



## Akdeniz Bölgesi Kozmik Radyasyon Doz Eşdeğerinin Fluka/Flair Programı ile Belirlenmesi

Madi BÜLBÜL<sup>1</sup>, Hanifi ÇAM<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Sütçü İmam Üniversitesi, K. Maraş, Türkiye

<sup>2</sup> Elektrik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Sütçü İmam Üniversitesi, K. Maraş, Türkiye

✉: [madibulbul123@gmail.com](mailto:madibulbul123@gmail.com)  <sup>1</sup>0000-0002-0053-1907  <sup>2</sup>0000-0002-9980-0037

Geliş (Received): 20.06.2023

Düzeltilme (ReVision): 20.11.2023

Kabul (Accepted): 07.12.2023

### ÖZ

Bu çalışmada; Akdeniz Bölgesine ait olan Adana, Antalya, Burdur, Isparta, Mersin, Hatay, Kahramanmaraş ve Osmaniye illerinin yıllık ortalama kozmik radyasyon doz eşdeğerleri tespit edilmeye çalışılmış olup bu değerler RGY(Radyasyon Güvenlik Yönetmeliği) ve ICRP(Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu)'nun belirlemiş olduğu değerler ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda Orta Karadeniz Bölgesinde, aynı programla yapılan farklı çalışma ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan tüm ölçümler sonucunda en fazla maruziyet 467,6  $\mu\text{Sv/y}$  değer ile Isparta iline ait iken en az maruziyet değeri ise 285,4  $\mu\text{Sv/y}$  ile Mersin iline ait çıkmıştır. RGY ve ICRP'ye göre maruziyet oranı çok düşük olduğu ve maruziyet etkisinin rakım ile doğrudan orantılı olduğu tespit edilmiştir. Aynı enlem üzerinde bulunan bölgeler için ise boylamın bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kozmik radyasyon, Akdeniz Bölgesi, Rakım, Fluka/Flair

## Average Determination of the Cosmic Radiation Dose Equivalent in the Mediterranean Region by Fluka/Flair Program

### ABSTRACT

In this study, which belongs to the Mediterranean region, Adana, Antalya, Burdur, Isparta, Mersin, Hatay, Kahramanmaraş and Osmaniye provinces and these values have been studied to determine the equivalent dose of cosmic radiation, the average annual RGY (Radiation safety regulation) and ICRP (International Commission on Radiation Protection) are compared with a set of rules. At the same time, the results were compared with a study conducted with the same program in the Central Black Sea Region. As a result of all measurement comparisons, the maximum exposure belongs to the province of Isparta with a value of 467.6  $\mu\text{Sv} / \text{y}$ , while the minimum exposure value belongs to the province of Mersin with a value of 285.4  $\mu\text{Sv} / \text{y}$ . According to RGY and ICRP, the exposure rate was found to be very low and the exposure effect was directly proportional to the altitude. For regions located on the same latitude, longitude has no effect.

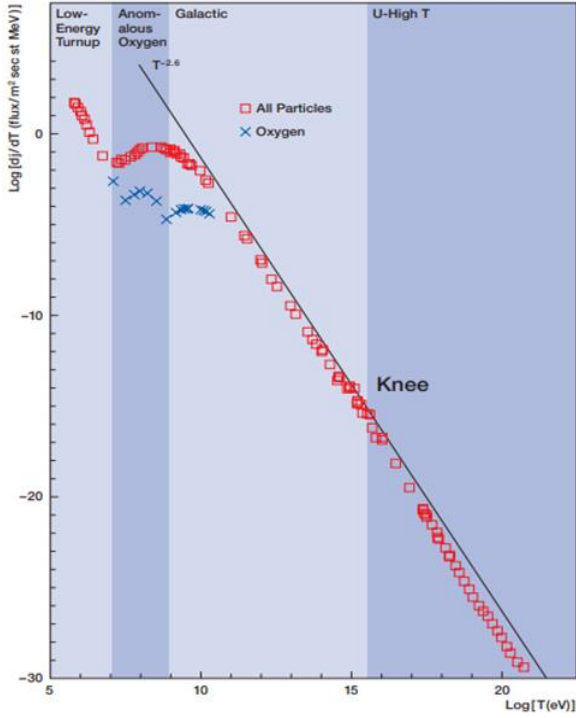
**Keywords:** Cosmic Radiation, Mediterranean Region, Altitude, Fluka/Flair

### GİRİŞ

Kozmik ışınlar, çok yüksek hıza ulaşmış elektronlar, nötronlar ve atom çekirdeklerinden oluşur. Temel bileşimleri, kaynak bölgedeki kimyasal parçalanma hakkında bilgi sağlamanın yanı sıra, bu bölgenin doğası ve yıldızlararası uzayda kozmik ışınların yayılması hakkında da bazı bilgiler sağlar. Kozmik ışın izotopları kaynak bölgenin doğasını, enjeksiyonun zaman çizelgelerini ve ilk ivmeyi daha derinlemesine inceler.  $\text{Be}^{10}$ ,  $\text{Al}^{26}$  ve  $\text{Cl}^{36}$  gibi radyoaktif izotoplar, disk ve hale bölgelerindeki kozmik ışınların zamansal geçmişini ortaya çıkarır. Yük ve kütle bileşiminin enerji ile değişimi-enerji spektrumları-hızlanma süreci ve Galaksideki parçacık taşınımı ile ilgilidir. Ultra yüksek enerjilerde iyileştirilmiş ölçümler mevcut

olduğunda, bu parçacıkların galaktik mi yoksa ekstra galaktik kökenli mi olduğunu belirlemek mümkündür. Yüksek enerjilerde kozmik ışın varış yönü, güçlü kaynakların yaklaşık yönünü de gösterebilir. Kozmik ışınların en dikkat çekici özelliği enerji spektrumlarıdır. Bu spektrumların enerji durumları Şekil 1'de gösterilmiş olup  $10^9$  eV'den  $10^{20}$  eV'ye kadar ki spektrumların yoğunluğu yaklaşık 10 büyüklük skalası üzerinde nispeten özelliksiz bir güç yasası dağılımı gösterir. Birkaç GeV'in altındaki enerjilerde güneş modülasyonunun etkisi 11-22 yıllık güneş ve heliomanyetik döngülerle ve 1AU' daki zamansal varyasyonlarla önem kazanır. 40 MeV'den daha düşük enerjilerde oksijen spektrumları anormal kozmik ışınların varlığını göstermektedir. Bunlar, güneş rüzgârı sonlandırma şokunda hızlanan kısmen

iyonize yıldızlararası atomlardır. 10 MeV'e yakın, güneş / gezegenler arası kökenli parçacıklar tarafından üretilen iyon spektrumunda oldukça değişken bir artış vardır, ancak bazı güneş patlaması olaylarında onlarca GeV'den daha fazla enerjilerle hızlandıkları kaydedilmiştir [1].



