



**ORTA KARADENİZ BÖLGESİ YER SEVİYESİ KOZMİK RADYASYON  
DOZUNUN FLUKA SİMÜLASYON YOLUYLA HESAPLANMASI**

**Merve PEHLİVAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2019**

Merve PEHLİVAN tarafından hazırlanan “ORTA KARADENİZ BÖLGESİ YER SEVİYESİ KOZMİK RADYASYON DOZUNUN FLUKA 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: 12/07/2019

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.

Merve PEHLİVAN

12/07/2019

ORTA KARADENİZ BÖLGESİ YER SEVİYESİ KOZMİK RADYASYON DOZUNUN  
FLUKA SİMÜLASYON YOLUYLA HESAPLANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Merve PEHLİVAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Galaksiden ve solar sistemden gelen kozmik ışınların atmosferle etkileşimleri sonucunda, dünya üzerinde oluşturduğu radyasyon dozu deneysel ve teorik olarak araştırılıp, hesaplanabilmektedir. Kozmik ışınların yer seviyesindeki etkin doz hızının çeşitli simülasyon programları (FLUKA, EXPACS, CARI6, CARI7A, AVIDOS, PANDOCA, ...) yardımıyla simülasyonu yapılabilmektedir. Bu tezde, Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesindeki şehir merkezleri için yer seviyesinde FLUKA simülasyon programıyla kozmik radyasyon doz hızı bilgisi elde edilmiştir. Bu hesaplar, uygun geometri ve parametreler kullanılarak Monte Carlo yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalara göre en yüksek doz hızı Çorum ilinde  $441 \mu\text{Sv} / \text{y}$  iken en düşük doz hızı değeri Ordu ilinde  $310 \mu\text{Sv} / \text{y}$  olarak bulunmuştur. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için hesaplamalar EXPACS, CARI6 ve CARI7A simülasyon programlarıyla da yapılmıştır. Şehir merkezleri için elde edilen sonuçlar uyum içerisindedir. Türkiye'nin radyasyon veri tabanına katkı sağlayabilmek amacıyla diğer coğrafi bölgelerde de çalışmalara devam edilmektedir.

Bilim Kodu : 20216  
Anahtar Kelimeler : Kozmik Radyasyon Dozu, FLUKA, CARI6, EXPACS, CARI7A, Orta Karadeniz Bölgesi  
Sayfa Adedi : 75  
Danışman : Prof. Dr. Pervin ARIKAN

CALCULATION OF COSMIC RADIATION DOSE AT MIDDLE BLACK SEA  
REGION GROUND LEVEL BY SIMULATION CODE FLUKA

(M. Sc. Thesis)

Merve PEHLIVAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

As a result of the interaction of cosmic rays from the galaxy and solar system with the atmosphere, the radiation dose generated on the earth can be investigated and calculated experimentally and theoretically. The effective dose rate of cosmic rays at impinging on the ground level can be simulated by various simulation programs (FLUKA, EXPACS, CARI6, CARI7A, AVIDOS, PANDOCA, ...). In this thesis, central regions in Turkey's Black Sea region ground-level effective dose rate has calculated with FLUKA for urban centers in the region. These calculations were made with Monte Carlo methods with suitable geometry and parameters. Results showed that the highest dose rate was found to be 441  $\mu\text{Sv} / \text{y}$  in Çorum and the lowest dose was 310  $\mu\text{Sv} / \text{y}$  in Ordu province. To compare the results, the calculations were also performed with EXPACS, CARI6, and CARI7A simulation programs. The results obtained for city centers are in good agreement. In order to contribute to Turkey's radiation databases are ongoing studies in other geographic regions.

Science Code : 20216

Key Words : Cosmic Radiation Dose, FLUKA, CARI6, EXPACS, CARI7A,  
Middle Black Sea Region

Page Number : 75

Supervisor : Prof. Dr. Pervin ARIKAN

## TEŞEKKÜR

Akademik hayatıma adım attığım bu süreçte, bilim insanı kişiliğiyle ve bir anne edasıyla her zaman desteğini benden esirgemeyen ve tez çalışmamın her adımında, lisans ve yüksek lisans dönemim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, sonraki akademik hayatımda da örnek alacağım danışmanım ve kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Pervin ARIKAN'a, beni ben yapan, özüme işleyen, hayatımın her aşamasında bana inanarak her koşulda arkamda desteklerini her zaman hissettiğim aileme, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çalışma arkadaşlarım H. Tolga ADA ve Caner SEÇKİN'e sonsuz 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.....	7
2.1. Kozmik Işın Kaynakları .....	7
2.1.1. Hillas ölçütü.....	7
2.2. Kozmik Işın Yapı ve Spektrumu .....	10
2.3. Galaksideki Yayılım.....	14
2.3.1. Galaktik kozmik ışınların yayılması.....	15
2.3.2. Ekstragalaktik kozmik ışınların yayılması.....	15
2.3.3. Güneş ve katmanları.....	15
2.4. Heliosfer ve Güneş Rüzgarları.....	17
2.5. Kozmik Işın Sapmaları.....	21
2.6. İvmelenme Düzenekleri.....	22
2.6.1. Fermi ivmelenme düzeneği.....	22
2.6.2. Şok ivmelenme düzeneği.....	24
3. DÜNYA ATMOSFERİ VE KATMANLARI.....	27



3.1. Atmosferin Kimyasal Bileşimi.....	28
4. KAPSAMLI HAVA DUŞLARININ YAPISI.....	29
4.1. Elektromanyetik Duş.....	30
4.2. Hadronik Duş.....	32
4.3. Cherenkov Etkisi.....	35
4.4. Floresans Etkisi.....	35
4.5. Kozmojenik Radyonüklitler.....	36
5.YER SEVİYESİNDE KOZMİK RADYASYON.....	37
5.1. Nötron Radyasyonu.....	39
6. KOZMİK RADYASYON DOZU VE ETKİLERİ.....	41
6.1. Radyasyon Dozu.....	41
6.2. Kozmik Radyasyonun İnsan Sağlığına Etkileri.....	42
7. ORTA KARADENİZ BÖLGESİ.....	47
8. KOZMİK RADYASYON DOZUNU HESAPLAMAK İÇİN KULLANILAN SİMÜLASYON PROGRAMLARI.....	49
8.1. FLUKA Simülasyon Programı.....	49
8.1.1. Monte carlo tekniği.....	49
8.1.2. FLUKA’da kullanılan birim sistemi.....	50
8.1.3. FLUKA enerji limitleri.....	50
8.1.4. FLUKA’da kullanılan atmosfer modeli.....	51
8.1.5. FLUKA giriş dosyasının oluşturulması.....	52
8.1.6. FLUKA kozmik radyasyon.....	53
8.2. EXPACS Simülasyon Programı.....	54
8.3. CARI-6 Simülasyon Programı.....	54

	<b>Sayfa</b>
8.4. CARI-7A Simülasyon Programı.....	54
9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	55
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Güneş'in fiziksel özellik değişkenleri .....	16
Çizelge 4.1. Parçacıkların sınıflandırılması.....	30
Çizelge 4.2. UNSCEAR 2000 raporuna göre atmosferdeki kozmojenik radyonüklit oranları .....	36
Çizelge 6.1. Radyasyon etki faktörü.....	42
Çizelge 7.1. Orta Karadeniz bölgesi nüfus yoğunluğu.....	48
Çizelge 7.2. Orta Karadeniz bölgesi enlem, boylam ve yükseklik değerleri.....	48
Çizelge 8.1. FLUKA birim sistemi.....	50
Çizelge 8.2. FLUKA enerji limitleri.....	51
Çizelge 8.3. U.S. standart atmosfer cetveli.....	52
Çizelge 9.1. Tüm parçacıklar için FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A programlarından elde edilen ortalama yıllık doz oranları.....	55
Çizelge 9.2. Tüm parçacıklar için simülasyon programlarından hesaplanan sapma oranları.....	56
Çizelge 9.3. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen nötron doz eşdeğerleri...	61
Çizelge 9.4. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen proton doz eşdeğerleri...	62
Çizelge 9.5. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen $\mu^+$ doz eşdeğerleri.....	62
Çizelge 9.6. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen $\mu^-$ doz eşdeğerleri.....	63
Çizelge 9.7. CARI-6 sonuçları ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	64
Çizelge 9.8. Yıllık nüfus ağırlıklı etkin doz eşdeğeri.....	65

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hillas Grafiği .....	8
Şekil 2.2. 1 TeV enerjideki GCR element bolluğu ( $Z < 28$ ).....	10
Şekil 2.3. Farklı deney grupları tarafından elde edilen kozmik ışın spektrumu .....	11
Şekil 2.4. Tüm parçacıklar tarafından oluşturulan kozmik ışın enerji spektrumu .....	12
Şekil 2.5. Güneş katmanları .....	16
Şekil 2.6. Heliosferin şematik yapısı .....	17
Şekil 2.7. Van Allen radyasyon kuşakları.....	18
Şekil 2.8. Manyosferin şematik yapısı .....	19
Şekil 2.9. Güneş'in manyetik alanının şematik yapısı.....	20
Şekil 2.10. Fermi ivmelenme oluşumu .....	22
Şekil 2.11. Şok ivmelenme oluşumu.....	24
Şekil 3.1. Atmosfer katmanlarının sıralanışı.....	27
Şekil 4.1. Kapsamlı hava düşünün bileşenleri .....	29
Şekil 4.2. Heitler modeli .....	31
Şekil 4.3. Hava duşu kaskad modeli .....	34
Şekil 4.4. Cherenkov etkisi .....	35
Şekil 5.1. Atmosferik derinliğe bağlı olarak parçacıklar .....	38
Şekil 8.1. FLUKA atmosfer katmanları .....	51
Şekil 9.1. Amasya ili enerji spektrumu .....	57
Şekil 9.2. Çorum ili enerji spektrumu.....	58
Şekil 9.3. Ordu ili enerji spektrumu.....	58
Şekil 9.4. Samsun ili enerji spektrumu .....	59
Şekil 9.5. Sinop ili enerji spektrumu.....	59

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 9.6. Tokat ili enerji spektrumu.....	60
Şekil 9.7. FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A'dan elde edilen tüm parçacık doz eşdeğer grafiği.....	60
Şekil 9.8. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen nötron doz eşdeğer grafiği.....	61
Şekil 9.9. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen proton doz eşdeğer grafiği.....	62
Şekil 9.10. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen $\mu^+$ doz eşdeğer grafiği.....	63
Şekil 9.11. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen $\mu^-$ doz eşdeğer grafiği.....	64

**HARİTALARIN LİSTESİ**

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 7.1. Orta Karadeniz bölgesi şehir merkezleri .....	47



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>a</b>	İvme
<b>AU</b>	Astronomik birim
<b>Ar</b>	Argon
<b>B</b>	Manyetik Alan
<b>B</b>	Bor
<b>Be</b>	Berilyum
<b>Bq</b>	Becquerel
<b>C</b>	Karbon
<b>C</b>	Celsius
<b>c</b>	Işık hızı
<b>cm<sup>3</sup></b>	Santimetreküp
<b>Cr</b>	Krom
<b>D<sub>T,R</sub></b>	Dokuda absorbe edilen eşdeğer doz
<b>ε<sub>0</sub></b>	Elektriksel yük geçirgenliği katsayısı
<b>E</b>	Elektrik Alan
<b>e</b>	Elektron
<b>E</b>	Enerji
<b>eV</b>	Elektronvolt
<b>Fe</b>	Demir
<b>GeV</b>	Gigaelektronvolt
<b>GV</b>	Gigavolt
<b>Gy</b>	Gray
<b>H</b>	Hidrojen
<b>He</b>	Helyum
<b>J</b>	Joule
<b>K</b>	Kelvin

**Simgeler****Açıklamalar**

<b>K</b>	Kaon
<b>keV</b>	Kiloelektronvolt
<b>km</b>	Kilometre
<b>Li</b>	Lityum
<b>m</b>	Kütle
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>MeV</b>	Megaelektronvolt
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Mn</b>	Mangan
<b>mSv</b>	Milisievert
<b>N</b>	Azot
<b>n</b>	Nötron
<b>n<sub>e</sub></b>	Elektron yoğunluğu
<b>Ne</b>	Neon
<b>nm</b>	Nanometre
<b>N<sub>max</sub></b>	Duştaki maksimum parçacık sayısı
<b>O</b>	Oksijen
<b>p</b>	Proton
<b>PBq</b>	Petabecquerel
<b>pSv</b>	Pikosievert
<b>q</b>	Yük
<b>R</b>	Röntgen
<b>Rad</b>	Radyasyon doz birimi
<b>R<sub>c</sub></b>	Rijitlik
<b>r<sub>E</sub></b>	Dünyanın Yarıçapı
<b>Rem</b>	Biyolojik dokuda absorbe edilen doz birimi
<b>R<sub>s</sub></b>	Parçacığın hızlandırıldığı bölgenin yarıçapı
<b>s</b>	Saniye
<b>S</b>	Sülfür
<b>Sc</b>	Skandiyum
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Sr</b>	Katı Açı



**Simgeler****Açıklamalar**

<b>Sv</b>	Sievert
<b>T</b>	Tesla
<b>TeV</b>	Teraelektronvolt
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>v</b>	Hız
<b>V</b>	Vanadyum
<b>w<sub>R</sub></b>	Doz Etki Faktörü
<b>X<sub>max</sub></b>	Düşün geldiği maksimum sınır
<b>Z</b>	Atom numarası
<b>γ</b>	Gama
<b>γ</b>	Spektral İndeks
<b>λ</b>	Jeomanyetik Enlem
<b>μs</b>	Mikrosaniye
<b>μG</b>	Mikrogauss
<b>μSv</b>	Mikrosievert
<b>π</b>	Pion
<b>μ</b>	Müon
<b>ν</b>	Nötrino
<b>ν̄</b>	Antinötrino

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>AGN</b>	Aktive Galactic Nuclei (Aktif Galaktik Çekirdek)
<b>AMS</b>	The Alpha Magnetic Spectrometer (Alfa ManyetikSpektrometre)
<b>ATIC</b>	Advanced Thin Ionization Calorimeter
<b>BESS</b>	Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer
<b>CREAM</b>	The Cosmic Ray Energetics And Mass
<b>CMB</b>	Cosmic Microwave Background
<b>DNA</b>	Deoksiribo Nükleik Asit
<b>EXPACS</b>	EXcel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum

**Kısaltmalar****Açıklamalar****GCR**

Galactic Cosmic Ray (Galaktik Kozmik Işın)

**ISM**

The Interstellar Medium

**LAT**

Large Array Telescope

**MHD**

Manyetohidrodinamik

**SCR**

Solar Cosmic Ray (Solar Kozmik Işın)

**SN**

Süpernova

**UHECR**

Ultra High Energy Cosmic Ray

**UNSCEAR**

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation



## 1. GİRİŞ

Dünya, sürekli olarak galaksi ve solar sistemden gelen kozmik ışın parçacıkları tarafından bombardıman edilmektedir. Atmosfere ilk gelen kozmik ışınlara birincil kozmik parçacıklar denilmekte ve bu parçacıklar atmosferin üst kısımlarına geldikleri zaman hava molekülleriyle etkileşime girerek ikincil kozmik parçacıkları meydana getirirler.

Doğal radyasyon kaynaklarından biri olan kozmik ışınlardan kişinin aldığı toplam yıllık etkin doz değeri dünya çapında ortalama  $2,4 \text{ mSv y}^{-1}$ 'dir [1]. Yıllık maruz kalınan doz değeri 2000 yılı UNSCEAR raporunda  $0,39 \text{ mSv y}^{-1}$  olarak verilmiştir [2].

Kozmik ışınlarla ilgili ilk çalışmalar, Charles Augustin de Coulomb tarafında atmosferik iyonlaşmanın keşfedilmesiyle, elektroskop boşalmasının gözlemlenmesine kadar uzanmaktadır. Coulomb, yüklü cisimlerde kaybedilen yüklerin sebebinin yalıtımdan kaynaklanmadığını düşünmüştür. Yüklü cisimlerin havayla temasından yük dengesinin bozulduğunu ve elektroskopun boşaldığını bildirmiştir [3, 4]. Coulomb'un gözlemlerini iyi bir yalıtım sistemi kullanılarak M. Faraday doğrulamıştır. Crookes 1879 yılında, hava basıncı düştüğünde iyonize havanın bundan sorumlu olduğunu gösteren boşalma hızının nasıl değiştiğini gösteren deneyler yaparak boşalma hızının düştüğünü ölçmüştür [4].

Pierre ve Marie Curie 1898'de, Polonyum ve Radyum elementlerini inceleyerek radyoaktif bozulmayı keşfettiler ve bu radyoaktif elementleri bir elektroskopun yanına yerleştirdiklerinde boşalmalara neden olduğunu gördüler. Bundan sonra, elektroskoplar radyoaktivite seviyesini ölçmek için bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır [5].

Julius Elster ve Hans Geitel 1908'de, elektronları bir metal kutu ile izole edip, ölçümler yaptılar ve buldukları verilerden havadaki bu radyasyonun son derece nüfus edici olduğu sonucuna vardılar [4]. Elster ve Geitel'in çalışmalarından sonra Charles Thomson Rees Wilson, doğal radyoaktivitenin nasıl azalacağını görmek için bazı deneyler yaptı. Deneyler sonucunda radyasyonun dünya dışı kaynaklardan geldiğinin sonucuna varmıştır.

Theodor Wulf 1909 - 1910 yılları arasında, yüzeydeki ve Eysel Kulesi'ndeki iyonlaşmayı ölçmek için coğrafi konuma, yüksekliğe ve atmosferik koşullara bağı bir cihazla deneyler yaptı. Bu deneyler sonucunda radyasyonun yükseklik ile nasıl değıştğine bağı olarak tam bir karar veremedi [4, 5]. Domenico Pacini 1906 – 1911 yılları arasında deniz seviyesinde ve altında deneysel çalışmalar gerçekleştirdi, elde ettiğı sonuçlardan radyasyonun derinlikle azaldığını keşfetti. Böylece, radyasyon kaynağının dünya dışı bir kaynaktan geldiğı sonucuna varmıştır [5].

Albert Gockel 1909 yılında, Wulf'un sonuçlarını geliştirmek için balon uçuşları gerçekleştirmiş ve 4000 m'ye kadar balon uçuşları ile iyonizasyonun yükseklik ile azalmadığını doğrulamıştır.

Victor Hess 1911 yılında balon ile gerçekleştirdiğı deneylerinde 1300 metreye kadar iyonizasyonda herhangi bir değışim gözlemleyememiştir. 1912 yılında gerçekleştirdiğı 5200 metre yüksekliğe balon ile ulaştığında, iyonizasyonda bir artış gözlemledi. Yapılan deneyler sonucunda dünya dışı bilinmeyen bir radyasyon kaynağı olduğunu ve bu radyasyona 'irtifa radyasyonu' adını vermiştir [6]. Kolhörster 1914 yılında 9300 metreye balon uçuşuyla Hess'in verilerini doğrulamış ve zemin seviyesine oranla iyonizasyonun daha fazla olduğunu bulmuştur. Keşiflerinden sonra Hess 1936 yılında Nobel Fizik Ödülü almıştır.

1929 yılında Geiger-Müller sayaçlarının geliştirilmesiyle, Walter Bothe ve Werner Kolhörster kozmik ışın fiziğinde önemli deneyler gerçekleştirerek, kozmik radyasyonun yüksek enerjili  $\gamma$ -ışınları mı yoksa yüklü parçacıklardan mı oluştuğunu belirlemeye çalıştılar. Sonuçta, kozmik radyasyonun yüklü parçacıklardan oluştuğunu buldular [7].

Kozmik ışınların doğasını anlamak ve ölçmek için iki yöntem vardır; biri doğrudan anlama, balon (BESS, ATIC, CREAM, vb.) ve uyduya (Voyager, AMS02, ISSCREAM, vb.) yerleştirilmiş dedektörler yardımıyla, diğeri ise dolaylı anlama, yer merkezli büyük boyutlu dedektörler (AMS, CREAM, KASCADE vb.) vasıtasıyla yapılan ölçümlerdir.

Balon Kaynaklı bir Süperiletken Spektrometre Deneyi (BESS), Japon ve ABD'li bilim insanları tarafından kozmik radyasyonda, antimadde ve egzotik bileşenin enerji ve yoğunluklarını ölçebilmek için tasarlanmıştır. BESS, kozmik ışın fiziğinden

yararlanabilmek amacıyla kozmik radyasyondaki hafif elementleri, atmosferik nötrino akısını hesaplayabilmekte ve kozmik radyasyondaki anti-helyum bileşenini aramaktadır [8]. Gelişmiş İnce İyonlaşma Kalorimetresi (ATIC), kozmik ışınların yıldızlararası ortamda ilerlerken süpernova patlamasının oluşturduğu şok dalgasıyla çok yüksek enerjiye sahip olabildikleri varsayımından yola çıkarak ve 50 GeV – 100 TeV enerji aralığında spektrum hakkında bilgi sahibi olabilmek için tasarlanmış ve geliştirilmiş balon kaynaklı bir deneydir [9]. Kozmik Işın Enerjisi ve Kütlesi (CREAM) deneyi, uzun süreli uçuşlar gerçekleştirerek kozmik ışın spektrumlarını ölçmek için tasarlanmış ve geliştirilmiş balon kaynaklı bir deneydir. Deneyin gerçekleştirilmesinin amacı, kozmik ışınların bileşimini belirlemek, zemin seviyesinde gözlenen parçacıkların enerjilerini belirleyerek enerji aralıkları üzerinde geliştirmeler yapmak ve dolaylı olarak gerçekleştirilen ölçümler için kalibrasyon sağlayabilmektir [10].

