İvmelenme · 24

V

Victor Hess · 2, 12

W

Wilson · 1

Wilson odası · 1

Y

Yozgat · 4, 51, 52, 70

Z

zırlama · 4, 53



GAZİ GELECEKTİR...