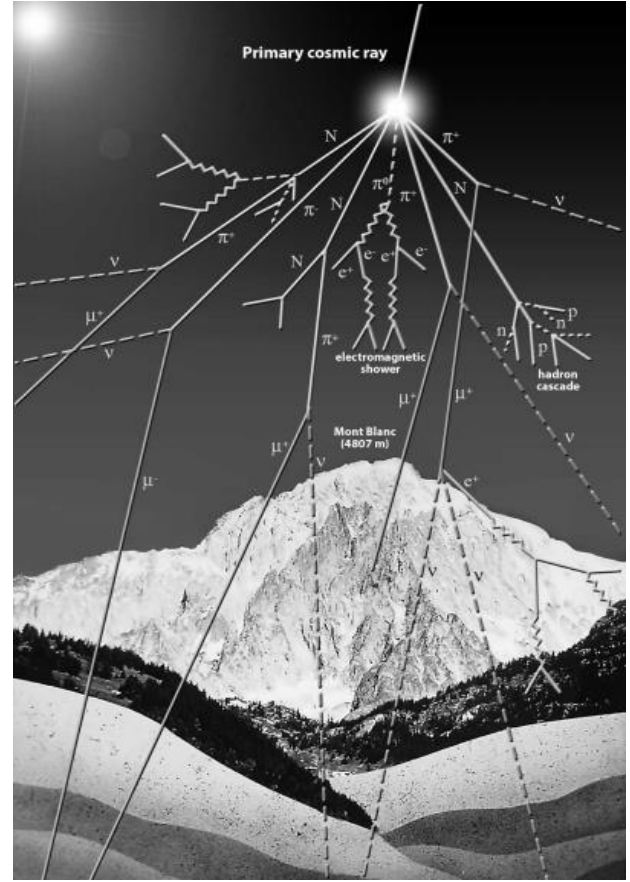
Şekil 1. Dünya'dan ölçülen kozmik ışınların enerji spektrumu [1]

10<sup>14</sup> eV'in üzerinde, kozmik ışınların akışı, birincil parçacıkların doğrudan algılanmasının istatistiksel olarak görünmediği noktaya kadar azalır. Bu enerjinin üzerinde kozmik ışınlar, Dünya atmosferi ile etkileşimlerini gözlemleyerek dolaylı olarak tespit edilebilir. İlk etkileşim tipik olarak, toplam enerjinin yaklaşık yarısını (etkileşimin tam esnekliğine bağlı olarak) taşıyan bir pion duşu üretirken, kalan kozmik ışınların primeri tekrar etkileşime devam eder. Duşun gelişimi ilk birkaç etkileşimde üretilen parçacıkların davranışları izlenerek bulunabilir [2].

Hava duşunun oluşmasını sağlayan kozmik ışınların, enerjisine bağlı olarak; elektronlar, pozitronlar, piyonlar, müonlar, gamalar ve nötrinolar gibi milyonlarca hatta milyarlarca parçacık oluşabilir. Hava duşu gösterimi Şekil 2'de gösterilmiştir [3].

Newton'a göre, kapsamlı hava duşlarının gelişimini modellemek için Monte Carlo simülasyonları yapılabilir, ancak yüksek enerjilerde meydana gelen fiziksel süreçler hakkındaki bilgi eksikliği, farklı modeller arasında tutarsızlıklara yol açar. Parçacık kesitleri ve ikincil parçacıkların çokluğu üzerine çalışmalar, 10<sup>15</sup> eV'lik sabit hedef enerjilerinden eşdeğer kütle merkezi enerjilerine kadar hızlandırıcılarda gerçekleştirilmiştir (bir parçacığın

geri kalan çerçevesinde) ve sonuçta 10<sup>20</sup> eV'lik enerjilere ulaştığı hesaplanmıştır [2].



Şekil 2. Kozmik hava duşu [3]

Kozmik etkileşimlerin daha iyi anlaşılması, hava duşu modellerinde iyileştirmelere yol açması ve bu da kozmik ışın verilerinin daha iyi yorumlanmasına izin vermiştir. Yüksek irtifa balon deneylerinde hızlandırıcı fizikten algılama teknikleri uygulanması ve atmosferin tepesindeki kozmik ışın bileşiminin doğrudan ölçülmesine izin verebilir [3].

Birincil kozmik ışınlar yıldızlardan, Güneşten ve diğer galaksilerden gelen yüksek enerji içeren parçacıklar olup bunların %9'unu Helyum, %90'ını Hidrojen ve geri kalanını ise Uranyum'a kadar olan diğer ağır parçacıkların oluşturduğu bilinmektedir. Birincil ışınların enerji miktarları 10<sup>7</sup> ile 10<sup>20</sup> arasındadır. Birincil parçacıkların Dünya atmosferinin en üst kısmına düşme oranı içerdiği enerji ile ters orantılıdır. 1 GeV enerjisine sahip olan parçacıklar m<sup>2</sup> başına 10<sup>4</sup> oranında düşerken, daha yüksek enerjiye sahip parçacıklar her yüzyılda km<sup>2</sup> içine 1 adetten az düşebilirler [4].