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02), Mayıs 2011 tarihinde Uluslararası Uzay İstasyonu üzerine kurulmuş yüksek enerjili parçacık fiziği dedektörüdür. Tespit edilen proton, lepton, vb. parçacıkları ve anti parçacıkları dikkate alarak spektrum ve kozmik ışınların yapısı hakkında bilgiler elde edebilmek için tasarlanıp, geliştirilmektedir [11]. Fermi Gama-Işını Uzay Teleskopu, kara delikler, nötron yıldızları ve gama-ışınları gibi yüksek enerjili astrofiziksel nesne ve olayları incelemek için tasarlanmıştır. Geniş Alan Teleskopu (LAT), Fermi Gama-Işını Uzay Teleskopu uzay aracında kullanılan bilimsel bir alettir. Özellikle gama-ışın enerjisini ve bunların yönlerini belirleyebilmek için kullanılmaktadır. 20 MeV – 300 GeV enerji aralığında ölçüm yapma yeteneğine sahip gama-ışını teleskop sistemidir [12]. PAMELA, antimadde ve bileşenleri, solar modülasyon etkileri, kozmik ışınların ivmelenme düzenekleri hakkında bilgi sahibi olabilmek ve anti-proton (80 MeV – 190 GeV), pozitron (50 MeV – 270 GeV) gibi parçacıkların akılarını ölçebilmek için tasarlanıp, geliştirilmiş uydu kaynaklı bir deney düzeneğidir [13].

Kozmik ışınların tabiatını, kaynaklarını, enerji spektrumlarını, yıldızlar arası ortamda ve dünya atmosferine yaklaştıklarında nasıl davranış sergilediklerini inceleyebilmek için çeşitli deney düzenekleri ve büyük dedektör sistemleri tasarlanıp, geliştirilerek devam eden süreçte çeşitli simülasyon AVIDOS, PANDOCA, EXPACS, CARI-6 gibi programlar geliştirilmiştir. Deney düzeneklerinin tasarımı ve inşa edilmesi uzun bir süreç ve yüksek

maliyete sebep olduğu için, simülasyon programlarını daha cazip hale getirmiştir. Simülasyon programları ve deneylerden alınan veriler karşılaştırıldığında, birbirleriyle uyum içerisinde olması simülasyon programlarının tercih edilmesine neden olmuştur. Türkiye’de kozmik radyasyon nedeniyle maruz kalınan doz miktarı, yer seviyesinde ve uçuş yüksekline bağlı olarak CARI-6 programıyla hesaplanmıştır [14]. Kullanılan simülasyon programları arasında FLUKA hassas ve güvenilir bir şekilde hesaplama yapmak için kullanılan bir programdır.

Bu tez, Orta Karadeniz Bölgesi’nde kozmik ışınlar tarafından maruz kalınan radyasyon dozunun FLUKA simülasyon programıyla hesaplanması ile ilgili bir çalışma sunmaktadır. EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A simülasyon programları ile aynı hesaplamalar yapılmıştır.

Bölüm 1’de, kozmik ışınların keşfine ve ilerleyen süreçlerde nasıl bir değişim gösterdiğine değinilmiştir. Bölüm 2’de, kozmik ışınların olası kaynaklarına, yapısına, spektrumuna ve ivmelenme düzeneklerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3,4 ve 5’te dünya atmosferi, dünya atmosferine ulaşan kozmik parçacıklar ve yer seviyesine ulaşan parçacıkların hareketlerine değinilmiştir. Bölüm 6’da kozmik radyasyon nedeniyle maruz kalınan radyasyon dozu ve insan üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bölüm 7, 8 ve 9’da ise, doz hesaplamalarının yapıldığı Orta Karadeniz Bölgesi hakkında bilgi verilmiş ve doz hesaplarını yaparken kullanılan programların bazı özelliklerinden bahsedilerek elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılıp, sonuçlar tartışılmıştır. Tezin amacı, kozmik parçacıklardan ve radyonüklitlerden dolayı maruz kalınan radyasyon doz hızlarını simülasyon programları yardımıyla hesaplayarak Türkiye’nin doğal radyasyon veri tabanına katkı sağlamaktır.

Türkiye’de FLUKA programı kullanılarak kozmik ışınlarla ilgili yapılan çalışmaların sayısı çok azdır. FLUKA ile genellikle, hızlandırıcı ve zırhlama sistemleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmamızda Amasya, Çorum, Ordu, Samsun, Sinop ve Tokat şehir merkezleri için FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A simülasyon programlarından elde edilen sonuçlar incelenmiş ve uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. FLUKA ile aldığımız sonuçlardan en yüksek doz oranı 776 metre yükseklikte bulunan Çorum ilinde  $441 \mu\text{Sv} / \text{y}$ , en düşük doz oranı 5 metre yükseklikte bulunan Ordu ilinde

310  $\mu\text{Sv} / \text{y}$  olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasıyla Orta Karadeniz Bölgesi şehir merkezleri için yer seviyesinde simülasyon yoluyla teorik olarak kozmik radyasyon dozu sonuçları elde edilmiştir. Türkiye'deki diğer şehir merkezlerinde yer seviyesinde kozmik radyasyon doz hesaplamaları için çalışmalar sürmektedir.







## 2. KOZMİK IŞINLAR

### 2.1. Kozmik Işın Kaynakları

Kozmik ışınların kökenlerinin süpernova patlamalarından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Dünya yüzeyine gelen kozmik ışınlar; galaktik kaynaklı kozmik ışınlar, solar kaynaklı kozmik ışınlar ve dünyanın radyasyon kuşaklarına hapsolmuş parçacıklardan kaynaklanan ışınlar olmak üzere üç temel gruba ayrılabilir.

Galaktik kaynaklı kozmik ışınlar, güneş sisteminin dışından dünyaya ulaşan ve yüksek enerjiye sahip parçacıklardır. Solar kaynaklı kozmik ışınlar ise güneşte oluşan patlamalardan kaynaklanır. Üst atmosferde etkili olup, yer seviyesinde etkili değildir.

#### 2.1.1. Hillas Ölçütü

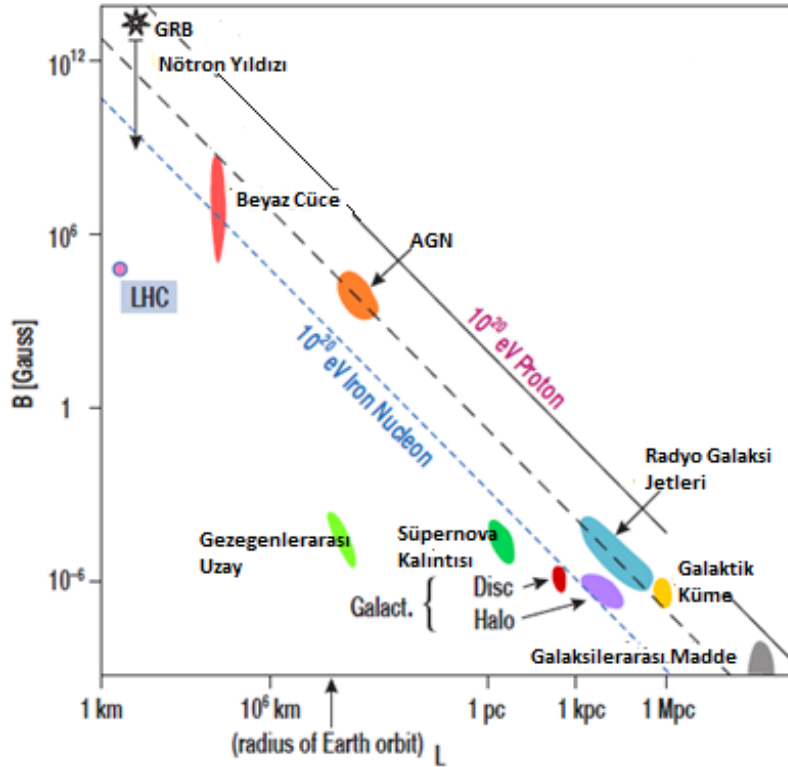
Parçacıkların meydana getirdiği şok dalgaları ve kozmik ışınları hızlandırabilmek için yeterli enerjiyi sağlayabilen çeşitli astrofiziksel nesnelere (yıldız, gezegenler arası uzay, galaksiler, vb.) mevcuttur [5]. Parçacıkları yüksek enerjilere kadar hızlandırmak için tek başına güçlü şoklar yeterli değildir, hızlanmış parçacıkları sınırlandırmak için manyetik alanlara da ihtiyaç vardır [6]. B manyetik alanı ile verilen bir ortamdan geçen parçacığın enerjisi sınırlıdır.

$$E_{max} \sim ZqBR_s \quad (2.1)$$

Burada,  $Z$  parçacığın atom numarası,  $q$  parçacığın elektrik yükü,  $B$  manyetik alan,  $R_s$  ise parçacıkların hızlandırıldığı bölgenin yarıçapıdır. Denklem 2.1'de, bir parçacığın Larmor yarıçapı  $R_L = E_{max}/(ZqB) \leq R_s$  dikkate alınarak hesaplama yapıldığında, Hillas ölçütü olarak bilinen geometrik bir sınırlama elde edilir [5]. Bu ölçütte, hızlandırılmış parçacıkların enerjisi, manyetik alan ve ivmelenme bölgesinin büyüklüğü ile ilişkilidir. Bu şekil 2.1'de çeşitli astrofiziksel nesnelere içeren ve  $\sim 10^{20}$  eV veya daha yüksek enerjilere kadar ivmelenme potansiyellerine göre gösterildiği bir grafik elde edilmiş olup, Hillas

grafığı olarak adlandırılmıştır. Grafikte kesikli çizginin altında kalan bölgenin galaktik kaynaklı olduğu düşünülmekte, çünkü kesikli çizgi altındaki astrofiziksel nesnelere protonları  $\sim 10^{20}$  eV'e kadar ivmelendirecek güce sahip olmadıkları düşünülmektedir [6].

İvmelenme bölgesindeki parçacıkların maksimum enerjisi, manyetik alanın gücüne ve kaynağın büyüklüğüne bağlı olarak değişiklik gösterir [6].



Şekil 2.1. Hillas Grafiği (Hillas 1984) [6]

Gama-Işın Patlaması (GRB), iki nötron yıldızının birleşmesi veya büyük bir yıldızın hayatının sonuna gelerek bir karadelik olarak çöktüğü zaman oluştuğu düşünülmektedir. Büyük bir yıldızın karadeliğe dönüşmesi sırasında uzun patlama, iki nötron yıldızının birleşerek karadelik oluşturması kısa patlama olarak iki tipte meydana gelmektedir [15].

Bir yıldızın çekirdeği yaşam döngüsünün sonunda çöker. Elektron ve protonlar, nötronlar ve nötrinolar oluşturmak için sıkışarak nötron yıldızını oluşturur. Nötrinolar kolayca kaçabilir ve nötronların birbirine yaklaşması sonucunda, manyetik alan ve dönme eksenini hizalandığında pulsar denilen nötron yıldızlarını oluşturur. Nötron yıldızlarının Eş. 2.1 ile hesaplanan enerjisi yaklaşık olarak  $10^{18}$  eV'dir [16].

Beyaz cüceler, hidrojeni bitmiş ve füzyona son veren yıldızlardır. Yüksek oranda karbon ve oksijenden oluşmuştur, kütleleri Dünya'nın kütesine benzemektedir ve Güneş'in kütesiyile karşılaştırılabilecek kadar yoğundur [17].

Aktif Galaktik Çekirdekler (AGN), yıldızlararası maddeden, yıldızlardan ve etkileşimlerinden kaynaklanan süreçlerin ötesinde enerji yayabilen galaksilerin merkez bölgeleri olarak tanımlanabilir. AGN radyo galaksiler, kuasarlar, seyfert galaksiler, BL Lac nesnelere olmak üzere alt gruplara ayrılır. Bu alt grupları birbirinden ayırt etmek için yaydıkları radyasyona dikkat edilmektedir. Aktif Galaktik Çekirdekler  $\sim 10^{20}$  eV'e kadar protonları hızlandırabilirler [16, 18].

AGB ve GRB güçlü gama-ışını yayıcılarıdır. Kozmik ışınların olası bir kaynak adayları da süpernovalar, çünkü bu enerjiyi sağlamak için yeterli yüksek bir güce sahiptirler [5]. Galaksi kümeleri,  $\mu\text{G}$  büyüklüğünde manyetik alana sahip galaktik objelerdir. Bu galaktik objenin CMB fotonları ile etkileşimi sonucunda Eş. 2.1 ile hesaplanan enerjisi  $\sim 10^{18}$  EeV'dir [7].

Süpernova, yıldızın ömrünün sonunda patlaması ile gözlenir. Yıldızın merkezinde ve çekirdeğinde değişiklik meydana geldiğinde de bir süpernova olayı meydana gelmektedir [19]. İki temel süpernova tipi olduğu düşünülmektedir. Bunlar; birinci tip süpernova büyük bir yıldız ve beyaz cüceden oluşan ikili yıldız sisteminde, ikinci tip süpernova ise büyük bir yıldızın ömrünün sonunda ortaya çıktığı düşünülmektedir. Süpernovalar şok ivmesinin meydana getirebileceği güçlü şoklar yaratır. Bu şokların büyük bir kısmının galaktik kozmik ışınların birincil hızlandırıcısı olduğu varsayılmakla birlikte bunların en yüksek enerjili bu parçacıkları üretecek kadar güçlü olmadıkları düşünülmektedir [20]. Bu şok dalgaları  $\sim 10^4$  km s<sup>-1</sup>'lik bir hıza sahiptir. Bir süpernova olayının gözlemlenebilmesi için yaklaşık olarak  $10^5$  -  $10^6$  yıl gibi bir süre gerekmektedir [5].

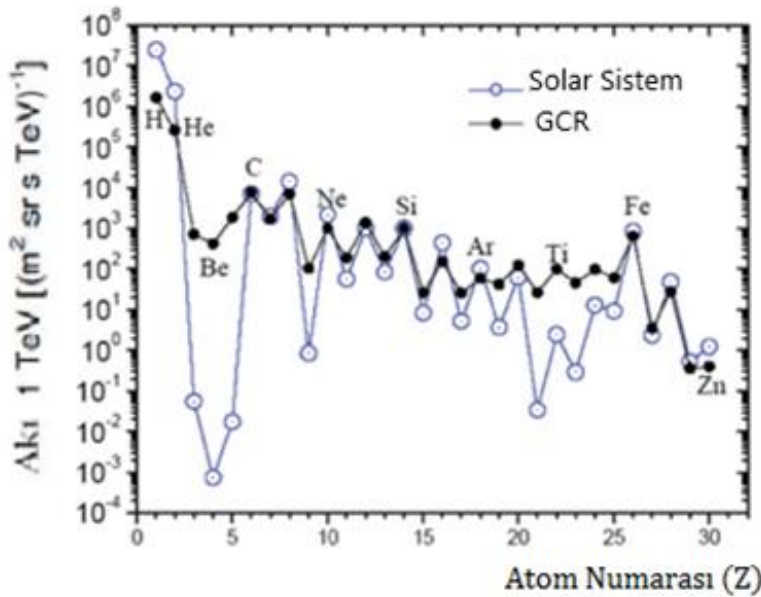
## 2.2. Kozmik Işın Yapı ve Spektrumu

Kozmik ışın araştırmaları, kozmik parçacıkların kütlesi ve bu parçacıkları oluşturabilecek element bileşimi ve enerji spektrumu gibi konuları açıklamaya çalışarak kozmik ışınlar hakkında daha fazla bilgi ve veri elde etmeyi amaçlamaktadır.

Galaktik kozmik ışınlar (GCR); dünyaya güneş sistemi dışından gelen yüksek enerjili parçacıklardır. GCR'nin %98'i nükleonik bileşen ve %2'si elektronlardan oluşmaktadır. Nükleonik bileşen yaklaşık olarak %87 proton, %12 helyum çekirdeği (alfa parçacığı) ve geriye kalan %1 ağır çekirdekler ve antiparçacıklardan ( $e^+$ ,  $\bar{p}$ , ...) oluşmaktadır [21].

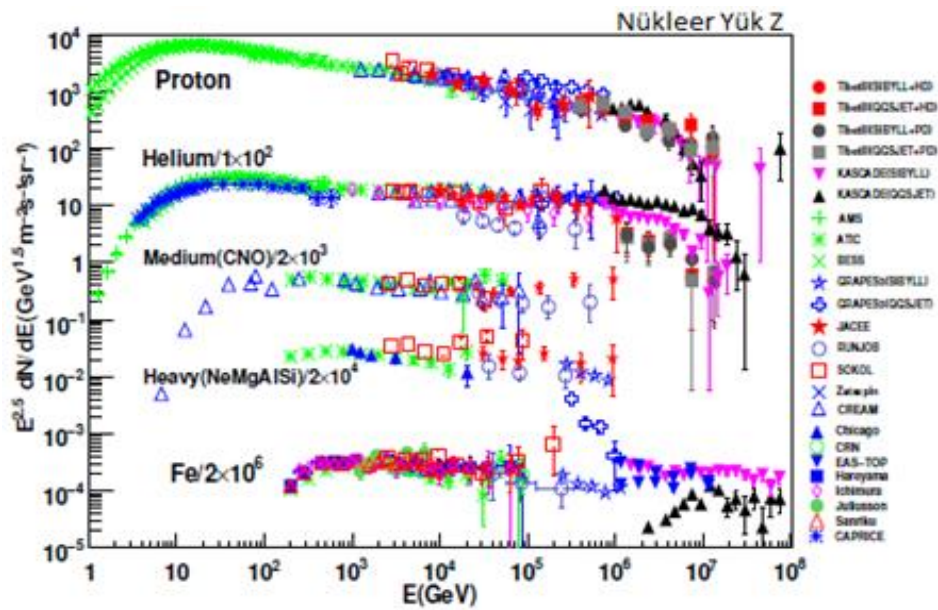
Solar kozmik ışınlar (SCR); güneşte meydana gelen patlamalar sonucu oluşmaktadır. Enerji bakımından incelendiklerinde, yaklaşık olarak 100 MeV'in altında protonlardan oluşur. Parçacıklar, yükseklik arttığında radyasyon dozuna etki edebilirken, yer seviyesinde etkili değildir [2].

Van Allen radyasyon kuşaklarında; dünyanın manyetik alanı elektronlar ve protonları yakalar. Proton enerjisi birkaç yüz megaelektronvolt iken, elektron enerjisi birkaç elektronvolt civarındadır [1].

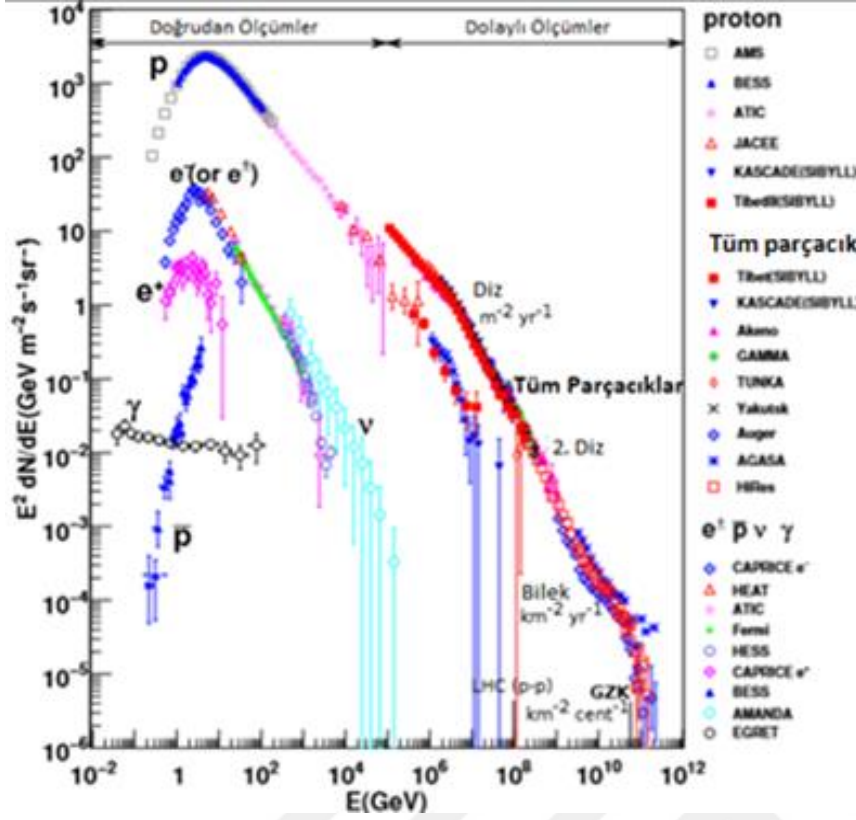


Şekil 2.2. 1 TeV enerjideki GCR element bolluğu (Z < 28) [21]

Kozmik ışınlar ve solar sistemdeki elementlerin bileşimi arasındaki benzerlikler açıkça görülebilmektedir. Fe, H, He, C, O gibi elementler evren var olduğundan bugüne kadar en bol bulunan elementlerdir [22]. Şekil 2.2 GCR ve solar sistemdeki element bolluklarını göstermektedir. Şekil incelendiğinde bazı elementlerin bolluğu da dikkat çekmektedir. Hafif elementler Li, Be, B ve alt demir elementleri Ti, Sc, Cr, V ve Mn fazlalığı görülmektedir ve bu yıldızlar arası ortamdaki etkileşimler neticesinde çekirdeklerin parçalanmasından kaynaklanır. Örneğin; C ve O elementlerinin parçalanması sonucunda da Li, Be ve B'nin bollukları artmaktadır [6, 21, 22].



Şekil 2.3. Farklı deney grupları tarafından elde edilen kozmik ışın spektrumu [23]



Şekil 2.4. Tüm parçacıklar tarafından oluşturulan kozmik ışın enerji spektrumu [23]

Kozmik ışın spektrumu, Denklem 2.2’de verilen bir güç yasası ile açıklanır. Denklemde  $E$  nükleon başına kinetik enerjisi,  $dN/dE$  yoğunluğu,  $\gamma$  ise spektral indeksi ifade eder. Şekil 2.4 kozmik ışın enerji spektrumunu göstermektedir.

$$\frac{dN(E)}{dE} \sim E^{-\gamma} \quad (2.2)$$

Şekil 2.3’te, enerji spektrumunun anlaşılması güç olduğundan, değişik enerjilerdeki özelliklerin daha net görülebilmesi için akı  $E^{2.5}$  ile çarpılarak daha net bir görüntü elde edilmektedir. Farklı deney grupları tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, yaklaşık olarak enerjisi  $10^{12}$  eV ve üzerinde olan kozmik bir parçacığının %50 proton, %25 helyum, %13 karbon, azot, oksijen ve %13 demirden oluştuğu düşünülmektedir [23].