Birincil kozmik ışın parçacıklarının atmosfere girdiğinde yaptığı hadronik etkileşim sonucunda ikincil kozmik ışınlar oluşur ve oluşan nükleonlar,

kaonlar( $K^-$ ,  $K^0$ ,  $K^+$ ) ve pionlar( $\pi^-$ ,  $\pi^0$ ,  $\pi^+$ ) başta olmak üzere mezonlar da oluşmaktadır. Pionların yarı ömürleri kısa olduğu için yeryüzüne ulaşamazlar. Yüklü pionlar ( $\pi^-$ ,  $\pi^+$ ) bozunarak müonlar ( $\mu^-$ ,  $\mu^+$ ) oluşmakla birlikte elektronlar ve müon nötrinoları ( $V_e, V_\mu$ ) oluşur. Nötr pionların ( $\pi^0$ ) bozunması ile kaybolan enerjiye denk gelen ve elektronun yavaşlamasıyla Bremsstrahlung ışını oluşur. Bu ışınlar pozitron ve elektron ( $e^-$ ,  $e^+$ ) oluşturarak çift oluşumu sağlar. Sonuçta pionlar bozunarak kararsız lepton olan müon, bozunarak pozitron, elektron, nötrino ile müon nötrinolarına dönüşür [5].

Müonlar, bir adet elektronun kütlelerinin 200 katı kütleyle sahip temel yüklü bir parçacıktır. Bu parçacıklar zayıf etkileşme nedeniyle bozunurlar. Müonlar atmosferin üst yörüngesindeki gazlarla etkileşim haline geçerek çok sayıda çok miktarda oluşan pionların ve pi mezonlarının bozunması ile oluşur. Müonlar zayıf etkileşimleri nedeniyle deniz düzeyine ulaşabilecek kadar uzun bir yarı ömre sahiptir. Bu yarı ömür ise  $2.2 \times 10^{-6}$  saniye kadardır [6]. Bu parçacıkların sembol, kütle ve yarı ömürleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

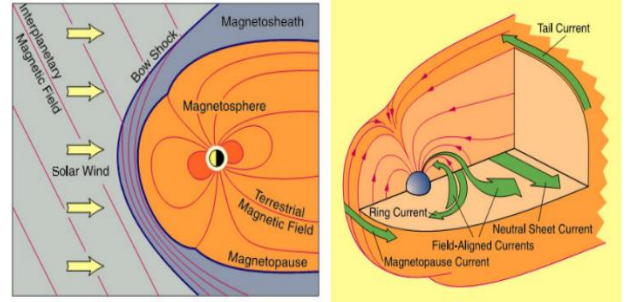
**Tablo 1.** Temel parçacıkların yarı ömrü [5]

Tip	İsim	Semb.	Kütle (MeV/c <sup>2</sup> )	Yarı Ömür
Lepton	Elektron	$e^-$	0,511	$>4.6 \times 10^2$
	Pozitron	$e^+$		<sup>0</sup> yıl
	Müon	$\mu^-$	105,6	$2.2 \times 10^{-6}$
	Antimüon	$\mu^+$		s
	Tau	$\tau^-$	1777	$2.9 \times 10^{-13}$
Antitau	$\tau^+$		s	
Mezon	Nötr Pion	$\pi^0$	135	$8.4 \times 10^{-17}$
	Yüklü Pion	$\pi^+$ , $\pi^-$	139,6	$2.6 \times 10^{-8}$
				s
Baryo	Proton	$p^+$	938,2	$>10^{29}$ yıl
	Antiproton	$p^-$		
	Nötron	$n$	939,6	885,7 s
	Antinötron	$n^*$		

Dünya'nın manyetosferi, Dünya'nın manyetik alanının hâkim olduğu Güneş rüzgârı akışıyla çevrili ayrı bir bölgedir. Yaklaşan Güneş rüzgârları Dünya'nın manyetik alanının gündüz tarafında itilmesine ve gece tarafında gerilmesine neden olur. Bu nedenle oluşan duruma manyetotay denir. Güneş rüzgârının ve Dünya'nın manyetik alanının hâkim olduğu her iki ortamı da ayıran sınıra manyetopoz sınırı denir. Bu sınırda güneş rüzgârı dinamik basıncı, Dünya'nın manyetik basıncına eşittir. Güneşten atılan plazma, önce güneş rüzgârının süpersonik akışının ses altı akışına indirildiği ve manyetopoz ile yay şoku

arasında sıkışarak çalkantılı hale geldiği yay şokuyla karşılaşır. Bu bölgeye ise manyetosheath denir.

Dünya'nın manyetosferindeki sürekli hareket eden yüklü parçacıklar iyonosferde alan hizalı akımlar (FAC'LER) yoluyla kapanan akımlar oluşturur ve tüm bu sistem güneş rüzgârı koşullarından etkilenir. Ortalama güneş rüzgârı, santimetre küp başına 1.4-1.6 = 105 K sıcaklıkta 3 ila 6 atom içerir ve 400 km / sn hızla gelen yaklaşık 1.2 nPa dinamik bir basınca sahiptir [7].



**Şekil 3.** Manyetosferik Çevre [8]

Şekil 3'te yukarıda belirtilen süreçler nedeniyle oluşan akımlar ve bölgeler görülmektedir. Gün tarafında, Dünya'nın manyetik alanı ile güneş rüzgârı dinamik basıncı arasındaki dengenin gerekliliği nedeniyle gün tarafında manyetopoz akımı akar [8].

Bu akım sistemi, dinamik basınç arttığında yüksek yoğunluklu ve / veya hızlı güneş rüzgârı dönemlerinde Dünya'ya doğru itilir ve yönü nedeniyle Dünya'nın manyetik alanında pozitif dalgalanmalar yaratır. Gece yarısında, parçacıkların kayması nedeniyle batıya doğru akan Dünya çevresindeki halka akımına ek olarak, kuyruk arası akım sistemi görülür. Manyetosferik konveksiyon, o bölgedeki parçacıkların sayı yoğunluğunu kontrol eder. Akım, iyonosferik akımlar yoluyla veya manyetosferde her iki alan hizalı akımda da kapalıdır. Halka akımı Dünyanın gece tarafında daha güçlüdür ve tekdüze değildir [9].