Kozmik ışın enerjisi ve akı arasında ters orantı vardır, enerjisi arttığında akı düşer.  $\sim 1 - 10$  GeV altındaki enerjilere sahip parçacıklar güneş rüzgarından etkilenir. Güneş aktivitesinin hareketli olduğu zamanlarda güneş rüzgarı en fazla düzeyde ve atmosferdeki GCR miktarı en az düzeydedir. GCR güneş aktivitesinin az olduğu zamanlarda maksimum

olur ve buna güneş modülasyonu denilir, yaklaşık olarak 11 yıllık bir döngü ile değişir. En fazla olduğu zamanlarda parçacıkların enerjileri uçuş yüksekliklerinde radyasyonu yükseltmek için düşük düzeyde kalır [23, 24].

Kozmik ışınların diz bölgesindeki kimyasal bileşiminde farklılıklar olduğuna ve enerjinin artmasıyla ağır çekirdeklerin daha fazla olduğuna dair kanıtlar artmaktadır. Güç yasasındaki spektral indekste değişiklik gözlemlenince spektrum; diz, 2.diz, bilek ve GZK olarak adlandırılan dört ana bölgeye ayrılır [23]. Diz, ikinci diz ve bilek bölgesi şöyle yorumlanmaktadır; diz protonun maksimum enerjisini, 2.diz demir bileşeninin sonunu ve bilekte galaktikten ekstragalaktik kozmik ışınlar geçişin neden olduğu özelliğidir.

Şekil 2.4'ten şu sonuçlar çıkarılabilir;

- Güneş modülasyonu nedeniyle  $\sim 10$  GeV altındaki düşük enerjilerde spektrum düzdür,
- Diz;  $\gamma \sim 2,7$  olduğu ve  $10 \text{ GeV} < E < 3 \times 10^{15} \text{ eV}$  enerji aralığında,
- İkinci diz;  $\gamma \sim 3,1$ 'e yükseldiği ve  $3 \times 10^{15} \text{ eV} - 10^{18} \text{ eV}$  enerji aralığında,
- Bilek;  $\gamma \sim 2,7$ 'ye düştüğünde  $\sim 3 \times 10^{18} \text{ eV}$  enerjisinde spektrum düzleşmeye başlar,
- Bilekten sonrası Ultra yüksek enerjili kozmik ışınlar olarak tanımlanan ve henüz tam olarak tanımlanamamış olmakla beraber, parçacıklar spektrumun sonundaki Greisen-Zatsepin-Kuz'min sınırında (GZK)  $\sim 6 \times 10^{19} \text{ eV}$ 'de enerji bakımından karşılaştırılabilir [25].

Ultra yüksek enerjili kozmik ışınları (UHECRs), kozmik parçacık olarak kabul edebilmek için bazı şartları sağlaması gerektiği düşünülmektedir. Bu şartlar;

- Güç; kozmik parçacık kaynağı istenilen enerjiyi sağlayabilmeli,
- Geometri; kozmik parçacık ivmelendiği zaman bölgede kalabilmeli,
- Radyasyon kayıpları; kozmik parçacık ivmelendiğinde enerjisi, kaybedilen radyasyon enerjisinden az olmalı,
- Emisyon; UHECR'nin deneysel olarak hesaplanan akısı, kaynak yoğunluğu ve güç yeterli olmalı,

- Etkileşim kayıpları; parçacıklar arasındaki etkileşimlerden dolayı yitirilen enerji, kazanılan enerjiden yüksek olmamalı,
- Bir arada bulunan radyasyon; düşük enerjili kozmik parçacık, foton ve nötrino akıları, gözlenebilen akılardan büyük olmamalıdır [26].

UHECR kaynaklarının hem galaktik hem de ekstragalaktik bileşen olduğu düşünülmektedir. Buradaki galaktik kaynakların; tür II supernova, pulsar ve supernova kalıntılarındaki şok ivmesi, ekstragalaktik kaynakların ise aktif galaksiler ve gama-ışın patlamaları olduğu düşünülmektedir. Ancak, UHECR ile ilgili çalışmalara devam edilmektedir [26].

Diz bölgesindeki kozmik ışınların kimyasal bileşiminde bazı değişiklikler gözlenmiş ve daha yüksek enerjilerde kimyasal bileşimde ne tür değişiklikler olabileceği konusunda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu değişiklikler sonucu kozmik ışınların büyük bir çoğunluğunun galaktik kökenli olduğu ve diz bölgesi ötesinde  $\sim 10^{18}$  eV ve üzeri enerjilerde galaktik kozmik ışınlardan ekstragalaktik kozmik ışınlara geçişin söz konusu olduğu düşünülmektedir [23]. Kozmik mikrodalga arka plan (CMB) radyasyonunun keşfiyle,  $E \sim 10^{19}$  eV enerjilere sahip kozmik ışınlar CMB fotonları ile etkileşime girerek enerji kaybeder, bu durum spektrumda bir kesme olarak gözlenebilir. Bu GZK kesmesi olarak açıklanabilir [3].

Balon ve uydu deneyleriyle düşük enerjideki parçacık spektrumu ölçülebilir. Kozmik ışın dedeksiyonu, şekil 2.5'te gösterildiği gibi doğrudan ve dolaylı ölçümlerle gerçekleştirilir. Doğrudan ölçümler; balon ve uydu sistemleriyle, dolaylı ölçümler ise; büyük teleskoplar ve hava duşu düzenekleri ile yapılabilmektedir [5].

### 2.3. Galaksideki Yayılım

Kozmik ışınlar kaynaklarından yayılırken, yayıldıkları ortamdaki toz, diğer maddeler ve manyetik alanlar ile etkileşime girer. Dünya ve Güneş'in manyetik alanları da düşük enerjili parçacıkları saptırır. Kozmik ışınların bu maddeler ile etkileşimleri sonucu ikincil parçacıklar meydana gelir [6].



### 2.3.1. Galaktik kozmik ışınların yayılması

Samanyolu galaksisi, 100 000 milyon yıldız, toz, karanlık madde ve gazdan oluşan geniş bir alanı kaplamaktadır. Manyetik alan enerji yoğunluğu  $\sim 0,4 \times 10^{-12}$  erg/cm<sup>3</sup>, kozmik ışın enerji yoğunluğu ise  $\sim 1,5 \times 10^{-12}$  erg/cm<sup>3</sup>'tür ve bu yoğunluklar karşılaştırılabilmektedir. Galaksinin manyetik alanı, iyonize gaz manyetohidrodinamiğini (MHD) oluşturarak, Alfvén dalgalarından geçebilecek MHD akışkanı ve gazın yoğunluğuyla ortamda ilerler. Daha sonra kozmik ışın akısı da Alfvén dalgalarını üretebilir.

Galaktik kozmik ışınların yayılımları için çeşitli modeller tasarlanmış ve bu modellerle, kimyasal bollukların incelenmiş, ikincil ve birincil bolluklardaki madde miktarları tahmin edilmeye çalışılmıştır [6].

### 2.3.2. Ekstragalaktik kozmik ışınların yayılması

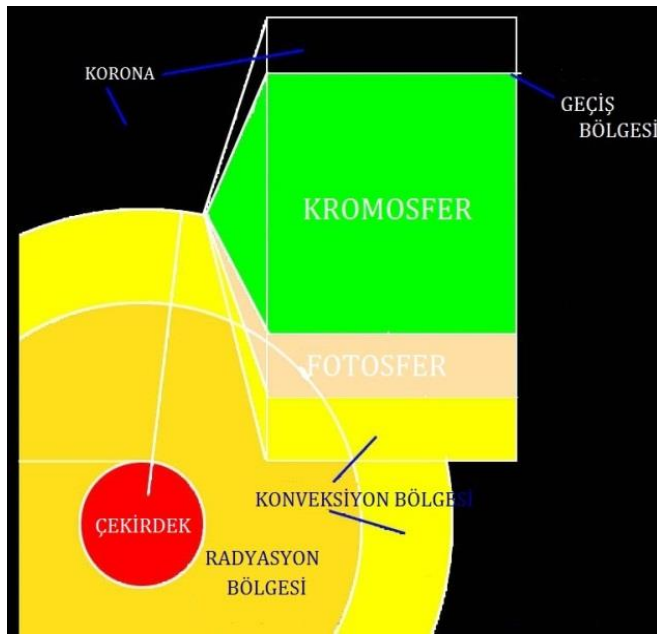
Enerjisi  $\sim 10^{19}$ eV olan kozmik ışınlar, galaksiler arası alanda yayılabilir. GZK etkisinden dolayı enerji kaybederler. UHECR manyetik alanlardan az etkilendiği zaman bunların kökenleri hakkında veriler almak için kullanılabilir. Pierre Auger Gözlemevi, ekstragalaktik kozmik ışınlar hakkında çalışmalarına devam etmektedir [6].

### 2.3.3. Güneş ve Katmanları

Güneş, güneş sisteminin merkezinde parlayan sıcak bir gaz topu ve sarı cüce bir yıldızdır. Güneşte gerçekleşen nükleer reaksiyonlar sonucu yüzey sıcaklığı yükselmektedir. Kimyasal bileşimde; %92,1 hidrojen, %7,8 helyum ve ağır elementler %0,1'lik (genellikle kütlelerinin %1,9'u C, N, O, Ne, Mg, Si, S ve Fe) kısmını oluşturur [27]. Çizelge 2.1 Güneş'in fiziksel özellik değişkenlerini vermektedir. Güneş'ten herhangi bir gezegene olan uzaklığa Astronomik Birim (Au) denilmekte ve  $1 \text{ AU} = 150 \times 10^6$  km'lik bir değere sahiptir. Şekil 2.5 Güneş'in katmanlarını göstermektedir.

Çizelge 2.1. Güneş'in fiziksel özellik değişkenleri [27]

Fiziksel Değişken	Sayısal Değer
Yarıçap	695,500 km
Kütle	$1,989 \times 10^{33}$ g
Ortalama Yoğunluk	$1,409$ g / cm <sup>3</sup>
Yer Çekim İvmesi	$274$ m / s <sup>2</sup>
Yüzeyden Kaçma Hızı	$617,7$ km / s
Dünyaya Uzaklığı	1 AU
Merkezde Sıcaklık	$15,7 \times 10^6$ K
Yüzeyde Sıcaklık	6 400 K



Şekil 2.5. Güneş katmanları [28]

Fotosfer; Güneş'in görünür tabakası ve yaklaşık olarak 4 000 – 6 500 K arasında sıcaklığa sahiptir. Görünen güneş disk yüzeyinden 400 km yukarıya çıkar.

Kromosfer; yaklaşık olarak 400 km – 2 100 km ve üzerindeki katmandır. Sıcaklığı 4 000 – 8 000 K arasında değişir. Başlıca UV-ışınım kaynağıdır.

Geçiş Bölgesi; korona ve kromosfer arasındaki tabakadır. Yaklaşık olarak 8 000 – 500 000 K arasında sıcaklığa sahiptir.

Korona; en dış tabakası ve yüzeyin yaklaşık 2 100 km üstünde başlar. Yaklaşık olarak sıcaklığı 500 000 K veya üzerindedir. Gözle görülemediği için koronagraflı teleskoplar yardımıyla gözlenebilir [28].

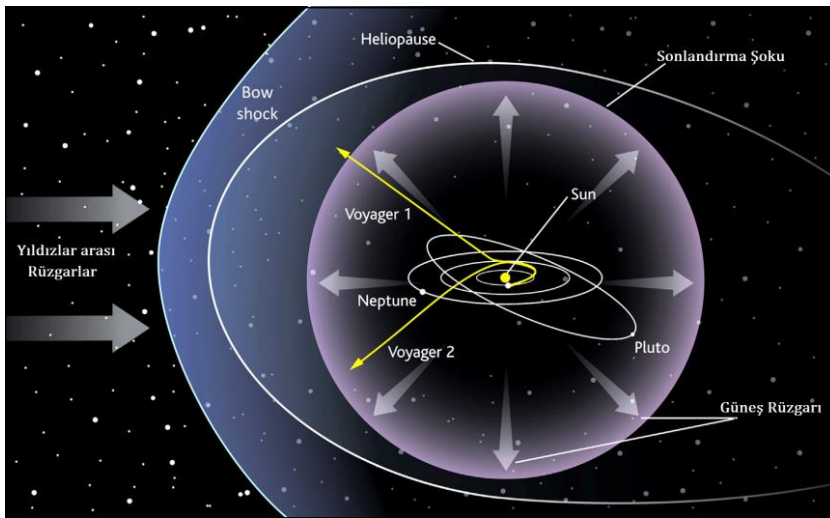
Çekirdek; Yaklaşık olarak 15 milyon C sıcaklıkta nükleer reaksiyonlarla enerji üretildiği bölgedir. Hidrojenden helyum üretmek için nükleer reaksiyonlar gerçekleşir.

Radyasyon Bölgesi; Nükleer füzyon sonucunda ortaya çıkan enerjinin elektromanyetik radyasyon olarak hareket etmesiyle yayılması 170 000 yıl veya daha uzun bir süre devam eder.

Konveksiyon Bölgesi; Enerji konveksiyon yoluyla hareket ederek, yoğunluğun azalmasına ve enerjinin ısıya dönüşmesini sağlar [28].

#### 2.4. Heliosfer ve Güneş Rüzgarları

Heliosfer, güneş sistemini kaplayan geniş atmosferdir. Şekil 2.6'da heliosferin şematik yapısı görülmektedir. Heliosferin yapısı ve büyüklüğü, yerel yıldızlar arası ortamdaki (ISM) güneş hareketine, plazma yoğunluğuna ve koronadan yayılan güneş rüzgarına bağlı olarak değişir. Korona iyonize bir gaz olduğundan, Güneş'in çekim alanından sıcaklığı yüksek olduğu için kaçabilir.

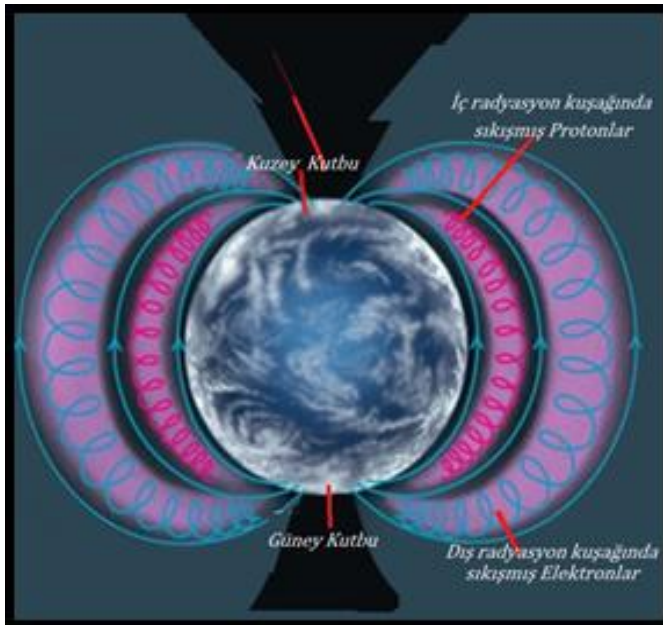


Şekil 2.6. Heliosferin şematik yapısı [27]

Şekil 2.6'da, güneş rüzgarı ve yıldızlar arası plazma arasındaki bölge heliopause, heliopause içerisinde sonlandırma şoku olarak adlandırılan geniş bir şok gösterilmiştir [27]. Güneş rüzgarında plazma iletkenliği büyükse, plazma değişmez ve bu değişmez plazmanın hareketiyle kaynağın alan çizgileri takip edilebilir. Plazma Güneş koronasını geçince, rüzgar basıncı Güneş sisteminin manyetik basıncı üzerinde etkinse, manyetik alan dışa doğru birleşerek Arşimet Sarmalı şeklinde bükülür. Bu sarmal radyal yöndeki eğilim dikkate alınarak, rüzgar hızına ve heliosantrik uzaklığa bağlı olarak değişmektedir [27, 29].

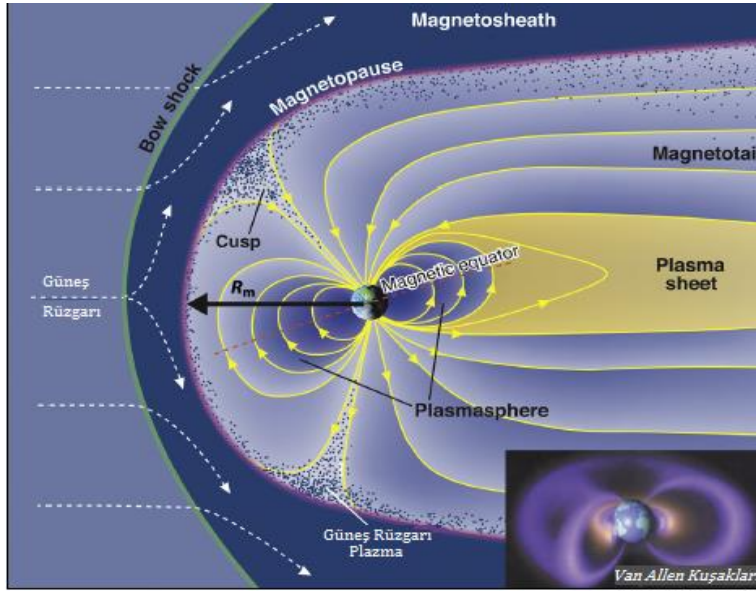
T. Gold, manyetosferi şöyle tanımlamıştır; parçacıkların dünya manyetik alanından etkilendiğini ve iyonosferin üzerindeki bölgedir [27].

Van Allen radyasyon kuşakları; manyetik alan düşük enerjili parçacıkları hapsederek, yüksek enerjiye sahip iyon ve elektronların (onlarca keV ve daha üstü) Dünya etrafından dolaşarak oluşturduğu halka biçimli yapıları oluşturur. Bunlar iç radyasyon parçacıklarının (iyonosfer  $\sim 4 - 5 r_E$ ) kozmik ışınların ürettiği nötrinolardan gelir, dış radyasyon parçacıkları (manyetopause  $\sim 4 - 5 r_E$ ) ise güneş rüzgarı ve auroralardan gelen radyasyon kuşaklarına ayrılır. Yüklü parçacıklar manyetik alan etkisiyle uzaya genişler, Güneş'e doğru 10 Dünya yarıçapında sona ermektedir. Manyetosfer bu mesafede, düşük yoğunluklu bir plazma ile sonlandırılmıştır [27, 29].



Şekil 2.7. Van Allen radyasyon kuşakları [27]

Güneş Rüzgarı, gezegenler arası manyetik bir alana etki eden iyonize gaz plazma olarak tanımlanmaktadır. Kütlesi parçacıkların oluşturduğu kalıntılara bakılarak, yaklaşık olarak %80 proton, %18 alfa parçacığı ve geriye kalan kısım ağır yüklü parçacıklardır [20]. Güneş'ten 1 AU uzaklıkta, Dünya yörüngesinde; güneş rüzgar yoğunluğu  $8 \text{ proton / cm}^{-3}$ , akış hızı  $440 \text{ km / s}$  ve sıcaklığı  $1,2 \times 10^5 \text{ K}$ 'dir. Güneş rüzgarı, yer ve zaman bakımından düzensizdir [27].



Şekil 2.8. Manyetosferin şematik yapısı [27]

Şekil 2.8, güneş rüzgarının, dünya yüzeyi, manyetik alanı ve alanda hapsedilmiş plazmanın manyetopause de nasıl hareket ettiğini göstermektedir. Güneşteki hareketlilik, koronadan önemli miktarda maddenin manyetik alanları aşarak fırlamasına neden olmakta ve buna koronal kütle çıkarma (CME) denilmektedir. Çoğunlukla CME, manyetik olarak hareketli bir güneş lekeliği olarak bilinmektedir. Güneş parlaması ise küçük bir hacimden ansızın elektromanyetik enerji ve parçacık yayma olayıdır. CME ve güneş parlaması arasındaki ilişki halen üzerinde çalışılan bir konudur. Güneş parlaması sırasında ortaya çıkan enerji ve madde, CME'den yayılan enerji ve maddeden oldukça küçüktür. CME ve güneş parlamalarının büyük bir kısmı Dünya'ya ulaşamaz ve atmosferdeki radyasyon seviyesinde bir artışa sebep olmayabilirler [20].



İkinci olarak, yük değişimi yoluyla iyon ve nötr parçacık arasındaki etkileşimdir. Nötr parçacık ve iyon çarpışırsa, nötr parçacık iyona bir elektron aktarabilir ve iyon nötr hale gelerek, manyetik alanla aynı doğrultuda harekete devam eder. İyon, manyetik alan ile sınırlandırılmış ve plazma hızında ivmelendirilmiştir. Bu plazma, akış enerjisiyle eş bir giriş termal enerjisine sahiptir. Bu ivmelenme plazma akış enerjisinden kaynaklanır ve plazma yavaş hareket etmeye başlar [30].

## 2.5. Kozmik Işın Sapmaları

Yüklü bir parçacığa manyetik alanda Denklem 2.3'te verilen Lorentz kuvveti etki eder.

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'de parçacığı yükü  $q$ , hızı  $v$  ve elektrik alan  $\vec{E}$ , manyetik alan  $\vec{B}$  ile verilmiştir. Lorentz kuvveti, gökada da bir elektrik alan olmadığından aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) = m\vec{a} \quad (2.4)$$

Bu denklemi kozmik ışınlarla ilgili yapılan çalışmalarda tekrar oluşturabiliriz.

$$\vec{a} = \frac{q}{m} (\vec{v} \times \vec{B}) = \frac{Zc^2}{E[eV]} (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.5)$$

Denklemde ivme  $\vec{a}$ , atom numarası  $Z$  ve  $c$  vakumlanmış ortamdaki ışık hızıdır. Kütle  $m = \gamma m_0$  ve  $\gamma$  Lorentz faktörüdür. Kozmik ışınlar manyetik alan boyunca ilerleyerek hareket ettikleri için, yükleri ile doğru orantılı ve enerjileriyle de ters orantılı saparlar. Güneş rüzgarı ve manyetik alan düşük enerjiye sahip kozmik ışınları saptırır. Ancak, çok yüksek enerjili kozmik ışınlar manyetik alan tarafından bir sapmaya uğramadan yollarına devam ederler [20, 31].

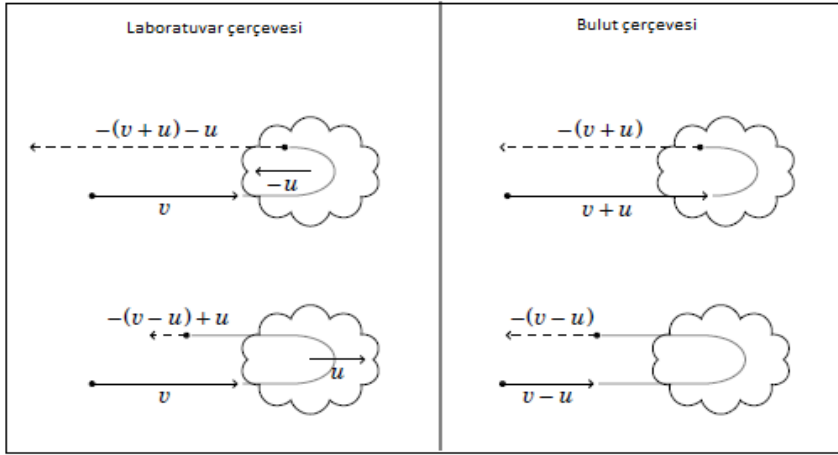
## 2.6. İvmelenme Düzenekleri

Fermi ve şok ivmelenmesi kozmik ışınları incelemede kullanılan iki sistemdir.

### 2.6.1. Fermi ivmelenme düzenegi

Fermi, yıldızlar arası ortamda ve manyetik bulutlarda parçacık etkileşiminden kaynaklanan enerji kazanımları için model geliştirmiştir [6]. Yıldızlar arası ortamda düzensiz manyetik alanlar olduğunu, yıldızlar arası bulutlarda kuvvetli alanlar ve bu alanları manyetik bir ayna olarak varsaymıştır.

Modelde, manyetik bulutla karşılaşan parçacık bir müddet sonra saçılmaya uğrar. Parçacık ve bulut eş yönde hareket ederse, esnek saçılma gerçekleştirerek, enerji de bir değişiklik meydana gelmez. Laboratuvar çerçevesinden bulut çerçevesine ya da bunun tersi olan bulut çerçevesinden laboratuvar çerçevesine geri dönüş ile laboratuvar çerçevesindeki enerjiyi belirlemek için bir dönüşüm sistem oluşturulmuştur [22].



Şekil 2.10. Fermi ivmelenme oluşumu [22]

Şekil 2.10'nun üst kısmında, parçacık kinetik enerjisi  $E = \frac{1}{2}(mv^2)$  olan,  $-u$  hızıyla hareket eden manyetik buluta,  $v$  hızıyla gelen bir yüklü parçacık modeli ele alınmıştır. Modelde parçacık hızı bulut çerçevesinde  $v+u$  iken, bulut çerçevesinin aksine döndüğünde olmaktadır [22]. Parçacık hızı laboratuvar çerçevesinde  $-v-2u$  olmakta parçacığın kinetik enerjisi;



$$E_1 = \frac{1}{2}m(-v - 2u)^2 = \frac{1}{2}m(v^2 + 4u^2 + 4uv) \quad (2.6)$$

olur. Enerji kazancı ise;

$$\Delta E_1 = E_1 - E_0 = \frac{1}{2}m(4u^2 + 4uv) \quad (2.7)$$

olmaktadır.

Şekil 2.10'nun alt kısmında ise,  $v$  hızıyla gelen parçacık aynı yönde  $u$  hızıyla hareket eden manyetik bulutla karşılaşabilir. Oluşturulan modelde parçacık hızı bulut çerçevesinde  $v - u$  iken, bulut çerçevesinin aksine döndüğünde  $-(v - u)$  olmaktadır. Parçacık hızı laboratuvar çerçevesinde  $-v + 2u$  olmakta ve parçacığın kinetik enerjisi;

$$E_2 = \frac{1}{2}m(-v + 2u)^2 = \frac{1}{2}m(v^2 + 4u^2 - 4uv) \quad (2.8)$$

olur. Enerji kazancı ise;

$$\Delta E_2 = E_2 - E_0 = \frac{1}{2}m(4u^2 - 4uv) \quad (2.9)$$

olmaktadır. Parçacık hızı bulutun hızından büyük ( $v > u$ ) olursa, parçacık enerjisini kaybeder. Parçacık enerji kaybettiği için enerji kazancı  $\Delta E_2$  negatif olmaktadır. Eğer parçacık hızı bulut hızından küçük ( $v < u$ ) ise parçacık manyetik bulutu geçemez.  $v \gg u$  olursa, parçacık kafa kafaya çarpışma ve arka uç çarpışması gerçekleştirir [22]. Bunlardan elde edilen enerji kazancı ise;

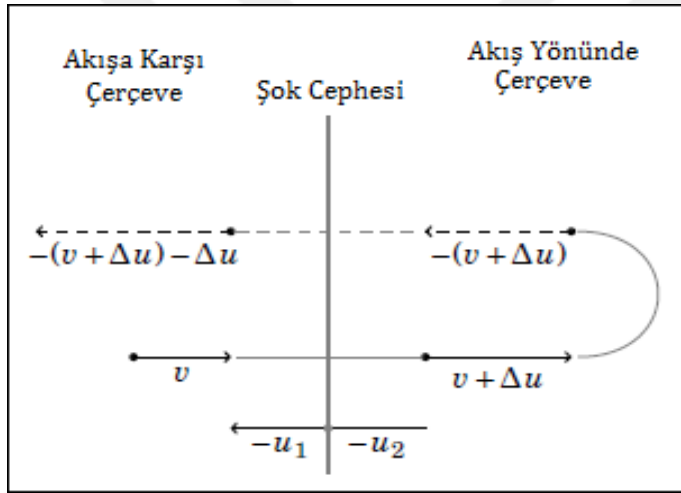
$$\frac{\Delta E_1 + \Delta E_2}{E_0} = \frac{\frac{1}{2}m(8u)^2}{\frac{1}{2}mv^2} = 8 \frac{u^2}{v^2} \quad (2.10)$$

Bu ivmeye ikinci dereceden Fermi ivmesi denilmektedir, çünkü manyetik bulut hızının karesi ile orantılıdır. Parçacıklar manyetik buluttan kaçabilirler. Çarpışma başına enerji kazancı ve başka bir çarpışma olasılığının olma ihtimaliyle spektrum bir güç yasası ile

hesaplanabilir. Buradaki spektral indeks, manyetik bulutun hızına ve parçacığın hızlanma bölgesinden kaçabilecekleri ihtimaller ile sınırlıdır [22].

### 2.6.2. Şok ivmelenme düzeneği

Süpernova patlamalarında yüksek hızlarda yıldızlar arası madde ortama saçılmaktadır. Böylelikle, yıldızlar arası maddenin yoğunluğu, basıncı ve ısısı artarak maddeyi dışa doğru sürükleyerek, şok dalgası oluşturur. Yıldızlararası madde ve yıldız bir plazma olduğundan, şok dalgasına neden olan plazmadaki çarpışmalar değil, elektromanyetik alandır. Parçacık yoğunluğu çok düşük olduğundan parçacık ve madde çarpışamaz [22].



Şekil 2.11. Şok ivmelenme oluşumu [22]

$v$  hızıyla giriş çerçevesine gelen parçacık, şok cephesinde akışa karşı  $-u_1$ , akış yönünde de  $-u_2$  ile hareket etmekte ve akış yönünde yansımaktadır ve çerçevede parçacık hızı değişmeden kalır. Bu nedenle, parçacık enerji ve hız kazanmış olarak yoluna devam eder. Şekil 2.11'de, akışın yukarı olduğu durumda gaz;  $u_1$  hızıyla ve  $\rho_1$  yoğunluğuyla akar, akış yönünde gaz; yüksek  $\rho_2$  yoğunluğunda  $u_2$  hızı hesaplanabilmektedir. Şok cephesi önemsiz olduğundan, rastgele ileri akan madde ön taraftan çıkar [22]. Bu yüzden,

$$\rho_1 u_1 = \rho_2 u_2 \quad (2.11)$$

$\rho_1 > \rho_2$  durumunda  $u_2 < u_1$  olmakta ve  $\Delta u = u_1 - u_2$  pozitif olmaktadır. Bu durum ikinci dereceden Fermi ivmelenmesine benzemektedir, parçacık şok cephesinden geçebilmekte ve

geçerken gazın içerisindeki manyetik alanlardan sapmaktadır. Hız şok cephe hızından büyük olursa, şok cephesinden tekrar geçebilir ve kinetik enerjisi;

$$E_1 = \frac{1}{2}m(-v - 2\Delta u)^2 = \frac{1}{2}m(v^2 + 4\Delta u^2 + 4v\Delta u) \quad (2.12)$$

olur. Enerji kazancı ise;

$$\Delta E_1 = E_1 - E_0 = \frac{1}{2}m(4\Delta u^2 - 4v\Delta u) \quad (2.13)$$

olmaktadır. Fermi ve şok ivmesinin farkı; birbirinden ayrılabilen şok dalgalarının birbirleriyle karşılaşma olasılıklarının sıfır olmasıdır. Manyetik bulutların tersine, dışarı doğru davranış gösteren şok dalgası tek tarafa ilerlemektedir. Göreceli enerji kazancı;

$$\frac{\Delta E_1}{E_0} = \frac{\frac{1}{2}m(4\Delta u^2 + 4v\Delta u)}{\frac{1}{2}mv^2} = 4\left(\frac{\Delta u^2}{v^2} + \frac{\Delta u}{v}\right) \quad (2.14)$$

olur.  $v \gg \Delta u$  olduğunda,

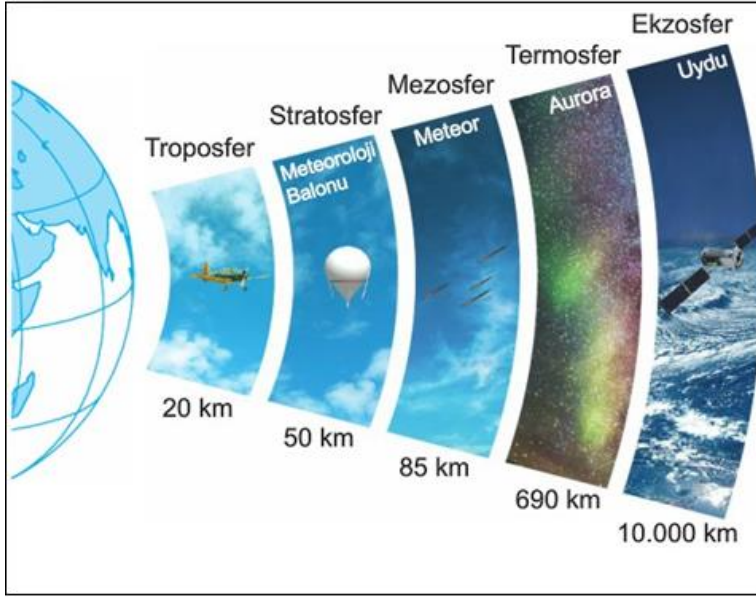
$$\frac{\Delta E_1}{E_0} \sim \frac{4\Delta u}{v} \quad (2.15)$$

Şok cephesindeki plazmanın manyetik alanı ve parçacık hızının şok hızından büyük olmasından ötürü, çoğu kez parçacık şok cephesini geçer. Şok ivmelenmesine kimi zaman birinci dereceden Fermi ivmesi de denilmektedir ve kozmik ışınların üretilmesi için ilk prosedür olduğu düşünülmektedir [22].



### 3. DÜNYA ATMOSFERİ ve KATMANLARI

Atmosfer, uyduları çevreleyen ve yerçekimiyle tutulan bir gaz karışımıdır. Atmosfer kimyasal bileşim, ısıl özellikler, akım ve yoğunluktaki değişimler neticesinde bölgelere ayrılır.



Şekil 3.1. Atmosfer katmanlarının sıralanışı

Troposfer; atmosferin en alt ve en yoğun katmanı, yüzeyden başlayarak yaklaşık olarak 8 ile 14,5 kilometre kadardır. Yerkürede bulunan tüm hava olayları bu katmanda gerçekleşir. Yerçekimi nedeniyle havanın yoğunluğu irtifa arttıkça azalmaktadır.

Stratosfer; troposferin bittiği noktadan başlayan ve 50 kilometre kadar uzanan katmandır. Oksijeni ozona çeviren reaksiyon bu katmanda gerçekleşir. Güneş'ten kaynaklanan ultraviyole radyasyona koruma sağlar. Bu katmanda sıcaklık irtifa ile artmaktadır.

Mezosfer; yaklaşık olarak 85 kilometre yüksekliktedir. Çoğu göktaşı bu katmanda buharlaşır ve göktaşı kalıntıları mezosferde bazı element derişimlerinin fazla olmasına sebep olur.

Termosfer; yaklaşık olarak yer yüzeyinden 600 kilometre yüksekliktedir. Güneş'ten gelen ultraviyole ve x-ışını radyasyonları bu katmanda emilerek, atmosferin ısısı yükselir. Auroralar bu katmanda gözlenir.

İyonosfer; Mezosfer ve termosfer katmanlarının içine gömülmüş bölgedir. Yaklaşık olarak 48 kilometre yükseklikten başlayıp, 965 kilometreye kadar uzanan ve iyonize atom, molekül ve elektronlardan oluşan tabakadır. Radyo haberleşmede önemlidir.

Ekzosfer; atmosferin üst sınırıdır. Termosferin sonundan 100 000 kilometreye kadar uzanan tabakadır [32].

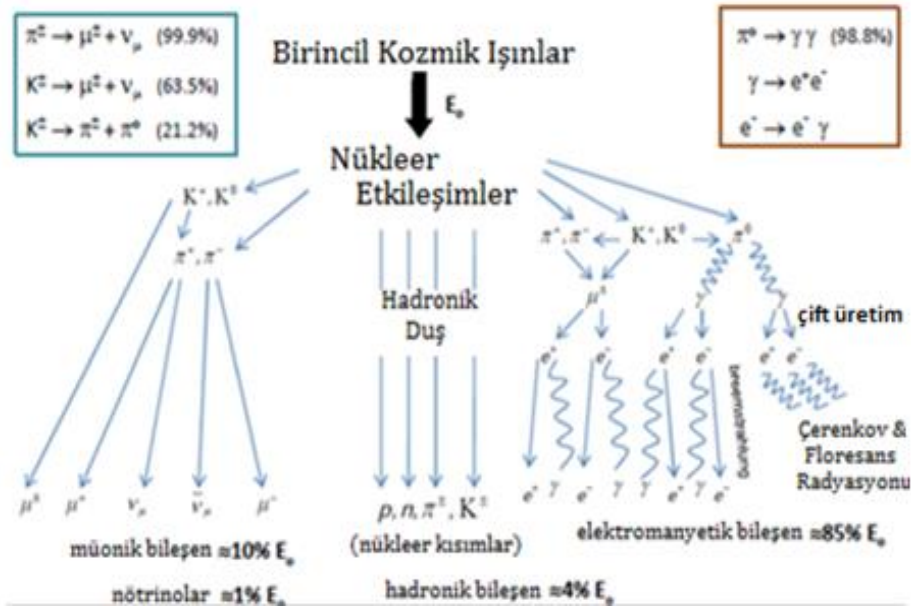
### **3.1. Atmosferin Kimyasal Bileşimi**

Atmosfer farklı nicelikte farklı gazların karışımı, su buharı ve toz parçacıklarından oluşur. Havada bulunan moleküllerin yaklaşık %78'i azot ( $N_2$ ), %21'i oksijen ( $O_2$ ), %0,9'u argon (Ar) ve %0,1'i karbondioksit ( $CO_2$ ) ve diğer gazlardır.

#### 4. KAPSAMLI HAVA DUŞLARININ YAPISI

Yüksek enerjili kozmik ışınlar atmosfere geldiğinde ortam maddeleri ile etkileşime girer [16]. Birincil parçacıkların ortam maddeleri ile nükleer etkileşimleri sonucunda ikincil parçacıklar meydana gelir. Bu süreçte, birincil parçacıkların artan enerjisiyle ikincil parçacıklar da artış gözlenir. Parçacık üretimi parçacık enerjisi tükenene kadar sürer [33].

Hava duşları iki bileşen ile tanımlanabilir. Bunlardan ilki elektromanyetik (yumuşak), ikincisi ise müonik ve hadronik (sert) bileşendir. Ek olarak, enerjiye katkısı çok az olan Cherenkov ve Floresans fotonları da mevcuttur [34]. Şekil 4.1 kapsamlı bir hava duşunun bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 4.1. Kapsamlı hava duşunun bileşenleri [3]

Hava duşunda, toplam enerjinin çoğunluğunu ve duşun en geniş bileşenini elektromanyetik bileşen oluşturur. Yüklü pionlar ise duşta bozunma oranı yüksek olan bileşendir [3]. Çizelge 4.1'de parçacıkların bir kısmının bazı özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Parçacıkların sınıflandırılması [35]

Sınıf	İsim	Sembol	MeV	Kütle (u)	Ortalama Ömür (s), Bozunma modu
Foton	Foton Gama	$h\nu$ $\gamma$		0	Kararlı Kararlı
Baryon	Nötron Proton	n p	939,6 938,3	1,008665 1,007276	889, $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$ kararlı
Lepton	Müon Elektron kararlı Nötrino	$\mu^-$ $e^-$ $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$	105,6 0,511	0,113366 0,000548	$2 \times 10^6, \mu^- \rightarrow e^- + \nu_e$ $+ \nu_\mu$
Mezon	K-mezon (Kaon) $\pi$ -mezon (Pion)	$K^+, K^-$ $\pi^+, \pi^0, \pi^-$	493,7 139,6	0,530009 0,149867	$\approx 10^{-8}, K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ , $\pi^+ + \pi^0$ $\approx 10^{-8}, \pi^- + \mu^- \nu_\mu$

#### 4.1. Elektromanyetik Duş

Hava duşu, elektron ve fotonlardan oluşuyorsa elektromanyetik duş meydana getirir. Duşun en önemli bileşenidir. Duş, kozmik ışın foton ve elektronlarıyla veya hadronik etkileşim sonucu oluşan elektron ve fotonlarla başlatılır. Çift oluşum ve Bremsstrahlung yüksek enerjilerde etkindir.

Bremsstrahlung

$$e^\pm \rightarrow e^\pm + \gamma \quad (4.1)$$

ve çift oluşum

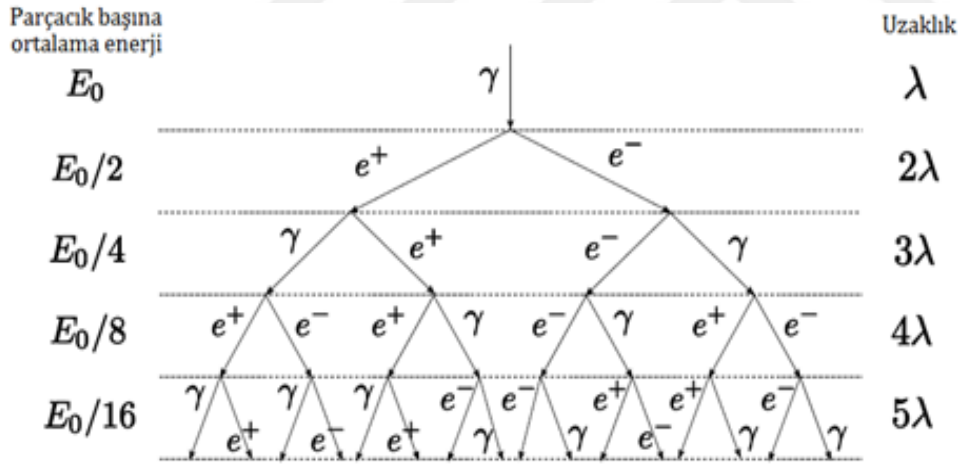
$$\gamma^* \rightarrow e^- + e^+ \quad (4.2)$$

yukarıdaki gibi ifade edilir [22]. Parçacık sayısındaki değişikliğe bağlı olarak parçacık başına ortalama enerji değişmektedir. Yani parçacık sayısı artarsa enerji azalır [33]. Elektronlar düşük enerjide iyonizasyon nedeniyle enerjilerini kaybeder ve bu enerjiye kritik enerji  $E_c$  denilmekte ve havada  $E_c \sim 86 \text{ MeV}$  olarak kabul edilmektedir. Kritik enerjide duş maksimum sayıda parçacığa ulaşmıştır. Duş maksimum seviyeye ulaştığında iki parametre dikkat çekmektedir. Bunlar;  $X_{\max}$  elektromanyetik duşun geldiği maksimum sınırı yani atmosferik derinliği ve  $N_{\max}$  elektromanyetik duştaki parçacıkların maksimum



sayısıdır. Burada  $X_{\max}$  hassas bir şekilde birincil kozmik ışın bileşimine ve enerjisine bağlı olarak değişir [23, 36, 37]. Elektromanyetik duşun, davranışlarını ve birincil kozmik ışınların  $X_{\max}$  ve  $N_{\max}$  parametreleriyle bağlantısını açıklamak için Heitler bir model geliştirmiştir. Modeli açıklamak için iki hipotez önermiştir. İlk hipotez, duşun bir noktasındaki enerji dağılımı parçacıklar arasında eşittir. İkinci olarak, yüksek enerjide bremsstrahlung ve çift oluşumun ışının süresi yaklaşık olarak aynı kabul edilir ve bu reaksiyonların gerçekleştiği uzaklık  $\lambda$  ile tanımlanır.