Akdeniz Bölgesi adını komşu olduğu Akdeniz'den alan Türkiye yüzölçümünün %14,2'sini kaplayan bölgeden oluşmaktadır. Akdeniz Bölgesi, nüfus yoğunluğu ve yüzölçümü bakımından diğer bölgeler arasında 4. sırada iken, nüfus çokluğu oranında 3. sırada yer almaktadır. Akdeniz Bölgesi Türkiye'nin güney kısmında bölgesel olarak genişleyip daralan bir yapıya sahiptir [10].

Bölgeyi oluşturan şehirler ise; Adana, Antalya, Osmaniye, Hatay, Mersin, Kahramanmaraş, Isparta ve Burdur illeridir. Bu il merkezlerinin en yüksek rakımlısı 1049 metre ile Isparta iken en düşük rakımlısı ise 10 metre ile Mersin ilidir. Bölge bir şerit halinde uzandığı için iller arası enlem farkı en fazla



Hatay ile Burdur arasında görülmektedir. Söz konusu özellikler tablo 2 ve şekil 4'te görülmektedir.

**Tablo 2.** Akdeniz bölgesi illerinin rakım ve koordinatları

İl	Rakım (Metre)	Enlem	Boylam
Adana	23	37 N	35,321333 E
Antalya	39	36,88414 N	30,705630 E
Burdur	950	37,718416 N	30,282007 E
Hatay	100	36,202216 N	36,161948 E
Isparta	1049	37,764771 N	30,556561 E
K. Maraş	568	37,574957 N	36,924115 E
Mersin	10	36,8 N	34,633333 E
Osmaniye	129	37,074478 N	36,246295 E

Kozmik ışınlar aynı enlem üzerinde bulunan bölgelerin boylamına göre değişim göstermezler. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) tarafından belirlenen doz birimlerine göre aktivite; radyoaktif bir maddede bir saniye içerisinde gerçekleşen bozunma adedine denk gelmektedir. Birimi becquerel'dir. Birim zamanda ışınlanma miktarına ışınlanma dozu, birim kütlede soğurulan radyasyon miktarına absorbe doz ve canlı dokunun her bir gramında 1 rad değerinde etki gösteren ışın miktarına ise insan eşdeğer dozu denip, birimi ise sievert(Sv)dır [12].

**Tablo 3.** Radyasyon dozu birimleri [12]

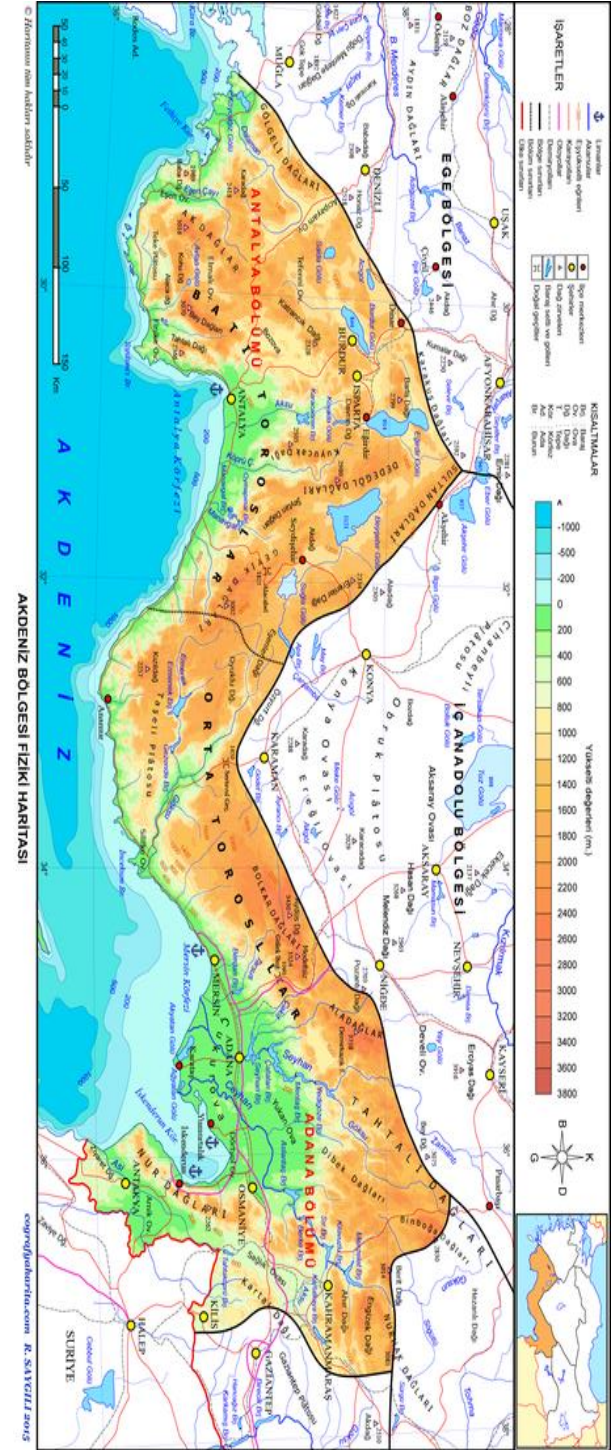
	Eski Birim	Yeni Birim	Dönüşüm
Aktivite	Curie	Becquerel	1 Ci=3,7x10 <sup>10</sup> Bq
Işınlanma Dozu	Röntgen	Coulomb/kg	1R=2,58x10 <sup>-4</sup> C/kg
Soğurulmuş Doz	Rad	Gray(Gy)	1Gy=100 rad
Eşdeğer Doz	Rem	Sievert(Sv)	1Sv=100 rem

Radyasyon güvenlik yönetmeliği gereğince;

a) Radyasyon altında çalışan personeller için ard arda gelen beş yılın ortalama değeri 20 mSv'i, herhangi bir senede ise 50 mSv'i geçemez. Ayak ve el veya vücut için yıllık doz eşdeğer sınırı 500 mSv, göz için ise 150 mSv'dir. Cilt için en fazla radyasyona maruz bulunan 1cm'lik bölgenin doz eşdeğeri, diğer bölgelerin dozuna bakılmaksızın ortalama cilt doz eşdeğeri olarak belirlenmektedir.

b) Topluğa ait bir bireyde etkili doz yıllık 1mSv'i geçemez. İstisnai durumda; ard arda beş yılın ortalama değeri 1mSv olmak kaydıyla 5 mSv'da kadar uygun görülür. Cilt için yıllık doz eşdeğere sınırı 50 mSv iken göz merceğinde 15 mSv'dir.

c)18 yaşından küçük bireyler radyasyon ortamı altında çalıştırılmazlar [13].