Bir  $\gamma$  ışınının  $E_0$  enerjisiyle duşu başlattığını varsayarak ve her  $\lambda$  mesafesinde etkileşim gerçekleştirdikten sonra  $E_0 / 2$  enerjili bir çift elektron ve pozitron üretmektedir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, bu parçacıklar bremsstrahlung yoluyla tekrar foton yayınlamaya  $\gamma$  ışını oluştururlar ve  $E_0 / 4$  enerjili dört parçacık oluşturur. Bu parçacıklar iki  $\gamma$ , elektron ve pozitronur. Her bir etkileşimden sonra parçacık sayısı artarken, enerjide azalma gözlenmektedir [34, 38].



Şekil 4.2. Heitler modeli [38]

Duşun  $x$  derinliğindeki etkileşim sayısı  $m = x / \lambda$  ile verilirse parçacık sayısı,

$$N(x) = 2^m = 2^{x/\lambda} \quad (4.3)$$

olur ve parçacık başına enerji,

$$E(x) = E_0 / 2^{x/\lambda} \quad (4.4)$$

ile verilerek, parçacık üretimi kritik enerji  $E_c$  ve bu enerjiden daha az olana kadar sürer.  $x = X_{max}$  ise, kritik enerji  $E_c$ 'nin altında parçacık sayısı azalır.

$$N(x_{max}) = N_{max} = \frac{E}{E_c} \quad (4.5)$$

Denklemlerin yerlerine yazılmasıyla  $x$  ile enerji arasında şu ilişki vardır;

$$X_{max} = \lambda \frac{\ln(E/E_c)}{\ln 2} \quad (4.6)$$

$X_{max}$  ile parçacık enerjisi arasındaki ilişkiye uzama miktarı denilmektedir. Duşu başlatan parçacık  $\gamma$  parçacığı olursa, duşta bulunan hadronik çekirdek bozunarak bir proton ve iki  $\gamma$  oluşturarak nötr pionları üretmektedir. Duştaki nükleonlar kendi alt duşlarındaki nükleonlar aracılığıyla etkileşerek,  $E_0$  enerjisini nükleonlar arasında paylaşır.

$$X_{max} \propto \log_{10}\left(\frac{E_0}{E_c A}\right) \quad (4.7)$$

Bu denklemde, duşu başlatan parçacığın kimyasal bileşimine bağlı olarak bir A kütleli nükleon atmosfere girdiğinde A alt duşlarını üretir. Böylece, duş gelişimi gözlemlenerek parçacıkların belirlenebileceğini göstermektedir [36, 38].

## 4.2. Hadronik Duş

Hadronik duş, kozmik ışın protonunun atmosferde ilerlerken meydana getirdiği etkileşimler sonucunda oluşur. Hadronik etkileşimler, pion, kaon gibi mezonları oluşturur. Denklem 4.8'de pionlar ( $\pi$ ) ve kaonların (K) oluşumları gösterilmektedir.



$\Delta^+$  rezonansı, bir proton, nötron ve pion olabilir. Pionlar aşağıda bozunum mekanizmaları verilen müon, elektron, foton ve nötrinoya bozunurlar [22].

$$\begin{aligned}
\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\
\pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \\
\pi^0 &\rightarrow \gamma + \gamma
\end{aligned}
\tag{4.9}$$

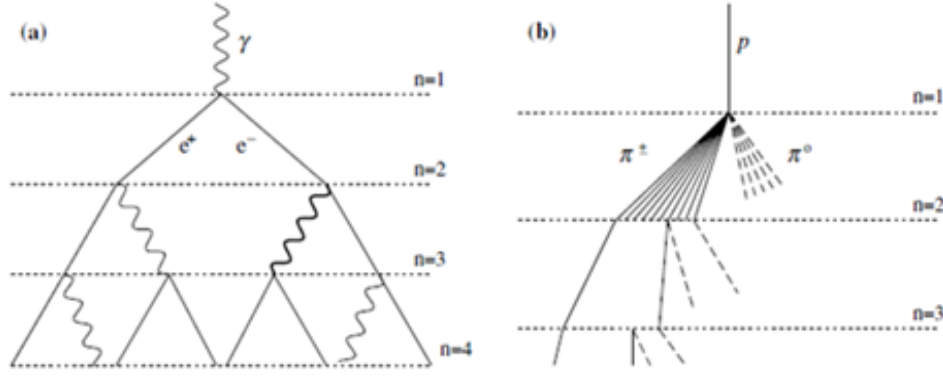
Pionların bozunum mekanizmaları denklem 4.9'da ifade edilmektedir. Pozitif yüklü pion ( $\pi^+$ ) bozunumundan; pozitif yüklü müon ( $\mu^+$ ), müon nötrino ( $\nu_\mu$ ), negatif yüklü pion ( $\pi^-$ ) bozunumundan; negatif yüklü müon ( $\mu^-$ ), müon antinötrino ( $\bar{\nu}_\mu$ ) ve yüksüz pion bozunumundan ise iki gama fotonu meydana gelmektedir.

Kaonlar ise, başlıca pionlara, müonlara, elektronlara ve nötrinolara bozunur. Rölativistik enerjide zaman genişlemesinden dolayı pion ve kaon bozunum süreçleri geç gerçekleşir. Böyle bir enerjide madde ile etkileşimler parçacık bozunuma uğramadan oluşabilir [22].

Yüksüz pionlar bozunarak elektromanyetik duşlara sebep olan gama fotonlarını oluşturur. Elektromanyetik duşlara sebep olan diğer bir kaynak ise müon bozunumundan oluşan elektron ve pozitronlardır [34].

$$\begin{aligned}
\mu^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_e \\
\mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e
\end{aligned}
\tag{4.10}$$

Denklem 4.10, müonların bozunum mekanizmalarını göstermektedir. Negatif yüklü müon ( $\mu^-$ ) bozunumundan; elektron ( $e^-$ ), elektron antinötrinosu ( $\bar{\nu}_e$ ) ve pozitif yüklü müon ( $\mu^+$ ) bozunumundan; pozitron ( $e^+$ ) ve elektron nötrinosu ( $\nu_e$ ) meydana gelmektedir.



Şekil 4.3. Hava duşu kaskad modeli. (a) Elektromanyetik kaskad. (b) Hadronik duşun şematik gösterimi. Hadron duşundaki kesikli çizgi nötr pionu, düz çizgi ise yüklü pionları göstermektedir [39].

Şekil 4.3. (b)'de gösterildiği gibi hadronik duş için elektromanyetik duştaki Heitler modeline benzer bir model Matthews tarafından geliştirilmiştir. Hadronlar etkileşime girerek duş boyunca ilerledikçe  $N_{ch}$  yüklü pion ve  $\frac{1}{2} N_{ch}$  nötr pion oluşturur. Nötr pion fotonları oluşturarak elektromanyetik duşa katkı sağlamaktadır. Yüklü pionlar ise etkileşime girerek enerji değerleri kritik enerjinin altına düşene kadar yollarına devam ederler [39].

Yaklaşık  $\lambda_{ine}$  hadronik etkileşim uzunluğunda yüklü parçacık enerjisi,  $E_{dec}$  enerjisinden fazla olduğunda parçacıklar hava molekülleriyle yeniden etkileşir. Parçacık enerjisi  $E_{dec}$ 'den az olduğunda parçacıklar bozunmaya başlar ve hadronlar müon üretir. Hadronik etkileşimlerde, enerjinin  $1/3$ 'ü nötr pionların bozunmasıyla elektromanyetik duşa transfer edilir.

Hadronik duşun derinliği elektromanyetik parçacıklarla tayin edilir. Duştaki müon sayısı ilk enerjiye, hava yoğunluğuna ve hadronik etkileşimlerdeki toplam ve farklı yüklü parçacıklara bağlı olarak değişir. Hadronlar, elektromanyetik parçacıklara göre rahat bir yayılım gösterir, nötr pion bozunumundan üretilen fotonların ise elektromanyetik parçacık yayılımını Coulomb saçılması ile sınırlandırılır [37].

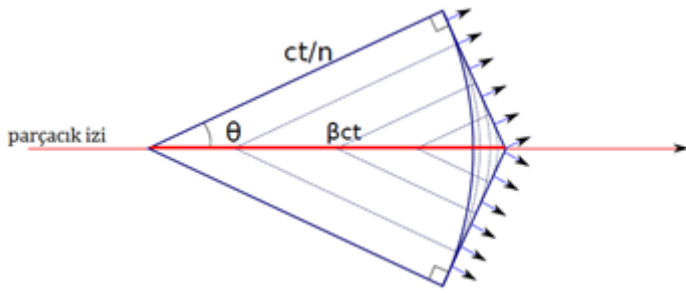
### 4.3. Cherenkov Etkisi

Yüklü parçacık, bir ortamı geçerken ışık hızından yüksek bir hıza sahipse Cherenkov ışığı yayınlar.

$$v > \frac{c}{n}, \beta = \frac{v}{c} > \frac{c}{n} \quad (4.12)$$

Işık, bir koni içerisinde ilerlerken denklem 4.13'de verilen  $\theta$  başlangıç açısıyla oluşturulur ve  $n$  ortamın kırılma indisini ifade etmektedir.

$$\cos \theta = \frac{c}{nv} = \frac{1}{n\beta} \quad (4.13)$$



Şekil 4.4. Cherenkov etkisi [23]

Işık oluşumu, Cherenkov radyasyonunu yayınlaması için gerekli olan en düşük enerji ile nitelendirilir ve aşağıdaki denklem ile açıklanır [23].

$$E_{th} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(1/n)^2}} \quad (4.14)$$

### 4.4. Floresans Etkisi

Floresans etkisinde, dedektörler aracılığıyla kozmik ışınlar algılanır. Buradaki dedektörlerin görevi, hava duşunun uzunlamasına gelişimini kontrol etmektir. Hava duşundaki parçacıklar atmosferdeki azot atomlarıyla etkileşimleri sonucunda ultraviyole (UV) floresans fotonları yayınlar [36].

#### 4.5. Kozmojenik Radyonüklit

Kozmik ışınların atmosferdeki çekirdekler ile etkileşimi neticesinde, bir dizi radyonüklitler üretir. Üretim en yoğun üst stratosferdedir, yalnız birtakım enerjik kozmik ışın parçacıkları alt atmosfere gelerek kozmojenik radyonüklitleri meydana getirebilir. Üretim; yükseklik, enlem, dünyanın manyetik alanı ve solar modülasyon gibi etkenler tarafından etkilenir. Çizelge 4.2’de UNSCEAR 2000 raporuna göre atmosferdeki kozmojenik radyonüklit oranları verilmiştir [2].

Çizelge 4.2. UNSCEAR 2000 raporuna göre atmosferdeki kozmojenik radyonüklit oranları [2]

Radyonüklit	Üretim Oranı		Global Envanter (PBq )	Troposferdeki Miktar	Troposferdeki Konsantrasyon (mBq m <sup>-3</sup> )
	Birim Alan Başına atom (m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Yıllık Miktar (PBq a <sup>-1</sup> )			
<sup>3</sup> H	2 500	72	1 275	0,004	1,4
<sup>7</sup> Be	810	1 960	413	0,11	12,5
<sup>10</sup> Be	450	0,000064	230	0,0023	0,15
<sup>14</sup> C	25 000	1,54	12 750	0,016	56,3
<sup>22</sup> Na	0,86	0,12	0,44	0,017	0,0021
<sup>26</sup> Al	1,4	0,000001	0,71	7,7 x 10 <sup>-8</sup>	1,5 x 10 <sup>-8</sup>
<sup>32</sup> Si	1,6	0,00087	0,82	0,00011	0,000025
<sup>32</sup> P	8,1	73	4,1	0,24	0,27
<sup>33</sup> P	6,8	35	3,5	0,16	0,15
<sup>35</sup> S	14	21	7,1	0,08	0,16
<sup>36</sup> Cl	11	0,00013	5,6	6 x 10 <sup>-8</sup>	9,3 x 10 <sup>-8</sup>
<sup>37</sup> Ar	8,3	31	4,2	0,37	0,43
<sup>39</sup> Ar	56	0,074	28,6	0,83	6,5
<sup>91</sup> Kr	0,01	1,7 x 10 <sup>-8</sup>	0,005	0,82	0,0012

## 5. YER SEVİYESİNDE KOZMİK RADYASYON

Kozmik ışın parçacıklarının yer yüzeyine ulaşmayı başarabilmesi için jeomanyetik alan ve karasal atmosfer bariyerlerini geçmesi gerekmektedir. Yüksek enerjiye sahip kozmik parçacıklar, Lorentz kuvvetinin etkisiyle jeomanyetik alan bariyeri parçacıkların yönünü saptırır. Kozmik bir parçacık jeomanyetik alan bariyerini geçebilirse, parçacıklar karasal atmosferle karşılaşarak gerçekleştirdiği etkileşimler sonucunda, bazı parçacıklar yer seviyesine ulaşabilmektedir [40]. Kozmik parçacıkların atmosferdeki moleküllerle etkileşmesiyle oluşan parçacıkların yer yüzeyine ulaşması için yüksek enerjilere sahip olması gerekir. Bu yüksek enerjili parçacık, alt atmosferde parçacık akısına katkıda bulunur [41].

Atmosferin üst kısımlarında birincil kozmik parçacıklar nedeniyle genellikle proton ve elektronlar mevcutken, deniz seviyesine doğru genellikle duşlar tarafından oluşturulan müon ve nötrinolar bol bulunan parçacıklardır.

Birincil kozmik parçacık olan proton ve alfa parçacıklarının atmosferdeki hava molekülleri ile etkileşimi sonucu oluşturulan pion ve yüklü mezonların (örneğin; kaon) bozunumundan müon ve nötrinolar üretilir. Bozunum mekanizmaları aşağıdaki gibidir. Müon bozunumlarından da nötrinolar üretilir [42].

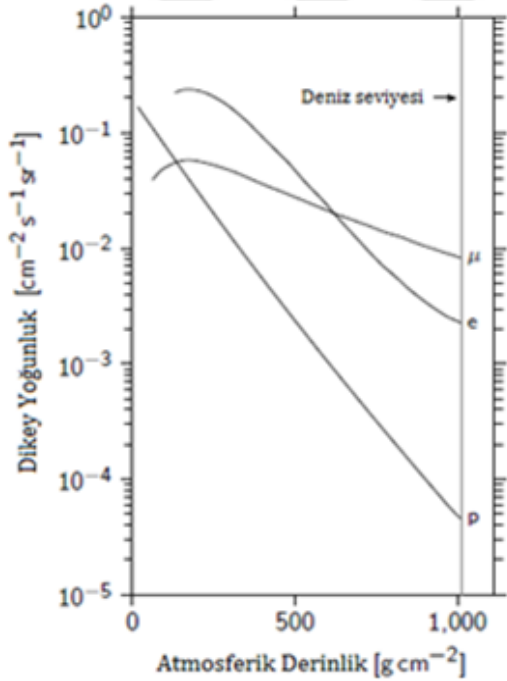


Müonlar, lepton sınıfından ikinci nesil temel parçacıklardandır. Kütleleri elektron kütlesinin yaklaşık 200 katı ve  $105,658 \text{ MeV} / c^2$ 'lik bir kütleyle sahip oldukları bilinmektedir. Yaklaşık olarak ömürleri  $2,2 \mu\text{s}$ 'dir. Müonların ikincil parçacıklara bozunumları aşağıdaki gibi gerçekleşir.



Müonların nüfuz etme gücü yüksektir, atmosferin üst kısımlarında üretilen yüksek enerjili müonlar göreceli hız nedeniyle yer seviyesine ulaşabilmektedir.

Müonlar, Compton saçılması, iyonlaşma ve Bremsstrahlung nedeniyle enerjilerini kaybedebilirler. Elektronlardan Bremsstrahlung nedeniyle daha az enerji kaybederek, deniz seviyesine ulaşmaları elektronlara göre daha olasıdır. Sonuçta, deniz seviyesine ulaşabilen parçacıkların %80'ini müonlar oluşturur. Şekil 5.1'de yaklaşık  $1 \text{ cm}^{-2} \text{ dk}^{-1}$ 'lik bir akıyı oluşturan müon, elektron ve proton bileşimleri gösterilmektedir [22].



Şekil 5.1. Atmosferik derinliğe bağlı olarak parçacıklar [22]

Müonlar TeV enerji değerinin altında enerjilerini iyonlaşma yoluyla kaybederler. Bu iyonlaşma kaybı Bethe – Bloch denklemi ile açıklanabilir.

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



Denklem 5.3'de,  $E$  parçacığın enerjisi,  $m_e$  elektron durgun kütlesi,  $n_e$  elektron yoğunluğu,  $z_e$  parçacık yükü,  $I$  uyarılma potansiyeli,  $\epsilon_0$  elektriksel yük geçirgenliği,  $x$  uzaklık ve  $\beta = v/c$  olarak tanımlanmaktadır. Hadronik duşlar tarafından oluşturulan bir nükleon akısı deniz seviyesinde mevcuttur. Birincil kozmik parçacık nükleonlarının deniz seviyesine ulaşma ihtimali azdır. Elektromanyetik duşlar tarafından oluşturulan foton, elektron, pozitron gibi parçacıkların akıları müon akısından daha azdır [22].

### 5.1. Nötron Radyasyonu

Birincil kozmik parçacıkların reaksiyonlarının sonucunda ve 1 GeV enerjiden daha yüksek enerjilerde üretilir. Nötronlar yüksüz parçacıklar oldukları için etkileşimleri sonucunda enerjilerini kaybetmeden yollarına devam ederler fakat çarpışmalar sonucunda enerjilerini kaybederler. Birtakım nötronlar ise, izotop oluşumuna ve nötron yakalama olaylarına katkı sağlar. Birincil kozmik parçacıklar atmosferin stratosfer katmanında nötron akısı oluşturur. Çok yüksek enerjili birincil kozmik parçacık olan nötronlar yer seviyesinde bir radyasyon dozu meydana getiremez. Kesitlerinin geniş olmasından dolayı, üst atmosferde uçuş yüksekliklerinde ciddi bir tehdit oluşturabilmektedirler [43].



## 6. KOZMİK RADYASYON DOZU VE ETKİLERİ

### 6.1. Radyasyon Dozu

Radyoaktivite ve etkilerini ölçebilmek için çeşitli birimler tanımlanmıştır. Radyasyon sebebiyle maruziyet sonucu oluşan doz miktarı, Röntgen (R) ile ölçülmekte ve absorbe edilen dozun birimi ise rad'dır. Röntgen STP (Standard Temperature and Pressure) tanımında, havada kg başına coulomb cinsinden,  $1 R = 2.58 \times 10^{-4} C / kg$  hava ile ifade edilmektedir. Absorbe edilen doz birimi Gray (Gy)'dir. Rad'ın SI birim sistemindeki değeri Gray'dir. ICRU (Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu) SI birim sisteminin kullanılması gerektiğini savunmaktadır. Gray ve Rad birimleri aşağıdaki gibi dönüştürülebilir.

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

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

Çeşitli biyolojik etkilere sebep olan eşdeğer doz birimi rem ve SI birim sistemindeki karşılığı da Sievert (Sv)'dir. Rem, iyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik açıdan vücut dokularına etkisinden dolayı oluşturulmuştur. Eşdeğer doz, radyasyon tiplerinin farklılıkları ve bunların biyolojik açıdan etkileri dikkate alınarak vücut tarafından absorbe edilen enerjiyle orantılı dozimetrik değerdir.

Radyasyon dozunda radyasyon çeşitleri ve enerjileri de dikkate alınarak, temel olarak radyasyon tehlikesini açıklayabilmek için bir kalite faktörü (QF) olarak da bilinen bir etki faktörü ( $w_R$ ) ile ölçülür. Bu, radyasyonun benzer biyolojik etkiyi gösterebilmesi için gereken doza gama ve x-ışını oranı olarak açıklanabilir. Radyasyon türüne ve enerjisine göre radyasyon etki faktörü çizelge 6.1'de verilmiştir [44].

$$Sv = \text{Absorbe Edilen Doz Gray} \times w_R \quad (6.3)$$

Alınan eşdeğer doz, uygun  $w_R$  etki faktörü ile çarpılarak yukarıdaki formül ile hesaplanabilir. Bir doku tarafından absorbe edilen doz ise;

$$S_v = D_{T,R} \times w_R \quad (6.4)$$

Denklem 6.4'de,  $S_v$  sievert eşdeğer doz,  $w_R$  etki faktörü ve  $D_{T,R}$  ise doku tarafından absorbe edilen doz eşdeğeridir [44].

Çizelge 6.1. Radyasyon etki faktörü [2]

Radyasyon türü	Enerji aralığı	Radyasyon etki faktörü $w_R$
Foton, elektron, müon	Tüm enerjilerde	1
Nötron	< 10 keV, > 20 MeV	5
Proton	> 2 MeV	5
Nötron	10 – 100 keV, 2 – 20 MeV	10
Nötron	0,1 – 2 MeV	20
Alfa parçacığı, fizyon parçaları, ağır çekirdekler	Tüm enerjilerde	20

## 6.2. Kozmik Radyasyonun İnsan Sağlığına Etkileri

Dünya yüzeyindeki her organizma doğal kaynaklardan gelen iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalır. İyonlaştırıcı radyasyon atom ve molekülden elektron koparabilecek enerjiye sahiptir. Hücrelere zarar vererek DNA'nın molekül yapısını bozar. Uzun süre maruz kalınması sonucunda riskler artmakta ve sağlıkla ilgili çeşitli sebeplere yol açmaktadır [43].

İnsanların maruz kaldığı radyasyon oranları yaklaşık olarak; kozmik radyasyon (%17), radon (%49), vücut içi ışınlama (%13) ve gama ışınları (%21)'dir [45].

Temel olarak iki doğal radyasyon kaynağı vardır. İlki uzaydan atmosfere gelen kozmik ışınlardır. İkincisi ise Dünya'da bulunan kısa yarı-ömürlü radyoizotoplar ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{14}\text{C}$ ) tarafından yayılan gama-ışınlarıdır.

Uluslararası Radyasyondan Korunma Konseyi (ICRP) ve Ulusal Radyasyondan Koruma ve Ölçme Konseyi (NCRP) aracılığıyla belirlenen kozmik radyasyon maruziyetiyle ilgili doz sınırları mevcuttur. Radyasyon doz sınırları, yılda 20 mSv'lik mesleki doz ve kamu için 1 mSv'lik bir doz olarak belirlenmiştir. Diğer kuruluşlar da bu konseylerin belirlediği maruziyet değerlerini uygulamaktadırlar [46]. UNSCEAR 2000 raporunda, ortalama yıllık kozmik radyasyona maruz kalma dünya çapında zemin düzeyinde 0,38 mSv / y ve etkin doz 2,4 mSv / y'dir.

Kozmik radyasyon dozunu etkileyen faktörler vardır. Bu faktörler; Dünya'nın manyetik alanı, solar rüzgarlar, uçuş süresi, enlem ve yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Atmosferde troposferden ekzosfere doğru radyasyon dozu artış gözlenirken, kutuplardan ekvatora doğru radyasyon dozunda azalma mevcuttur.

Manyetik alan atmosferin üst kısımlarında yoğunluğu azaltırken, manyetik alanın şekline göre düşük jeomanyetik enleme sadece yüksek enerjili parçacıklar etki eder. Bu "jeomanyetik enlem etkisini" meydana getirerek, ekvator bölgesinde minimum, jeomanyetik kutup civarında ise maksimum yoğunluğa ve doz miktarına sebep olur. Kozmik ışın parçacıklarının enerjisine göre (aslında, rijitliğe bakarak) yerküre yakınlarında jeomanyetik alan bir ayırma görevi görür. Parçacıkların jeomanyetik alan nedeniyle istenilen bir noktaya gidemediği yakınlığı tarif eden enerji ve rijitlik arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$E = \sqrt{(RZe/A)^2 + m^2} - m \quad (6.5)$$

Denklem 6.5'de; E GeV enerjiye sahip parçacığın nükleon başına enerjisi, R GV'deki rijitlik, Z GeV enerjideki yük, A atom numarasını ve nükleon kesiti ise m ile temsil edilmektedir. Jeomanyetik enlemler rijitliklerle ayırt edilebilir ve parçacık rijitliği parçacıkların bu enlemlere ulaşmasında etkilidir. Rijitlik az olduğunda enleme ulaşamazlar [1].

$$R_c = 14,9 \cos^4(\lambda) \quad (6.6)$$

Burada  $R_c$  kesme rijitliğini ve  $\lambda$  jeomanyetik enlemi temsil etmektedir. Parçacıkların rijitliği 15 GV'den fazla ve protonların enerjisi 14 GeV'den yüksek ise ekvatorial bölgelere ulaşabilirler. Nötronların ortalama serbest yollarının uzun olması sebebiyle, gerçekleştirdikleri çeşitli etkileşimler neticesinde enerji dağılımları 50 – 500 MeV'de doruğa ulaşır. Enerjideki bu doruk noktası yaklaşık 1 MeV'den düşük olduğunda nükleer de-uyarma (buharlaştırma) meydana getirir. Bu bileşenler, kozmik ışınların maruziyetlerinin açıklanabilmesi için bilinmesi gerekenler arasındadır [1].

Yer seviyesinde müonlar (1 – 20 GeV enerjili) etkin bileşendir ve doğrudan iyonlaştırıcı radyasyondan kaynaklanan hava tarafından absorbe edilebilen doz oranının yaklaşık %80'ini oluşturur. Dozun diğer kısmını müonların etkileşimleri sonucu oluşan veya elektromanyetik duştaki elektronlar meydana getirir. Uçuş irtifalarında proton, nötron, elektron ve fotonların radyasyon dozuna katkıları bulunmaktadır. Doz oranı, jeomanyetik ekvatorunda yüksek olan enlemlere göre daha azdır. Foton ve iyonlaştırıcı bileşenin oluşturduğu doz oranı enlem ile değişiklik gösterirken yalnız bu değişiklik miktarı azdır [1]. Fotonlar ve kozmik radyasyon dozunun çeşitli yüksekliklerde doz oranlarını belirleyebilmek için Bouville ve Lowder'in aşağıdaki formülü kullanılmıştır:

$$\dot{E}_1(z) = \dot{E}_1(0)[0,21e^{-1,649z} + 0,79e^{-0,4528z}] \quad (6.7)$$

Bu denklemde,  $z$  yükseklik (km) ve  $\dot{E}_1(0)$  deniz seviyesindeki dozu simgelemektedir [47]. Nötron bileşeninde ise yükseklik ve enlem doz oranını etkilemektedir. Üst atmosferde proton etkileşimleri sonucu üretilir. Dünyanın manyetik alanından etkilendikleri için ekvatorunda nötron akısı kutup bölgesinden daha düşüktür. Kozmik radyasyonda nötron bileşenine yüksekliğin de bir etkisi söz konusudur. Bunun için de aşağıdaki denklemi kullanabiliriz.

$$\dot{E}_N(z) = \dot{E}_N(0)b_N e^{az} \quad (6.8)$$

Burada,  $\dot{E}_N(0)$  kozmik radyasyon dozu nötron bileşeni ve  $z$  yükseklik (km).  $z < 2$  km;  $b_N = 1$  ve  $a = 1 \text{ km}^{-1}$  ve  $z > 2$  km;  $b_N = 2$  ve  $a = 0,7 \text{ km}^{-1}$ 'dir [1].

İnsan vücudunda mevcut olan bazı elementler ve kozmojenik radyonüklitlerin de ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$  ve  $^7\text{Be}$  izotopları hariç) radyasyon dozuna küçük bir miktar da olsa katkısı mevcuttur. Yıllık ortalama doza,  $^{14}\text{C}$ 'ten  $12 \mu\text{Sv}$ ,  $^3\text{H}$ 'den  $0,01 \mu\text{Sv}$ ,  $^{22}\text{Na}$ 'dan  $0,15 \mu\text{Sv}$  ve  $^7\text{Be}$ 'den  $0,03 \mu\text{Sv}$ 'lik bir ek katkı gelmektedir [1].

Güneş'ten gelen parçacıkların yer yüzeyine ulaşabilen küçük bir kısmı ve fotonlar ultraviyole radyasyonunu (UV) oluşturur, bilhassa UV-B (280 – 315 nm) ve UV-C (100 – 280 nm) olmak üzere iki bileşendir. Atmosfer UV-C bileşeni için bir koruyucu olarak görev alır. UV-B bileşeninin karasal ortam üzerinde etkileri mevcuttur. Yüksek enerjiyle gelen kozmik radyasyon ve fotonların atmosfere etki etmesiyle birlikte oluşan değişiklikler sonucunda stratosfer yüzeyinde ozonu tüketerek, ozon katmanını zayıflatır. Bunun sonucunda UV-B niceliğinde değişiklikler meydana gelir. Fotonlar bir duşu başlatamaz ve galaktik kozmik ışınlar göre enerjileri düşüktür. Fotonlar üst atmosferde iyonize olarak daha fazla UV-B bileşeni üretir ve ozon katmanını tüketirler. Bununla birlikte, gelen birincil parçacığın atmosferde etkileşimleri sonucu ürettiği ikincil parçacıkların canlılar üzerinde etkileri mevcuttur. Ozon katmanı, bu UV-B bileşenini durdurabilir. UV-B radyasyonu DNA molekül yapısını bozarak hastalık risklerini artırır.

Güneş kökenli parçacıklar üst atmosfere ulaşabilir ve verdikleri zarar azdır. Atmosferdeki etkileşimleri sonucunda oluşan ikincil parçacıklar atmosfer tarafından absorbe edilir. Atmosfere ulaşabilen parçacıklar yüksek enerjili galaktik kozmik ışın parçacıklarıdır. Oluşan ikincil parçacıkların küçük bir kesiti Dünya'ya ulaşarak doz oranına katkı sağlar. Daha yüksek enerjili birincil kozmik ışın parçacıkları uzun zaman çizelgelerinde etkili olarak Dünya'ya gelebilirler. Bu radyasyon kaynakları, gama-ışın patlamaları, yakındaki süpernovalar ve aktif güneş proton olayları kozmik ışın akısında artışa ve canlılar üzerinde etkilere sebep olabilir. Dünya'ya yakın bölgelerde gerçekleşen süpernova ve gama-ışın patlamaları sonucunda ortaya çıkan yüksek enerjili parçacıklar kozmik ışın akısını arttırdığından, UV-B ve münların da radyasyon dozuna katkıları artmaktadır [43].







Çizelge 7.1. Orta Karadeniz bölgesi nüfus yoğunluğu [49]

İLLER	Nüfus Yoğunluğu	Yıllık Nüfus Artış Hızı (%)
Amasya	113932	22,8
Çorum	263895	15,1
Ordu	200807	39,1
Samsun	332230	17,2
Sinop	52837	57,6
Tokat	154495	17,4

Çizelge 7.2. Orta Karadeniz bölgesi enlem, boylam ve yükseklik değerleri [49]

İLLER	ENLEM	BOYLAM	YÜKSEKLİK (m)
Amasya	40,6668	35,8353	409
Çorum	40,5461	34,9362	776
Ordu	40,9838	37,8858	5
Samsun	41,3442	36,2564	4
Sinop	42,0299	35,1545	0
Tokat	40,3112	36,5577	611

## 8. KOZMİK RADYASYON DOZUNU HESAPLAMAK İÇİN KULLANILAN SİMÜLASYON PROGRAMLARI

### 8.1. FLUKA Simülasyon Programı

FLUKA, temelde parçacıkların maddeyle etkileşimlerini hesaplamak için geliştirilmiştir. Fortran programlama dilinde yazılmış ve Linux işletim sisteminde kullanılan bir Monte Carlo simülasyon programıdır. İlk olarak 1962 yılında, J.Rant ve H.Geibel tarafından hadron demetleri için yazılmış bir koddur.

FLUKA'nın ilk nesli 1962 – 1978 yılları arasında hızlandırıcılardaki zırhlamayı tasarlamak için geliştirilmiştir. 1978 – 1989 yılları arasında ikinci nesilde, kod yeniden geliştirilmeye başlanmıştır. 1988 yılından itibaren kodun üçüncü nesli geliştirilmeye başlanmıştır. A. Ferrari ve A. Fassó FLUKA programında daha fazla parçacık ve bu parçacıkların etkileşimlerini, enerji aralıklarını genişletebilecek veriler üzerinde çalışmaktadırlar.

FLUKA programı, hızlandırıcılarda zırhlama tasarımında, hızlandırıcı güdümlü sistemlerde, aktivasyon, kozmik ışınlar vb birçok uygulama alanına sahiptir. Ayrıca, ICARUS (ICARUS Neutrino Oscillation Experiment), ADS (Accelerator Driven Systems), LHC (Large Hadron Collider) gibi FLUKA programının kullanıldığı birçok proje mevcuttur. FLUKA simülasyonları yapabilmek için arayüzler kullanılmaktadır. FLUKA ile yaptığımız çalışmada kullandığımız FLUKA simülasyonları için Flair ara yüzü kullanılmıştır [50].

#### 8.1.1. Monte carlo tekniği

Monte Carlo tekniği; istatistiksel bir simülasyon tekniği olarak, analitik çözümü zor olan matematik problemlerinin çözümü için tasarlanmıştır. Monte Carlo, parçacık etkileşimlerini tanımlayarak belli olasılık dağılımlarına sahip olduğunu varsayarak madde içinde yol alabilen parçacıkların izlerini takip etmektedir. Bir probleme Monte Carlo tekniği uygulandığında, rastgele sayılar kullanılarak problem simüle edilir. Monte Carlo

tekniki ile hesaplanmaya çalışılan parametrenin simülasyon sonuçları yardımıyla hesaplanması düşüncesine dayanmaktadır.

Monte Carlo tekniği sayısal olarak kullanmanın asıl amacı, düzgün dağılıma sahip 0 ve 1 arasında değerler alan sayıları kullanarak bir deney veya olayı benzetmek için kullanılır. Rastgele bir sayı dizisiyle değerleri belirlenen bir ölçü ve düzen içinde oluşturur. Rastgele sayı dizisinden herhangi bir sayısının gelme ihtimali diğerlerinden değişik olabilir. İhtimallerin aynı olduğu duruma düzgün dağılımlı rastgele sayılar grubu denilmektedir. Monte Carlo tekniğinde çok fazla sayı gerektiğinden dolayı bu sayılar bilgisayarlar yardımıyla üretilir. Belirli bir sisteme göre oluşturulan sayılar aslında rastgele değildir ancak bu sayıların istatistiksel özelliklerini kapsamaktadır [51].

### 8.1.2. FLUKA'da kullanılan birim sistemi

FLUKA diğer programlara göre kendine özgü bir birim sistemine sahiptir. FLUKA simülasyon programında hesaplama yaparken çizelge 8.1'de bulunan birimler kullanılmaktadır [50].

Çizelge 8.1. Fluka birim sistemi [50]

Uzaklık	cm (yüzey $\text{cm}^2$ , alan $\text{cm}^3$ )
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 / ( $\mu\text{m g} / \text{cm}^3$ )
Doz Eşdeğeri	pSv

### 8.1.3. FLUKA enerji limitleri

FLUKA programında simüle edilen parçacıklar enerjilerine ve çeşitlerine (müon, nötron, yüklü hadron, elektron, antinötron, ağır iyon ve fotonlar) göre sınırlandırılmış olup, çizelge 8.2'de gösterilmektedir [50].

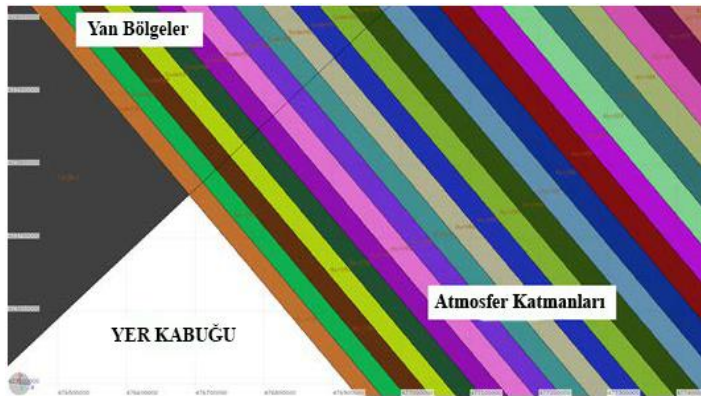
Çizelge 8.2. Fluka enerji limitleri [50]

	İkincil Parçacık	Birincil Parçacık
Yüklü Hadron	1 keV – 20 TeV	100 keV – 20 TeV
Nötron	Termal – 20 TeV	Termal – 20 TeV
Antinötron	1 keV – 20 TeV	10 MeV – 20 TeV
Müon	1 keV – 1 000 TeV	100 keV – 1 000 TeV
Elektron	1 keV – 1 000 TeV	70 keV – 1 000 TeV (Z – düşük) 150 keV – 1 000 TeV (Z – yüksek)
Foton	100 eV – 10 000 TeV	1 keV – 10 000 TeV
Ağır iyon	< 10 000 TeV / n	< 10 000 TeV / n

#### 8.1.4. FLUKA’da kullanılan atmosfer modeli

FLUKA simülasyon programı, dünya ve atmosfer geometrisini 3 – boyutlu olarak oluştururken, stratosferin ötesine yaklaşık 70 km yüksekliğe kadar atmosferi 100 eşit kabağa böler. Bu kabukları da orantılı olarak N, O ve Ar atomlarıyla oluşturulan bir platform ile tanımlamaktadır.

Şekil 8.1’de renkli katmanlar U.S Standart Atmosfer Cetveli kullanılarak oluşturulmuş atmosferin katmanlarını göstermektedir [50].



Şekil 8.1. FLUKA atmosfer katmanları [50]

Çizelge 8.3. U.S. standart atmosfer cetveli [50]

FLUKA Bölgesi	Yükselti (km)	Yoğunluk (g / cm <sup>2</sup> )	FLUKA Bölgesi	Yükselti (km)	Yoğunluk (g / cm <sup>2</sup> )	FLUKA Bölgesi	Yükselti (km)	Yoğunluk (g / cm <sup>2</sup> )
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			

### 8.1.5. FLUKA giriş dosyası oluşturulması

FLUKA, kullanıcı tarafından girilen verileri “.inp” uzantılı bir ASCII dosyasından okur.

Giriş dosyası birden fazla kart ve komut içererek işlem yapma yeteneğine sahiptir.

FLUKA simülasyonunda oluşturulacak giriş dosyasında genel olarak aşağıdaki yol izlenir;

- Oluşturulacak dosyaya bir isim verilir.
- Bir parçacık kaynağı belirtilir.
- Çalışılmak istenilen geometri belirtilir ve geometri oluşturulur. (katı yüzey ve bölgeler gibi)
- Oluşturulan geometride kullanılacak olan element ve bileşikler tanımlanır.

- Bu element ve bileşikler bölgelere atanır.
- İstenilen dedektörler tanımlanır.
- Rastgele bir sayı sistemi oluşturulur.
- Birincil parçacık sayısı tanımlanarak, program başlatılır [50].

FLUKA’da çeşitli dedektörler kullanılmakta ve kartlarla tanımlanarak, çalışılan bölgenin hacmi, parçacıklar tarafından oluşturulan akı, parçacık çeşidi vb konular için dedektör kartları kullanılmaktadır [50].

### 8.1.6. FLUKA kozmik radyasyon

Kozmik radyasyon dozunu hesaplamak için;

- Kozmik parçacıklar ve spektrumun tanımlanması,
- Değişen güneş rüzgarı ve manyetik alanın koşullarının tanımlanması,
- Kozmik parçacıkların manyetik alandan etkilenmesiyle oluşan yörüngelerin tanımlanması,
- Yerkürenin geometrik şekli ve atmosferin FLUKA’da tanımlanması,
- “atmloc\_2011.f” programda kullanıcı tarafından çalışılmak istenilen bölgenin coğrafi özellikleri (enlem, boylam), yükseltisi ve jeomanyetik rijitlik değeri girilerek çalışılmak istenilen bölgenin geometrisi oluşturulur.
- “atmomat.cards” U.S Standart Atmosfer Çizelgesine göre tanımlanan geometri kartı programın içerisinde tanımlanmıştır.
- “atmgeo.cards” dünya geometrisi programda tanımlanmıştır.
- GCR-SPE, SPECSOUR kartı ve hesaplamalarda gerekli olabilecek diğer kartlar tanımlanır.
- Kozmik ışın akısı DPMJET etkileşim modeli programda tanımlanan değerlere kadar simüle edilebilmektedir.
- Veriler FLUKA’da tanımlı olan kartlara tanıtılarak işleme başlanır [50].

## 8.2. EXPACS Simülasyon Programı

EXPACS (EXcel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum), kozmik ışın spektrumunu hesaplamak için tasarlanmış Monte Carlo yöntemini kullanan Excel tabanlı bir programdır. Program atmosferin herhangi bir noktasında nötron, proton, müon, elektron, foton gibi parçacıkların oluşturduğu kozmik ışın akılarını hızlı bir şekilde hesaplayabilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca, kozmik parçacıklardan dolayı maruz kalınan etkin doz hızı, çevre doz eşdeğeri ve absorbe edilen dozu da hesaplayabilme yeteneğine sahiptir [52].

## 8.3. CARI-6 Simülasyon Programı

CARI-6 programı, FAA Sivil Havacılık ve Uzay Tıbbi Enstitüsü tarafından rastgele seçilmiş iki havaalanı için en kısa rotayı kullanarak uçaktaki mürettebatın ve 60 000 feet yükseklikte herhangi bir konumdaki galaktik kozmik radyasyondan aldığı etkin doz hız oranını belirlemek için geliştirilmiş olup, MS WINDOWS XP işletim sisteminde çalışmaktadır.

Program, dünyanın manyetik alanına, güneş aktivitesi değişikliklerine ve uçuş tarihi (ay, yıl) verilerine göre atmosferdeki radyasyon seviyelerini açıklayabilmek için uygun bilgiye sahiptir. Uçuş esnasında girilen yükseklik, enlem ve boylamdaki değişiklikleri dikkate alarak yer seviyesinde kozmik radyasyonun etkin doz hızını hesaplayabilme yeteneğine sahiptir [53].

## 8.4. CARI-7A Simülasyon Programı

CARI-7A programı, FAA Sivil Havacılık ve Uzay Tıbbi Enstitüsü tarafından geliştirilen CARI programlarının gelişmiş bir sürümüdür. Uçuş esnasında, ara noktalarda ve en kısa rotada program kullanıcısının herhangi bir coğrafi konumda galaktik kozmik radyasyondan aldığı etkin doz hız oranını hesaplayabilmek için geliştirilmiştir.

Önceki CARI programlarında olduğu gibi veriler dünya manyetik alanı ve güneş aktivitesine göre değişmekte ve radyasyon düzeyleri hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca 300 000 feet yükseklikte etkin doz hızını hesaplama yeteneğine sahiptir [54].



## 9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Orta Karadeniz Bölgesi yer seviyesinde kozmik radyasyon sebebiyle maruz kalınan doz oranları FLUKA, EXPACS, CARI-6, CARI-7A programlarıyla elde edilmiştir. FLUKA programı Orta Karadeniz Bölgesi için ilk defa yer seviyesinde kozmik radyasyon dozunu hesaplamak için kullanılmıştır.