**Şekil 4.** Akdeniz Bölgesi [11]

ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu)'nin belirlemiş olduğu ölçütler ise tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Yıllık alınan doz ve önlem düzeyleri (ICRP) [14]

Yüksek	>100 mSv
Artmış	10-100 mSv
Düşük	1-10 mSv
Çok Düşük	<1 mSv
Önemsiz	<0.01 mSv

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Fluka/Flair Programı

Fluka, proton ve elektron hızlandırıcı korumadan hedef tasarıma, kalorimetriye, aktivasyona, dozimetriye, dedektör tasarımına, Hızlandırıcı tahrikli sistemlere, kozmik ışınlar, nötrino fiziği, radyoterapi vb. konulara kadar uzanan, geniş bir uygulama yelpazesini kapsayan parçacık taşınımı ve madde ile etkileşimlerin hesaplanması için genel amaçlı bir araçtır.

Fluka'nın tasarım ve geliştirilmesindeki en büyük öncelik, her zaman sağlam ve modern fiziksel modellerin uygulanması ve geliştirilmesi olmuştur. Mümkün olduğunda mikroskobik modeller benimsenir, tüm reaksiyon basamakları ve reaksiyon tipleri arasında tutarlılık sağlanır. Her adımda koruma yasaları uygulanır. Sonuçlar tek etkileşim düzeyinde deneysel verilere göre kontrol edilir. Sonuç olarak, tüm enerji / hedef / mermi kombinasyonları için sabitlenmiş minimum serbest parametre seti ile nihai tahminler elde edilir. Bu nedenle, karmaşık durumlarda sonuçların yanı sıra özellikler ve ölçeklendirme yasaları, temel fiziksel modellerden doğal olarak ortaya çıkar, deneysel verilerin doğrudan meVcut olmadığı yerlerde verimlilik sağlanır ve etkileşimler içindeki ve dış bileşenleri arasındaki korelasyonlar korunur.

Fluka, 100 eV–1 KeV'den binlerce TeV'e fotonlar, elektronlar, nötrinolar, herhangi bir enerjinin müonları, 20 TeV'e kadar olan enerjilerin (Fluka'yı Dpmjet koduyla bağlayarak 10 peV'e kadar) hadronları dâhil olmak üzere yaklaşık 60 farklı parçacığın maddesindeki etkileşimi ve yayılımı, yüksek doğrulukla ve karşılık gelen tüm anti partikülleri, termal enerjilere ve ağır iyonlara kadar nötronlar simüle edebilir. Program ayrıca polarize fotonları (örneğin senkrotron radyasyonu) ve optik fotonları da taşıyabilir. Kararsız artık çekirdeklerden yayılan radyasyonun zaman evrimi ve takibi hat üzerinde gerçekleştirilebilir.

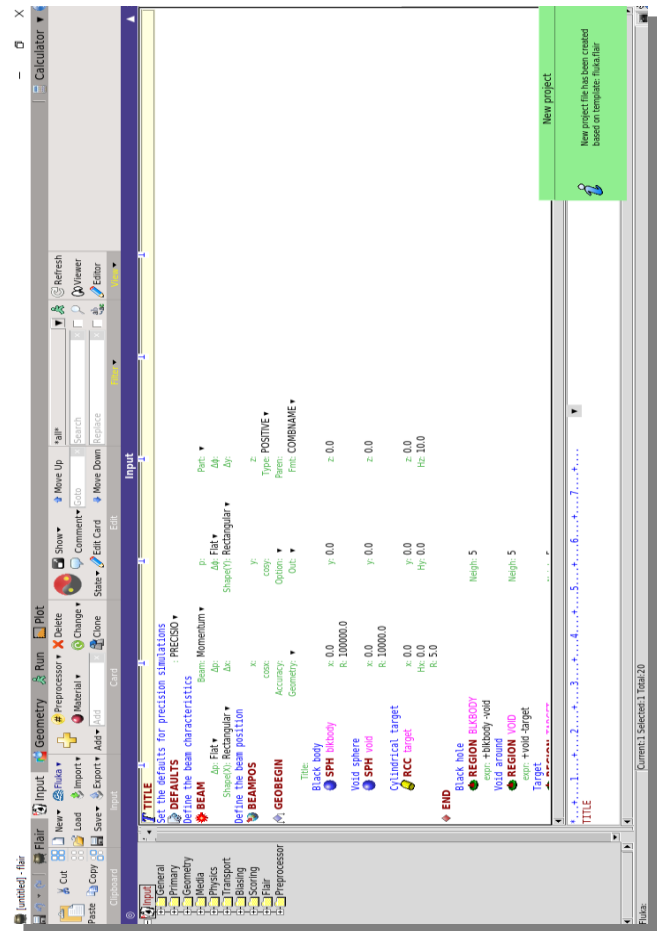
Fluka, iyi bilinen Kombinatorial Geometri (CG) paketinin geliştirilmiş bir sürümünü kullanarak çok karmaşık geometrileri bile işleyebilir. Fluka CG, yüklü parçacıkları (manyetik veya elektrik alanların varlığında bile) doğru bir şekilde izlemek üzere tasarlanmıştır. Çeşitli görselleştirme ve hata ayıklama araçları da mevcuttur.

Çoğu uygulama için kullanıcıdan programlama gerekmez. Ancak, özel gereksinimleri olan kullanıcılar için bir dizi kullanıcı arabirimi yordamları (Fortran 77'de) kullanılabilir.