Hesaplamalar, şehir merkezlerinin koordinatları baz alınarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 9.1’de verilmiştir. Farklı programlar yardımıyla hesaplanan sonuçların da birbirleriyle uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Amasya, Çorum, Ordu, Samsun, Sinop, Tokat şehirleri için hesaplanan yıllık etkin doz hızı değerleri 310  $\mu\text{Sv/y}$  ve 441  $\mu\text{Sv/y}$  arasında değişmektedir. Literatürde kozmik radyasyon doz değerinin yükseklik ile arttığı bilinmektedir. Çorum ilinin diğer şehir merkezlerine göre yükseltisi fazla olduğundan en yüksek doz oranına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.1. Tüm parçacıklar için FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A programlarından elde edilen ortalama yıllık doz oranları

İL	FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-6 ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A ( $\mu\text{Sv/y}$ )
AMASYA	378	360	389	325
ÇORUM	441	423	451	409
ORDU	310	303	337	251
SAMSUN	319	305	337	253
SİNOP	341	307	338	254
TOKAT	363	391	420	368

Çizelge 9.2, FLUKA programı baz alınarak diğer programlardan hesaplanan tüm parçacık doz eşdeğerlerinin yüzde sapma oranlarını göstermektedir. Programların sapma oranlarında CARI-7A’da değerlerin yüksekliği dikkat çekmektedir. CARI-7A’da kullanılan atmosfer modeli, değişen rijitliklere göre değerlerin atanması, atmosfere giren bazı parçacıkların dikkate alınmaması ve dönüşüm katsayılarını atayabilmek için kullanılan yaklaşımların farklılığından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 9.2. Tüm parçacıklar için simülasyon programlarından hesaplanan sapma oranları

İL	FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS Sapma ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-6 Sapma ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A Sapma ( $\mu\text{Sv/y}$ )
AMASYA	378	4,8	3	14
ÇORUM	441	4,1	2,4	7,2
ORDU	310	2,2	8,5	19,1
SAMSUN	319	4,5	5,8	20,8
SİNOP	341	10	0,8	25,6
TOKAT	363	7,7	15,7	1,3

Bu tezde, FLUKA simülasyon programı ile Amasya, Çorum, Ordu, Samsun, Sinop, Tokat şehirleri için hesaplanan doz hızı oranlarına karşılık kozmik ışın akı grafikleri elde edilmiştir. Kozmik ışın akısı, birim zamanda birim kesitten geçen kozmik parçacık sayısı olarak ifade edilmektedir.

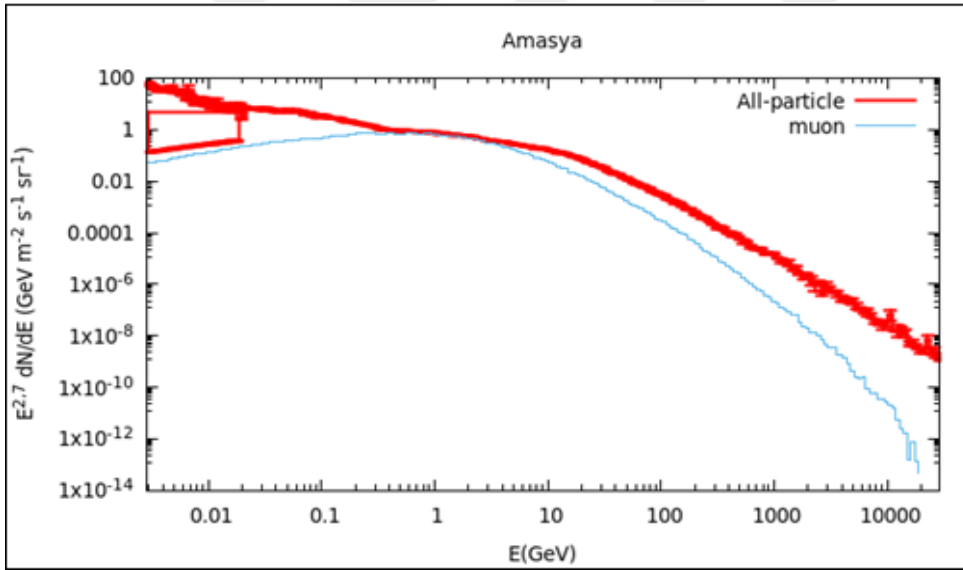
Kozmik ışın enerji spektrumunda, gelen parçacığın enerjisine bağlı olarak spektral indeks Eş. 9.1'de görüldüğü gibi 2,7 – 4,3 aralığında değişebilmektedir. Enerji spektrumunun anlaşılabilirliği güç olduğundan spektral indeks ile çarpılarak daha anlaşılır hale getirilmektedir [55]. Spektral indeks dikkate alınarak kozmik ışın enerji spektrumuna ait grafikler çizilmiş ve FLUKA programında spektral indeks 2,7 alınarak grafikler daha anlaşılır hale getirilmiştir. Aşağıda Orta Karadeniz Bölgesi şehir merkezleri için akıya karşılık gelen enerji grafikleri verilmiştir.

$$E = \begin{cases} \gamma \approx -2,7 & E \lesssim 4\text{PeV} \\ \gamma \approx -3,1 & 4\text{PeV} \lesssim E \lesssim 0,4\text{EeV} \\ \gamma \approx -3,3 & 0,4\text{PeV} \lesssim E \lesssim 4,1\text{EeV} \\ \gamma \approx -2,6 & 4,1\text{EeV} \lesssim E \lesssim 29\text{EeV} \\ \gamma \approx -4,3 & 29\text{EeV} \lesssim E \end{cases} \quad (9.1)$$

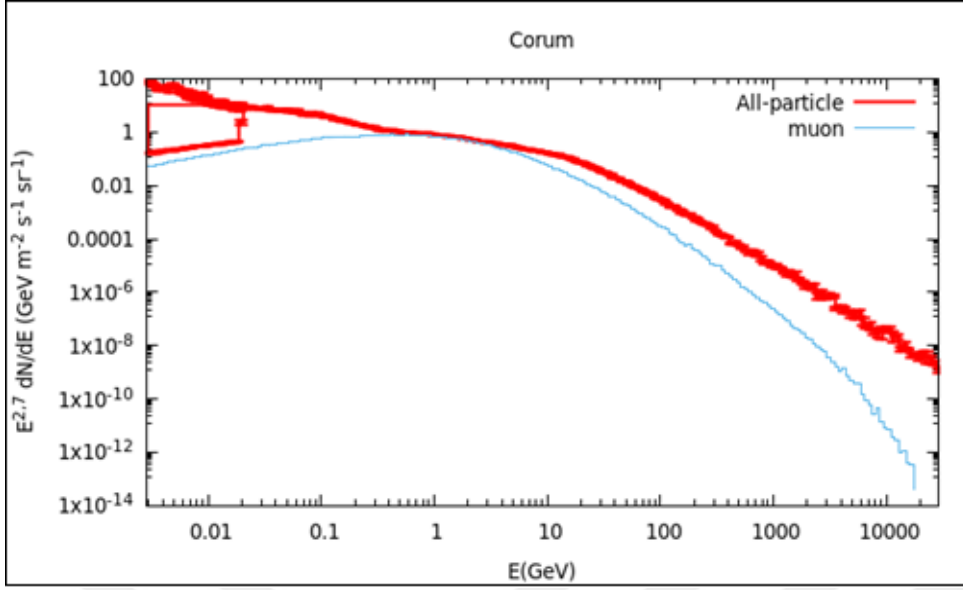
Elde edilen grafiklerde, yer seviyesinde kozmik parçacık sayılarının enerjiye göre değişimine karşı, parçacıkların sahip oldukları enerjiler görülmektedir. Bu grafikler yer seviyesinde hesaplanan eşdeğer dozu oluşturan parçacık yoğunluklarını ve bu parçacıkların sahip olduğu enerjiler hakkında bilgiler vermektedir.

Grafiklerde kırmızı renk tüm parçacıkları mavi renk ise müonların parçacık akılarını ifade etmektedir. Grafikteki tüm parçacıklar, proton, elektron gibi parçacıkları ifade eder. Birincil parçacıkların atmosferde ilerlerken gerçekleştirdiği etkileşimler sonucunda üretilen kaon, pion, müon, vb. parçacıklar ikincil parçacıkları ifade etmektedir.

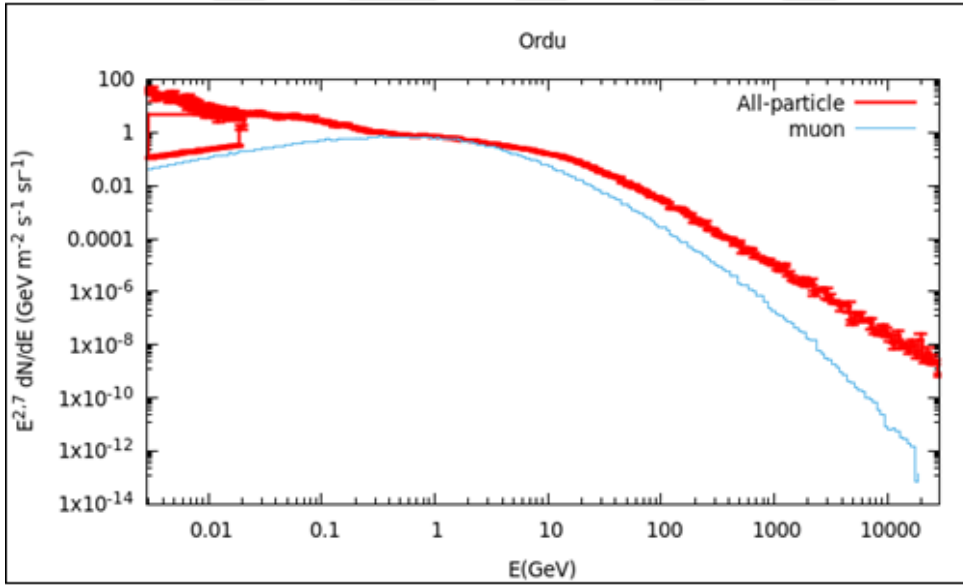
Yer seviyesine gelen parçacıkların büyük bir çoğunluğu müonlardan oluşmaktadır. FLUKA ile hesaplanan doz eşdeğer grafiği de teoriyi desteklemektedir. Grafikte belirli bir enerji değerine kadar tüm parçacıklar ve müonlar uyum içerisinde ilerlemektedir. Birincil parçacıkların atmosferde gerçekleştirdiği etkileşimler sonucunda müonlar oluşmakta ve yer seviyesine yaklaştıkça müon oranında artış gözlenmektedir. Yer seviyesinde müonların geniş enerji aralığında spektruma katkıları fazladır. FLUKA'dan elde edilen enerji spektrumları aşağıda verilmektedir.



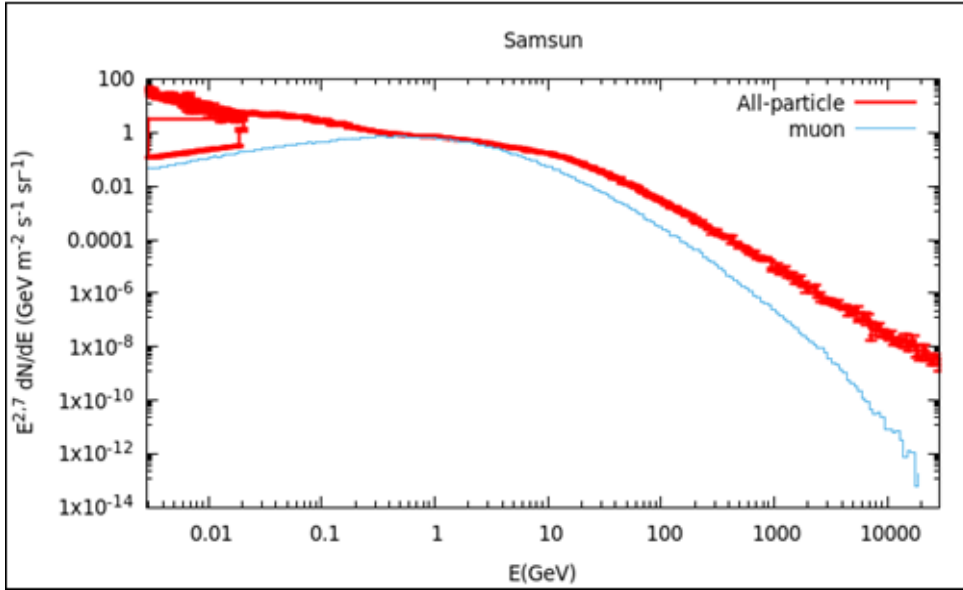
Şekil 9.1. Amasya ili enerji spektrumu



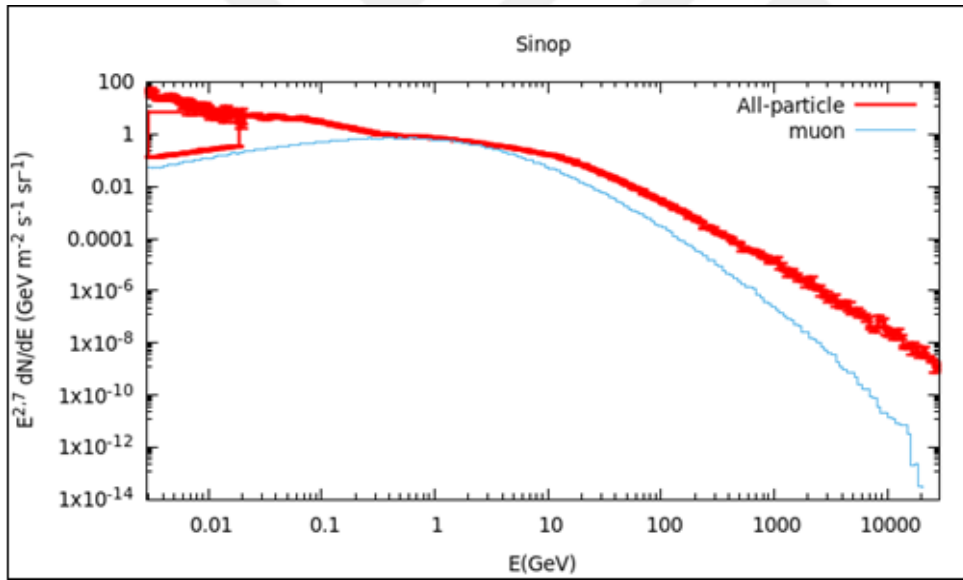
Şekil 9.2. Çorum ili enerji spektrumu



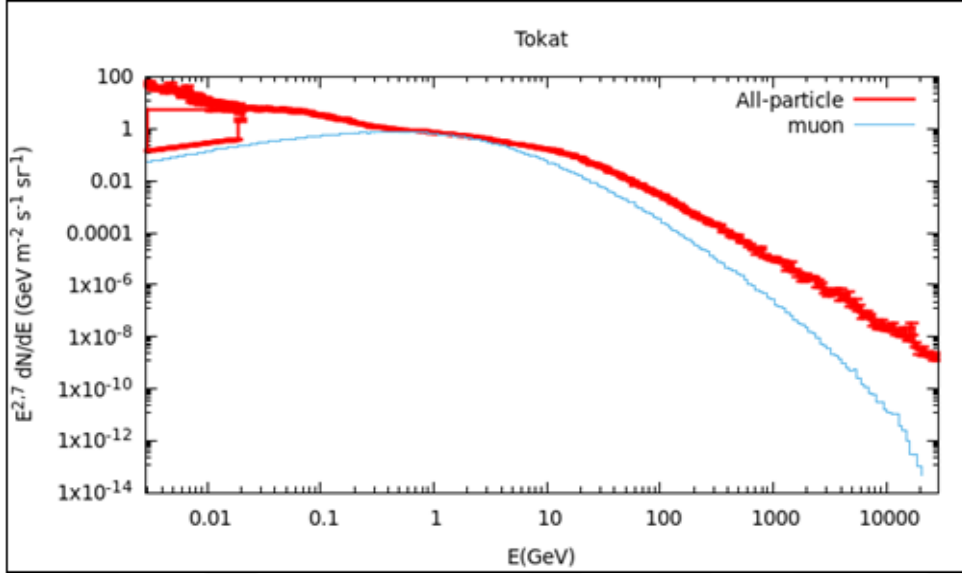
Şekil 9.3. Ordu ili enerji spektrumu



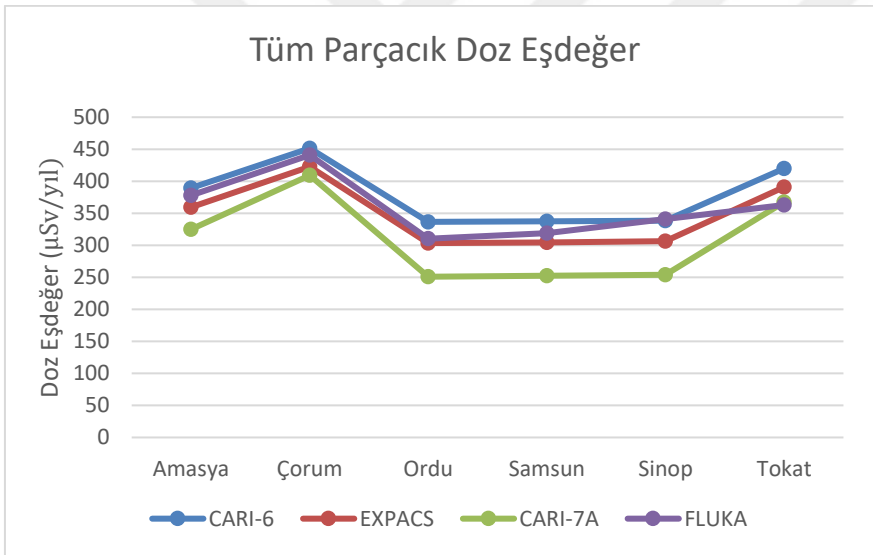
Şekil 9.4. Samsun ili enerji spektrumu



Şekil 9.5. Sinop ili enerji spektrumu



Şekil 9.6. Tokat ili enerji spektrumu



Şekil 9.7. FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A'dan elde edilen tüm parçacık doz eşdeğer grafiği

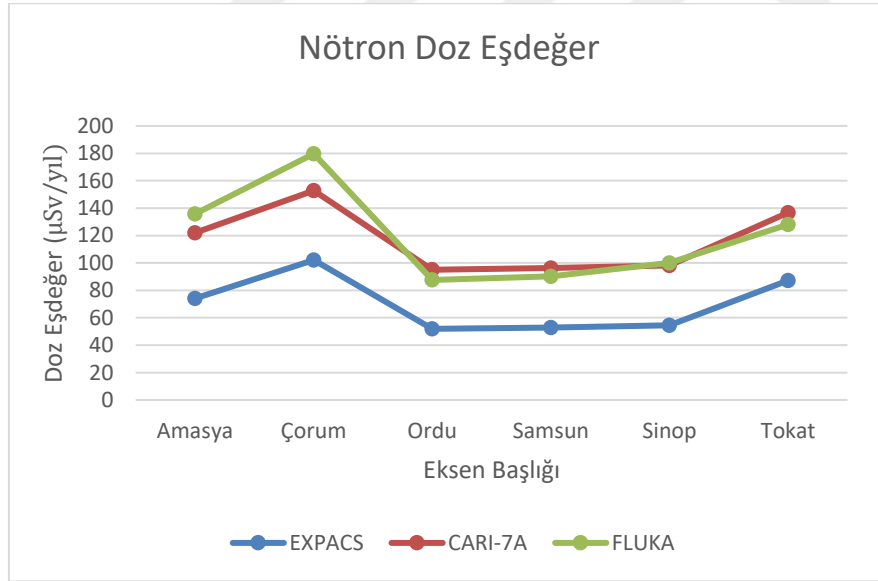
Şekil 9.7, çizelge 9.1'deki veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Proton tarafından başlatılan bir duşta tüm parçacıkların oluşturduğu doz eşdeğer grafiği görülürken, toplam kozmik radyasyon dozuna etki eden yer seviyesinde müon ve nötrinolar, uçuş yüksekliklerinde ise proton ve nötron parçacıklarının oluşturduğu doz eşdeğerleri de ayrıca elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sonuçlar uyum içerisindedir. Tek farklılık CARI-7A'dan kaynaklanmakta ve programda iyileştirmeler yapılmaktadır. Nötronlar ve protonların atmosferdeki etkileşimleri sonucunda yükseklik arttıkça radyasyon dozuna katkıları görülebilmektedir. Teoride deniz seviyesine ulaşabilen parçacıkların %80'ini müonlar

oluşturmaktadır [2]. Ancak yer seviyesi söz konusu olduğunda yükseltiye bağlı olarak müon yoğunluğu azalır. Elde ettiğimiz grafiklerin teori ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Tüm parçacık doz eşdeğerinin yanı sıra, proton, nötron,  $\mu^+$  ve  $\mu^-$  parçacıkları için simülasyon programları ile doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Programlardan alınan değerler ve grafikler aşağıda görülmektedir.