Fluka fiziksel modelleri çeşitli dergi ve konferans makalelerinde açıklanmıştır; Teknik tarafta, verimlilik, doğruluk, tutarlılık ve esneklik gibi görünüşte birbiriyle çelişen dört gereksinime vurgu yapılmıştır.

Tablo arama örneklemesine sık sık başvurularak verimlilik sağlanmış ve sistematik bir çift kesinlik kullanımı genel doğruluk üzerinde büyük bir etkiye sahip olmuştur: her iki nitelik de benimsenen algoritmaların dikkatli bir seçiminden yararlanılmıştır. Kullanıcı tarafından yazılan kod ihtiyacını en aza indirirken makul bir esneklik elde etmek için, programa kullanıcıya sunulan çok sayıda seçenek sağlanmış ve dinamik boyutlandırma getirilerek tamamen yeniden yapılandırılmıştır.

Muhtemelen başka hiçbir Monte Carlo programında bulunmayan Fluka'nın bir başka özelliği de tamamen analog bir modun yanı sıra önyargılı bir modda da kullanılabilme yeteneğidir. Bu, dalgalanmaları, sinyal tesadüflerini ve diğer ilişkili olayları tahmin etmek için kullanılabilmesine rağmen, birçok büyüklük sırasına göre zayıflamalarla bağlantılı olarak diğer nadir olayları araştırmak için çok çeşitli istatistiksel tekniklerin de mevcut olduğu anlamına gelir [15].



**Şekil 5.** Fluka/Flair Arayüzü

## Fluka/Flair'de Kozmik Işın Hesabı

Fluka'da bir işlemin yapılabilmesi için öncelikle problem belirlenir ve problem üzerine program mimarisi inşa edilir. Çalışmamızda kozmik ışın radyasyon doz eşdeğeri hesabı yapılacağı için bu doğrultuda tanımlamalar yapılır. Ölçüm yapılacak bölgenin irtifasına göre ABD standartlarında fluka atmosferik katman yapısına karşılık gelen kodlar kullanılır.

FLUKA region	km from s.l.	US St. Atm. Depth (g/cm <sup>2</sup> )	FLUKA region	km from s.l.	US St. Atm. Depth (g/cm <sup>2</sup> )	FLUKA region	km from s.l.	US St. Atm. Depth (g/cm <sup>2</sup> )
1.0	70.0	0.092	35.0	31.6	9.367	69.0	10.7	242.777
2.0	68.5	0.108	36.0	30.8	10.540	70.0	10.2	260.107
3.0	67.1	0.126	37.0	30.0	11.849	71.0	9.8	278.093
4.0	65.6	0.146	38.0	29.2	13.309	72.0	9.4	296.729
5.0	64.2	0.170	39.0	28.4	14.937	73.0	8.9	316.007
6.0	62.8	0.198	40.0	27.7	16.748	74.0	8.5	335.921
7.0	61.5	0.230	41.0	26.9	18.763	75.0	8.1	356.460
8.0	60.1	0.266	42.0	26.2	21.004	76.0	7.7	377.615
9.0	58.8	0.308	43.0	25.5	23.492	77.0	7.3	399.374
10.0	57.5	0.356	44.0	24.8	26.255	78.0	6.9	421.727
11.0	56.2	0.411	45.0	24.1	29.290	79.0	6.6	444.661
12.0	55.0	0.474	46.0	23.4	32.613	80.0	6.2	468.163
13.0	53.8	0.546	47.0	22.7	36.244	81.0	5.8	492.219
14.0	52.5	0.628	48.0	22.1	40.205	82.0	5.5	516.815
15.0	51.4	0.722	49.0	21.4	44.516	83.0	5.1	541.936
16.0	50.2	0.828	50.0	20.8	49.201	84.0	4.8	567.566
17.0	49.1	0.950	51.0	20.2	54.283	85.0	4.4	593.691
18.0	47.9	1.088	52.0	19.6	59.785	86.0	4.1	620.295
19.0	46.8	1.245	53.0	19.0	65.733	87.0	3.8	647.359
20.0	45.7	1.423	54.0	18.4	72.152	88.0	3.4	674.869
21.0	44.7	1.625	55.0	17.8	79.068	89.0	3.1	702.807
22.0	43.6	1.854	56.0	17.2	86.506	90.0	2.8	731.155
23.0	42.6	2.112	57.0	16.7	94.493	91.0	2.5	759.898
24.0	41.6	2.404	58.0	16.1	103.057	92.0	2.2	789.016
25.0	40.6	2.734	59.0	15.6	112.224	93.0	1.9	818.493
26.0	39.6	3.106	60.0	15.0	122.023	94.0	1.6	848.311
27.0	38.7	3.525	61.0	14.5	132.482	95.0	1.3	878.453
28.0	37.7	3.996	62.0	14.0	143.628	96.0	1.1	908.900
29.0	36.8	4.526	63.0	13.5	155.489	97.0	0.8	939.636
30.0	35.9	5.121	64.0	13.0	168.094	98.0	0.5	970.643
31.0	35.0	5.789	65.0	12.5	181.471	99.0	0.3	1001.903
32.0	34.1	6.538	66.0	12.0	195.646	100.0	0.0	1033.400
33.0	33.3	7.378	67.0	11.6	210.649			
34.0	32.4	8.317	68.0	11.1	226.507			

Şekil 6. Fluka atmosferik derinlik [16]

Kozmik ışın hesaplamaları SPECSOU ve GCR-SPE (başlatma amacıyla) kullanılır. Ayrıca atmogeo.cards adı ile üretilen dünya geometrisi programa eklenerek hesaplama işlemi yapılır.

## TARTIŞMA

Yapılan çalışmada Akdeniz bölgesine ait illerin kozmik radyasyon doz eşdeğerleri fluka/flair programı ile hesaplanmış olup değerler Tablo 7'de görülmektedir. Yapılan hesaplamalar ise mikroSieVert/year türündendir. Tablo 7 incelendiğinde en fazla kozmik ışın radyasyonuna maruz kalan ilin 1049 metre rakımı ve 467,6  $\mu$ S değeri ile Isparta olduğu görülmekle birlikte en az radyasyon maruziyetinde kalan ilin ise 10 metre rakımı ve 285,4  $\mu$ Sv/y değeri ile Mersin olduğu görülmektedir. Osmaniye ve Hatay arasındaki 1 derecelik enlem faktörünün ve 23 metrelik rakım değerinin sadece 3  $\mu$ Sv/y'lık bir etki yaptığı yani enlem faktörünün kısa mesafelerde çok etkili olmadığı görülmektedir.

Tablo 5'te ise Gazi üniversitesi tarafından yapılan Orta Karadeniz kozmik radyasyon doz eşdeğeri verilerinin alındığı illere ait coğrafi veriler görülmektedir.

Tablo 5. Orta Karadeniz'in rakım, enlem ve boylamı [17]

İller	Enlem	Boylam	Rakım(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

Gazi üniversitesi tarafından yapılan bu çalışmada Orta Karadeniz kozmik radyasyon doz eşdeğer verileri Tablo 8'de verilmektedir. Bu verileri incelediğimizde rakımı 0 metre olan Sinop ili 341  $\mu$ Sv/y'lık bir değerde iken rakımı 776 metre olan Çorum ilinin kozmik radyasyon maruziyeti 441  $\mu$ Sv/y bir değerde olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan bu çalışma, bizim çalışmamızı doğrular nitelikte olup kozmik radyasyon doz eşdeğerinin rakım ile doğru Orantılı bir şekilde arttığını ispat ederken enlem faktörünün kısa mesafelerde çok etkili olmadığını göstermiştir. Yapılan her iki çalışmada en fazla etkiye sahip olan parçacığın müonlar olduğu tespit edilmiş olup bu parçacığın en fazla etki göstermesinin nedeni ise ikincil kozmik ışınlar içerisinde en son oluşan parçacıklar olması olduğu düşünülmektedir.

Protonların en az etki göstermesinin sebebi ise birincil parçacıklara ait olmaları ve kapsamlı hava duşları ile yeryüzüne ulaşana kadar parçalanmaları olduğu düşünülmektedir. Bunu doğrulayan bir kanıt ise rakım değeri arttıkça proton maruziyetinin artmasıdır. Yine aynı şekilde rakım arttıkça nötron maruziyeti de artmaktadır.

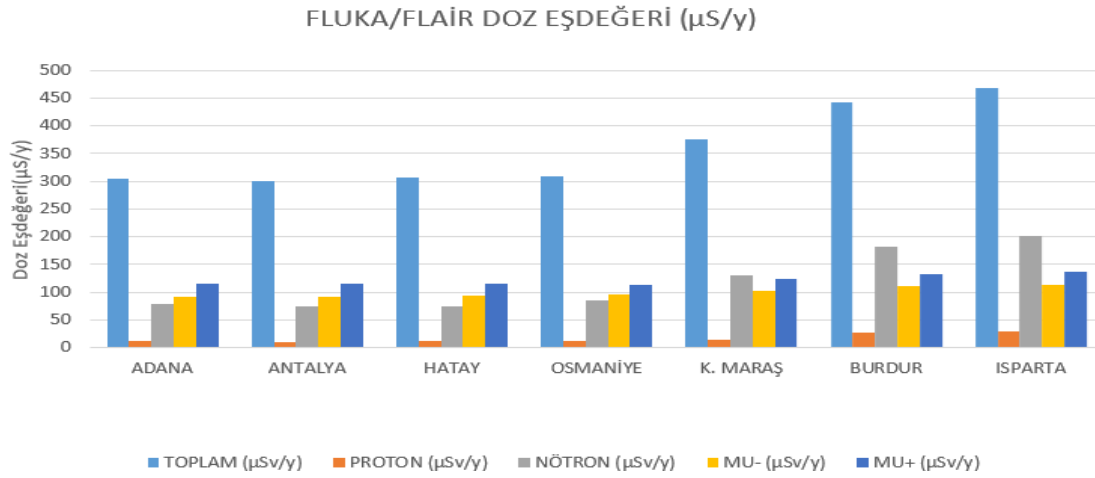
Şekil 7 ve tablo 6'da çalışmamıza ait verilerin sütun grafik ve yüzdesel dağılımları verilmektedir.

Tablo 6. Parçacık maruziyet oranı

İl	Proton (%)	Nötron (%)	-Mu (%)	+Mu (%)
Adana	4,02	25,77	30,3	37,6
Antalya	3,5	24,95	30,6	38,2
Burdur	6,2	41,33	25,08	30,02
Hatay	3,86	24,18	30,43	37,37
Isparta	6,37	43,07	24,16	29,02
K.Maraş	4	34,77	26,98	32,77
Mersin	3,29	24,07	33,11	38,99
Osmaniye	3,63	27,78	30,83	36,7

Parçacıkların toplam etki üzerindeki yüzdelik dilimleri incelendiğinde %70 seviyesinde muon parçacıklarının etkili olduğu görülmektedir. Bu etkiyi sırası ile nötron ve proton takip etmektedir.





Şekil 7. Fluka/Flair doz eşdeğer grafiği

Tablo 7. Orta Karadeniz bölgesi illerine ait veriler

İl	Toplam(μSv/y)	Proton(μSv/y)	Nötron(μSv/y)	-Muon(μSv/y)	+Muon(μSv/y)
Adana	305,3±0,89	12,3±0,4	78,7±1,06	92,5±0,65	114,8±0,65
Antalya	300,6±0,92	10,4±0,34	75±1,24	92±0,68	114,5±0,64
Burdur	441,3±5,04	27,4±0,62	182,4±2,04	110,7±0,71	132,5±0,72
Hatay	305,6±0,97	11,8±0,37	73,9±1,02	93±0,71	114,2±0,84
Isparta	467,6±5,14	29,8±0,71	201,4±3,02	113±0,9	135,7±0,76
K.Maraş	375±2,46	15±0,43	130,4±1,86	101,2±0,88	122,9±0,68
Mersin	285,4±0,87	9,4±0,33	68,7±0,68	94,5±0,74	111,3±0,7
Osmaniye	308,4±0,98	11,2±0,35	85,7±1,12	95,1±0,72	113,2±0,69