Çizelge 9.3. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen nötron doz eşdeğerleri

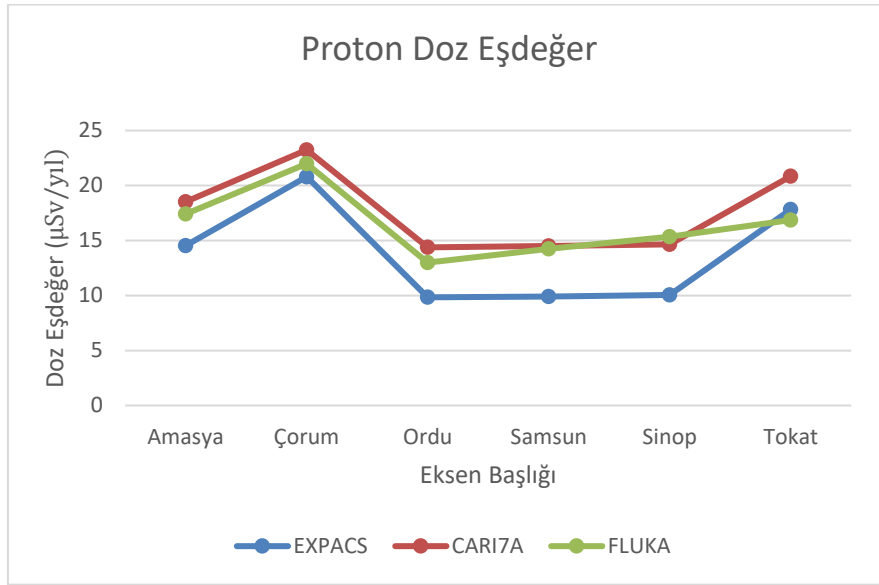
İL	FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A ( $\mu\text{Sv/y}$ )
AMASYA	136	74	122
ÇORUM	180	102	153
ORDU	88	52	95
SAMSUN	90	53	96
SİNOP	100	54	98
TOKAT	128	87	137



Şekil 9.8. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen nötron doz eşdeğer grafiği

Çizelge 9.4. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen proton doz eşdeğerleri

İL	FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A ( $\mu\text{Sv/y}$ )
AMASYA	17	15	19
ÇORUM	22	21	23
ORDU	13	10	14
SAMSUN	14	10	14
SİNOP	15	10	15
TOKAT	17	18	17

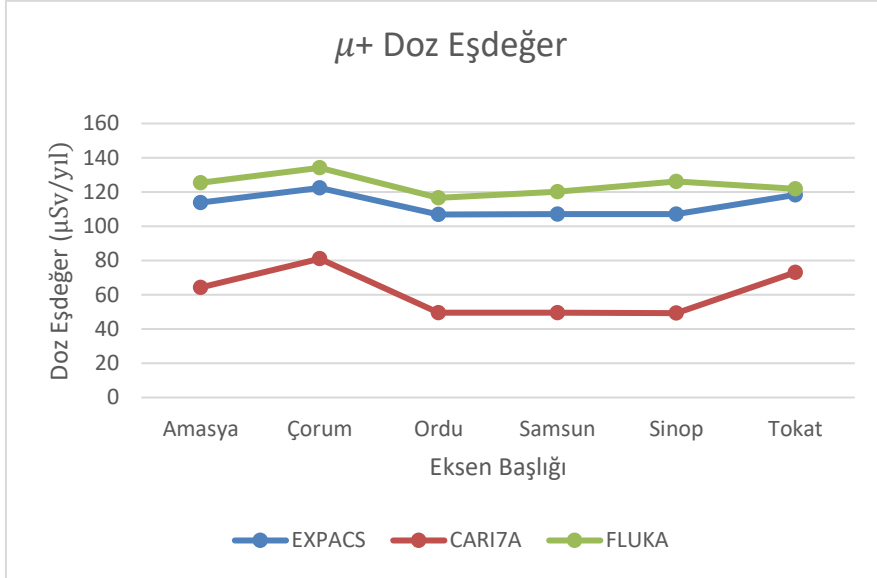


Şekil 9.9. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen proton doz eşdeğer grafiği

Çizelge 9.5. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen  $\mu^+$  doz eşdeğerleri

İL	FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A ( $\mu\text{Sv/y}$ )
AMASYA	125	114	64
ÇORUM	134	122	81
ORDU	117	107	49
SAMSUN	120	107	50
SİNOP	126	107	49
TOKAT	122	118	73

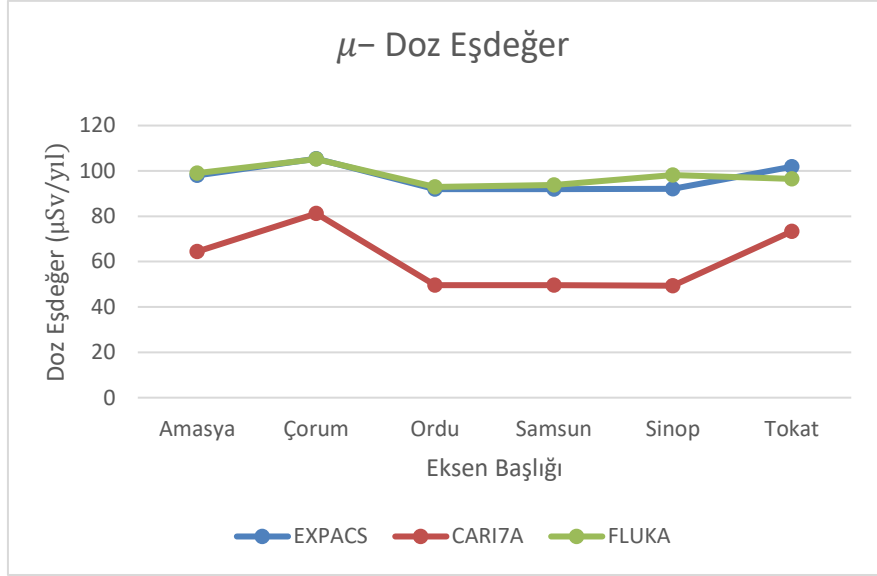




Şekil 9.10. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen  $\mu^+$  doz eşdeğer grafiği

Çizelge 9.6. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen  $\mu^-$  doz eşdeğerleri

İL	FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A ( $\mu\text{Sv/y}$ )
AMASYA	99	98	64
ÇORUM	105	105	81
ORDU	93	92	50
SAMSUN	94	92	50
SİNOP	98	92	49
TOKAT	96	102	73



Şekil 9.11. FLUKA, EXPACS ve CARI-7A'dan elde edilen  $\mu^-$  doz eşdeğer grafiği

Çizelge 9.7. CARI-6 sonuçları ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

İL	FLUKA (μSv/y)	EXPACS (μSv/y)	CARI-6 (μSv/y)	CARI-7A (μSv/y)	CARI-6 [14] (μSv/y)
AMASYA	378	360	389	325	373
ÇORUM	441	423	451	409	441
ORDU	310	303	337	251	324
SAMSUN	319	305	337	253	324
SİNOP	341	307	338	254	330
TOKAT	363	391	420	368	410

Çizelge 9.7'de sonuçlar uyumlu olmasına rağmen bazı farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıkların sebepleri, hesaplamaların farklı yıllara ait olması, dünya ve güneşin manyetik alan etkileri, güneş rüzgarının yıllara göre farklılık göstermesi ve kullanılan bilgisayarların performans ve hassasiyetleri olabilmektedir.

UNSCEAR 2000 yılı raporunda kozmik radyasyon sebebiyle maruz kalınan nüfus ağırlıklı etkin doz oranı dünya çapında  $390 \mu\text{Sv} / \text{y}$  olarak verilmektedir [14]. Bu çalışmadan elde edilen doz oranları ile raporda belirtilen oran birbiriyle uyum içerisindedir.

Kozmik radyasyona maruziyet dünya çapında ortalama olarak alınan yıllık etkin doz hızının yaklaşık %17'sini oluşturmaktadır [45]. Kozmik radyasyon doz oranının yer seviyesinde ve özellikle uçuş yüksekliklerinde etkileri önemlidir. Maruz kalınan süre attıkça etki de süreyle birlikte artış göstermektedir. Kozmik radyasyon dozu; güneş rüzgarlarına,

dünyanın manyetik alanının etkisine, coğrafi özellikler (enlem, boylam) ve yüksekliğe bağlı olarak değişiklik gösterir.

Çizelge 9.8, FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A programlarından alınan bölgedeki tüm şehirler için veriler ve 2018 yılı Orta Karadeniz Bölgesi nüfus verileri kullanılarak elde edilen nüfus ağırlıklı etkin doz hızı oranlarını göstermektedir.

Çizelge 9.8: Yıllık nüfus ağırlıklı etkin doz eşdeğeri

FLUKA ( $\mu\text{Sv/y}$ )	EXPACS ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-6 ( $\mu\text{Sv/y}$ )	CARI-7A ( $\mu\text{Sv/y}$ )
359	350	381	313

Nüfus ağırlıklı etkin doz hızı, Orta Karadeniz Bölgesindeki bölge halkının kozmik radyasyon dozu nedeniyle yıllık ortalama olarak maruz kaldığı doz miktarı olarak ifade edilmektedir. Programlar arasındaki sapma oranları hesaplandığında, FLUKA'dan CARI-6, EXPACS ve CARI-7A'nın sapma oranları sırasıyla, %6, %2,6 ve %13 olarak hesaplanmış ve değerlerin uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Programlardan hesaplanan sapma oranlarının farklılığı, yukarıda da belirtildiği gibi programlarda kullanılan atmosfer modelleri, dönüşüm katsayılarını atayabilmek için kullanılan yaklaşımların farklılıkları gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Bu tez ve içeriği Türkiye'nin kozmik radyasyon doz haritasının oluşturulması için önemli veriler içermektedir. Hesaplamaları yapmak için kullanılan simülasyon programları Türkiye'de çok bilinmemekte ve bu tez ile birlikte programlar hakkında bilgilerin artmasına katkı sağlanmaktadır. Özellikle FLUKA simülasyon programı sahip olduğu yetenekler ile ülkemizde pek çok alanda çalışma yapılmasına imkan sağlayabilecek özelliklere sahiptir. Yapılan bu tez, kozmik radyasyon alanında ülkemizde Orta Karadeniz Bölgesi için yapılan ilk çalışma olduğu ve kullanılan FLUKA, EXPACS, CARI-6 ve CARI-7A simülasyon kodlarının da bu bölgeler için ilk kez kullanılıyor olması tezin özgünlüğünü oluşturmaktadır.



## KAYNAKLAR

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2008). Sources and Effects of Ionizing Radiation; UNSCEAR E.10.XI.3, *New York*, 229-233.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation; UNSCEAR E.00.IX.3, *New York*, 84-90.
3. Lucas, P.S. (2016). *The  $\langle \Delta \rangle$  Method: An Estimator For The Mass Composition Of Ultra-High-Energy Cosmic Rays*, Doctor of Philosophy in Physics and Space Sciences, University of Granada, 2-11.
4. Dundović, A. (2018). *On Anisotropies of Ultra-High Energy Cosmic Rays*, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der Universität Hamburg, Hamburg, 7-14.
5. Vereecken, M. (2014). *Cosmic Ray Shock Acceleration in Galactic and Extragalactic Sources*, Master of Science Thesis, Faculty of Sciences Universiteit Gent, 15-19.
6. Santander, J.M. (2013). *Observation of Cosmic-Ray Anisotropy at TeV and PeV Energies in the Southern Sky*, Doctor of Philosophy (Physics) at the University Of Wisconsin–Madison, 1-19.
7. Putze, A. (2006). *Propagation of Cosmic Rays in the Earth's Atmosphere*, Master of Physics and Engineering: Subatomic Physics and Astroparticles, Joseph Fourier University at Grenoble, 2-15.
8. İnternet: Streitmatter, R. Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fasd.gsfc.nasa.gov%2Fbess%2F&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
9. İnternet: Field, W. ATIC-4 (Advanced Thin Ionization Calorimeter). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fstratocat.com.ar%2Ffichas-e%2F2007%2FMCM-20071226.html&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
10. İnternet: Seo, E-S. CREAM Mission Overview. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fcosmicray.umd.edu%2Fcream/%2F&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
11. İnternet: From character to personality (2015). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ams02.org%2F2019%2F05%2Fthe-first-eight-years-of-data-taking-on-the-international-space-station%2F&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.

12. İnternet: Michelson, P. Large Area Telescope (LAT). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ffermi.gsfc.nasa.gov%2Fscience%2Finstruments/lat.html&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
13. Casolino, M., Pascale, M.P.D., Simone, N.D., Felice, V.D., Marcelli, L., Minori, M., Picozza, P., Sparvoli, R., Castellini, G., Adriani, O., Bonechi, L., Papini, M.B.S.B.P, Spillantini, S.R.P., Taddei, E., Vannuccini, E., Barbarino, G., Campana, D., Rosa, R.C.G.D., Osteria, G., Zampa, G., Zampa, N., Bruno, A., Cafagna, F.S., Ricci, M., Hofverberg, P., Pearce, M., Carlson, P., Bogomolov, E., Krutkov, S.Y., Nikonov, N.N., Vasilyev, G.I., Menn, W., Simon, M., Galper, A., Grishantseya, L., Koldashov, S., Leonov, A., Mikhailov, V.V., Vorovov, S.A., Yurkin, Y.T., Zverev, V.G., Bazilevskaya, G.A., Kvashnin, A.N., Maksumov, O. Stozhkov, Y. (2009). The PAMELA Cosmic Ray Space Observatory: Detector, Objectives and First Results. *Frascati Physics Series* 47 (2008), 19-48.
14. Parmaksız, A. (2015). Comprehensive Data Concerning Cosmic Radiation Doses at Ground Level and In-Flights For Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 171 (4), 539-544.
15. İnternet: O'Brien, P. Gamma Ray Bursts URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fhttps%3A%2F%2Fwww2.le.ac.uk%2Fdepartments%2Fphysics%2Fresearch%2Fxxroa%2Fastrophysics-1%2Fgamma-ray-bursts.html&date:=2019-03-20>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2019.
16. Collica, L. (2014). *Mass composition studies of Ultra High Energy cosmic rays through the measurement of the Muon Production Depths at the Pierre Auger Observatory*, International Doctorate On Astroparticle Physics, Université Paris Diderot, 10-13.
17. İnternet: Charbinet, S. White Dwarf URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2Fhttps%3A%2F%2Fwww.schoolsobservatory.org%2Flearn%2Fastro%2Fstars%2Fcycle%2Fwhitedwarf.html&date=2019-03-20>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2019.
18. İnternet: Kill, C.W. Introducing Active Galactic Nuclei. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.pages.astronomy.ua.edu%2Fkeel%2Fgalaxies%2Fagnintro.html%2Fdate=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
19. İnternet: May, S. What Is a Supernova? URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Faudience%2Fforstudents%2F5-8%2Ffeatures%2Fnasa-knows%2Fwhat-is-a-supernova.html&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
20. Friedberg, W., Copeland, K. (2011). *Ionizing Radiation in Earth's Atmosphere and in Space Near Earth*, Civil Aerospace Medical Institute Federal Aviation Administration, 5-6.

21. Gélonili, Y. (2017). *Refined Prediction for Cosmic Rays and Inderct Dark Matter Searches*, Préparée au sein de Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique Théorique et de l'école Doctorale École Doctorale de Physique de Grenoble, 2-9.
22. Fokkema, D. (2012). *The Hisparc Cosmic Ray Experiment Data Acquisition And Reconstruction Of Shower Direction*, Doctor of Philosophy Thesis, Universiteit Twente, Enschede, 4-16.
23. 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.
24. Umahi, A.E. (2016). Galactic and Solar Cosmic Rays on Ionization in the Atmosphere. *World Applied Sciences Journal* 34 (3), 312-317.
25. Stefano, M. (2016). *Extension To Lower Energies of the Cosmic-Ray Energy Window at the Pierre Auger Observatory*, Doctor of Philosophy Thesis, University of Groningen, 9-11.
26. Bustamante, M., Montoya, G.D.C., Paula, W., Chavez, J.A.D., Gago, A.M., Hakobyan, Jez H., Montañez, P., Monroy, J.A., Velasquez, A.O., Cabal, F.P., Rozas, M.P., Patarroyo, D.J.R., Romeo, G.L., Saldaña-Salazar, U.J., Velasquez, M. and Steinkirch, M. (March, 2009). *High-Energy Cosmic Ray Acceleration*. Paper presented at 5th CERN Latin American School on High Energy Physics, Medellín, 533-535.
27. Kivelson, M.G., Bagenal, F. (2007). Planetary Magnetospheres. In McFadden, L.A., Weissman, P.R., Johnson, T.V. *Encyclopedia of the Solar System* (Second Edition), New York: Elsevier, 71-73, 519-523.
28. İnternet: Zell, H. Layers of the Sun. [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fmission\\_pages%2Firis%2Fmultimedia%2Flayerzoo.html&date=2019-02-20](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fmission_pages%2Firis%2Fmultimedia%2Flayerzoo.html&date=2019-02-20), Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
29. Parks, G.K. (2015). Magnetosphere. In North, G.R., Pyle J. and Zhang F. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (Second Edition). New York: Elsevier, 309-314.
30. Richardson, J.D. (2010). The Solar Wind and Its Interaction with the Interstellar Medium, In Gopalswamy, N., Hasan, S., Ambastha, A. *Heliophysical Processes*. Berlin: Springer, 83-87.
31. 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.

32. 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=2019-02-20](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fmission_pages%2Fsunearth%2Fscience%2Fatmosphere-layers2.html&date=2019-02-20), Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
33. Horneffer, A. (2006). *Measuring Radio Emission from Cosmic Ray Air Showers with a Digital Radio Telescope*, Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Willhelms-Universität Bonn, 12-17.
34. Nierstenhoefer, N. (2011). *On the Origin and Propagation of Ultra-High Energy Cosmic Rays (Measurements and Prediction Techniques)*, Doctor of Philosophy Thesis, University of Wuppertal, 9-12.
35. Choppin, G., Liljenzin, J., Rydberg, J., Ekberg, C. (2013). *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*, (4th Edition), USA: Academic Press, 21.
36. Barcikowski, E.L. (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, 19-26.
37. Engel, R., Heck, D. and Pierog, T. (2011). Extensive Air Showers and Hadronic Interactions at High Energy. *Annual Review Nuclear and Particle Science*, 467-489.
38. Hanlon, W. F. (2008). *The Energy Spectrum Of Ultra High Energy Cosmic Rays Measured By The High Resolution Fly's Eye Observatory In Stereoscopic Mode*, Doctor of Philosophy Thesis, The University of Utah, 24-29.
39. Matthews, J. (2005). A Heitler model of extensive air showers. *Astroparticle Physics*, 22, 387–397.
40. Pacini, A.A. (2017). Cosmic rays: Bringing Messages From the Sky to the Earth's Surface, *Revista Brasileira Ensino de Física* 39 (1), 1806-1117.
41. 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.
42. Shukla, P., Sankrith, S. (2018). Energy and angular distributions of atmospheric muons at the Earth, *International Journal Modern Physics A33*, 30.
43. Atri, D., Melott, A.L. (2014). Cosmic Rays and Terrestrial Life: a Brief Review, *Astroparticle Physics* 53, 186-190.
44. L'Annunziata, M.F. (2016). *Radioactivity* (Second Edition). New York: Elsevier, 514-517.



45. İnternet: From character to personality. Doğal Radyasyon Kaynakları URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.taek.gov.tr%2Ftr%2F2016-06-09-00-43-46%2F1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
46. Lochard, J., Bartlett, D.T., Rühm, W., Yasuda, H., Bottollier-Depois, J-F. (2016) The International Commission on Radiological Protection, *Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation*; ICRP Publication 132, Annual Report ICRP 45 (1), 1–48.
47. Cinelli, G., Gruber, V., De Felice, L., Bossew, P., Hernandez-Ceballos, M.A., Tollefsen, T., Mundigl, S., De Cort, M. (2017). European annual cosmic-ray dose: estimation of population exposure, *Journal of Maps*, 13 (2), 812-821.
48. İnternet: From character to personality. (2016). Orta Karadeniz Bölgesi. URL: [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgeography.humanity.ankara.edu.tr%2Fwpcontent%2Fuploads/sites%2F277%2F2016%2F11%2FOrta\\_Karadeniz\\_Bolgesi.pdf&date=2019-02-20](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgeography.humanity.ankara.edu.tr%2Fwpcontent%2Fuploads/sites%2F277%2F2016%2F11%2FOrta_Karadeniz_Bolgesi.pdf&date=2019-02-20), Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
49. İnternet: From character to personality. (2017). Veritabanları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiruni.tuik.gov.tr%2Fmedas%2F&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
50. 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=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
51. Hançerlioğulları, A. (2006) Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14 (2), 545-556.
52. İnternet: From character to personality (2017). EXPACS. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fphits.jaea.go.jp%2Fexpacs&date=2019-02-20>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
53. 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=2019-02-20](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.faa.gov%2Fdata_research%2Fresearch%2Fmed_humanfacs%2FAeromedical%2Fradiobiology%2Fcari6%2F&date=2019-02-20), Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.
54. İnternet: From character to personality (2017). CARI-7 and CARI-7A URL: [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.faa.gov%2Fdata\\_research%2Fresearch%2Fmed\\_humanfacs%2FAeromedical%2Fradiobiology%2Fcari7%2F&date=2019-02-20](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.faa.gov%2Fdata_research%2Fresearch%2Fmed_humanfacs%2FAeromedical%2Fradiobiology%2Fcari7%2F&date=2019-02-20), Son Erişim Tarihi: 20.02.2019.

55. Klepser, S. (2008). *Reconstruction of Extensive Air Showers and Measurement of the Cosmic Ray Energy Spectrum in the Range of 1 – 80 PeV at the South Pole*, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) im Fach Physik eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I Humboldt-Universität zu Berlin, 3-6.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PEHLİVAN, Merve  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 01.05.1992, Ankara  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (505) 249 42 24  
 e-mail : mrve.pehlivann@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik Bölümü	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik Bölümü	2015
Lise	Batıkent Lisesi	2010

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Pehlivan, M., Ada, H.T., Arıkan, P., (2018, Mayıs). *Orta Karadeniz Bölgesi Kozmik Radyasyon Dozunun Yer Seviyesinde Simülasyon Teknikleri ile Hesaplanması*, II Nükleer Bilimler Lisansüstü Öğrenci Kongresi, Ankara

### Hobiler

Satranç, Kitap okumak, Tenis



## DİZİN

**A**

AMS, xv, 2, 3  
 ATIC, xv, 2

**B**

BESS, xv, 2

**C**

CARI-6, 3, 4, 54, 55, 60, 63, 64, 69  
 CARI-7A, 4, 54, 55, 61, 62, 63, 64, 69  
 Charles Thomson Rees Wilson, 1  
 Cherenkov Tesiri, 35  
 Coulomb, 1, 32  
 CREAM, xvi, 2, 3

**Ç**

Çorum, 4, 48, 55, 57

**D**

dedektör, 3, 53  
 DÜNYA ATMOSFERİ ve  
 KATMANLARI, 25

**E**

Elster ve Geitel, 1

EXPACS, xiv, 4, 5, 54, 57, 62, 63, 64, 65, 66, 70

**F**

Fermi, 33  
 Floresans Tesiri, 35  
 FLUKA, 4, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 68

**G**

Güneş ve Katmanları, 13

**H**

Heliosfer ve Güneş Rüzgarları, 15  
 Hillas ölçütü, 5

**K**

Kapsamlı Hava Duşları , 29  
 KOZMİK IŞINLAR, 5  
 Kozmojenik Radyonüklitler, 36

**O**

Ordu, 4, 48, 58  
 Orta Karadeniz Bölgesi, 4, 55, 56  
 ORTA KARADENİZ BÖLGESİ, 47

**P**

PAMELA, 3  
 parçacık, xv, 3, 5, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 37, 39, 49, 53, 55, 56, 60

**R**

Radyasyon, xv, 11, 15, 41, 42, 53  
 Radyasyon Dozu, 41

**S**

Süpernova, xvi, 7, 22

**Ş**

Şok İvmelenme, 22

**T**

Theodor Wulf, 2

**V**

Victor Hess, 2

**Z**

Zırlama, 62



*GAZİ GELECEKTİR..*