Tablo 8. Orta Karadeniz bölgesi illerine ait veriler[17]

İl	Toplam(μSv/y)	Proton(μSv/y)	Nötron(μSv/y)	-Muon(μSv/y)	+Muon(μSv/y)
Amasya	378	17	136	99	125
Çorum	441	22	180	105	134
Ordu	310	13	88	93	117
Samsun	319	14	90	94	120
Sinop	341	15	100	98	126
Tokat	363	17	128	96	122

## SONUÇ

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesine ait olan illerin kozmik radyasyon doz eşdeğerleri tespit edilmiş olup diğer şehirler ve ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu)'nin belirlemiş olduğu sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen ölçüm değerlerine göre maruziyet oranı 467,6 μSv/y değeri ile en yüksek çıkan il olan Isparta bile radyasyon güvenlik yönetmeliğinin yılda 1mSv'lık değerinin %50'lik kısmını kaplayamamıştır. ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu)'nin belirlemiş olduğu ölçütlere göre 1mSv'nin altında bulunduğu için çok düşük kategorisinde yer almaktadır.

Rakım ve enlem artışı ile kozmik ışın maruziyeti arasında bir paralellik tespit edilmiş olup rakım artışının ihmal edilemeyecek derecede maruziyet artışına sebep olduğu görülmüştür. Bununla birlikte aynı enlem üzerinde yer alan bölgelerde boylamın etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Dünya'nın manyetik alanın yapısı ile kozmik radyasyon artış bölgelerine bakıldığında kutuplara doğru van allen radyasyon kuşağındaki incelden dolayı kutup bölgelerine gidildikçe kozmik radyasyon doz eşdeğerinin arttığı düşünülmektedir. Ayrıca 10 metre rakıma sahip Mersin ilinin 285,4 μSv/y değeri ile 5 metre rakımdaki Ordu ilinin 310 μSv/y'lık değerleri kıyaslandığında rakımları hemen hemen aynı olmasına rağmen daha kuzeyde bulunan Ordu ilinin kozmik radyasyon maruziyetinin daha fazla olması savımızı kanıtlar niteliktedir.

Kozmik ışının parçacık dağılımı incelendiğinde ise ikincil parçacıklar arasında yer alan müonların en fazla dilimi kapladığı görülmüştür. Müonların en fazla sayıda bulunmasının nedeni ise oluşan hava duşu ürünlerinin son kısmında yer alması olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda protonun en az etkiye sahip olması da birincil parçacıklar arasında olması düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmam esnasında bana derin tecrübe ve bilgileri ile yardımcı olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hanifi ÇAM Bey'e teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKÇA

- [1] Schlaepfer, H. Cosmic Rays, 2003, 15(1), 1. 2003.
- [2] Newton, D. W. Measuring the Lateral Distribution of Extensive Air Showers to Characterise Properties of Cosmic Rays Above 1EeV, 2005, Leeds Üniversitesi, Doctora Tezi, 7-9s, Leeds. 2005.
- [3] Harmsna, S. Radio signals of cosmic ray induced air showers at the Pierre Auger Observatory. 2011. Groningen Üniversitesi, Doktora Tezi, 4-6s, Hollanda. 2011.
- [4] Bomoni, G., Checchia P., D'Errico M., Pagano D., Saragino G., Progress in Particle and Nuclear Physics, 112, 103768, 2020.
- [5] Ergi, H. Kozmik ışın kaynaklı nötronların akısı ve enerji dağılımı. 2014. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 49s, Ankara. 2014.
- [6] Ahmed, S. N., Physics and Engineering of Radiation Detection, Academic Press, Elsevier, 2007.
- [7] Parker, E. Solar wind In C. Kamide handbook of the solar terrestrial environment. Springer. 2007. Berlin Heidelberg New York, 539s. 2007.
- [8] Kalafatoğlu, E. C. Upper atmospheric joule heating and magnetospheric: A case study. 2010. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 69s, İstanbul. 2010.
- [9] McPherron, R. Physical processes producing magnetospheric substorms and magnetic storms. 1991. In J. Jacobs, Geomagnetism, London, 739sf. 1991.
- [10] Özçağlar, A. 2012. Akdeniz bölgesi. <https://geography.humanity.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/277/2015/08/ADANA-B%C3%96LGES%C4%B0-1.pdf> (Erişim Tarihi: 29.11.2022)
- [11] <https://www.sutori.com/en/story/akdeniz-bolgesi--vuStfso8PnbiOXdSvdPZ352m> (Erişim Tarihi: 29.11.2022)
- [12] Coşkun, A. Radyoloji birimlerinin ortam radyasyon doz dağılımlarının belirlenmesi. 2015. Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Amasya. 2015.
- [13] Radyasyon güvenlik yönetmeliği (2000), T. C. Resmi Gazete, 23999, 24 Mart 2000.
- [14] Parlak, Y. Uysal B., Kıraç, F. S., Kovan, B., Demir, M., Ayan, A., Poyraz, L., Özaslan, İ. A., Köseoğlu, K., Yeyin, N., Dönmez, S., Radyasyon güvenliği klavuzu: Genel tanımlar ve nükleer tıp uygulamalarında radyasyondan korunma kuralları. 2020. Galenos YayıneVi, 6(1). 71-89. 2020.
- [15] Ferrari, A. Sala, P. R., Fasso, A., Ranft, J., Fluka: a Multi – paticle transport code (program version 2021). CERN-400 copiesprinted. Milan, 507s. 2021.
- [16] <https://www.fluka.org/fluka.php?id=manon!&sub=102> (Erişim Tarihi: 30.11.2022)
- [17] Pehlivan, M. Orta Karadeniz bölgesi yer seviyesi kozmik radyasyon dozunun fluka simülasyon programı yoluyla hesaplanması. 2019. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Ankara. 2019