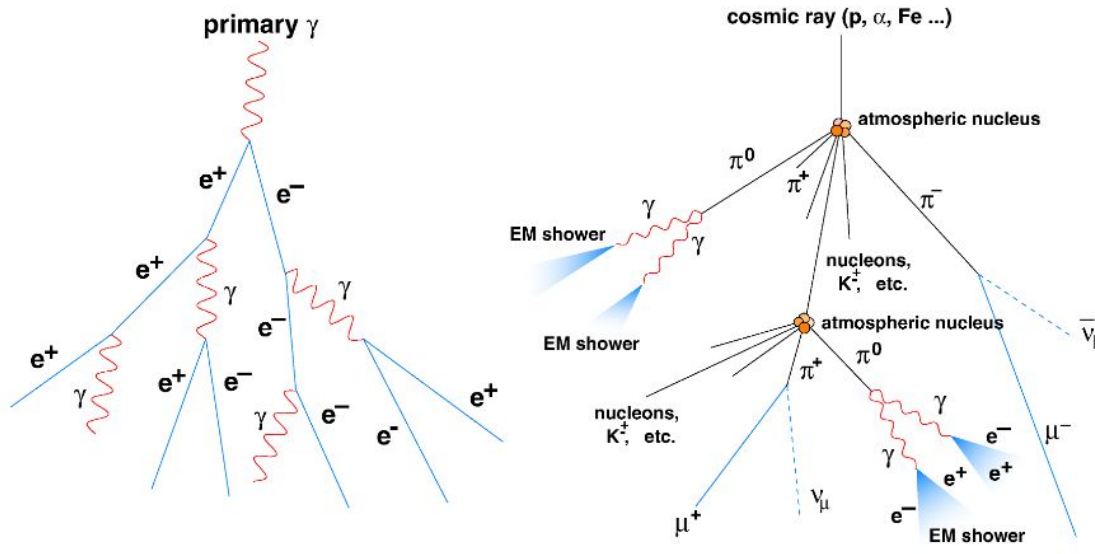


Taşınabilir Kozmik Müon Dedektörü ve Müon Akı Oranının Güneş Aktivitesi İle Korelasyonu

Meryem Kübra DAĞ¹, Tolga GÜVER¹, Suat ÖZKORUCUKLU¹, Z. Funda BOSTANCI¹, Güray GÜRKAN¹, Ahmet POLATOĞLU², Cahit YEŞİLYAPRAK²
1- İstanbul Üniversitesi , 2-Atatürk Üniversitesi

GİRİŞ

Kozmik ışınlar, geniş bir enerji aralığına sahip temel yüklü parçacıklardan ve çekirdeklerden oluşur. Bu parçacıklar Dünya'nın üst atmosferine geldiklerinde çarpışarak müonlar gibi ikincil parçacıklara bozunurlar. Burada tespit aşamasında esas aldığımız ikincil parçacık olan Müonlar, **yer tabanlı** dedektörler aracılığıyla kolayca tespit edilebilirler.



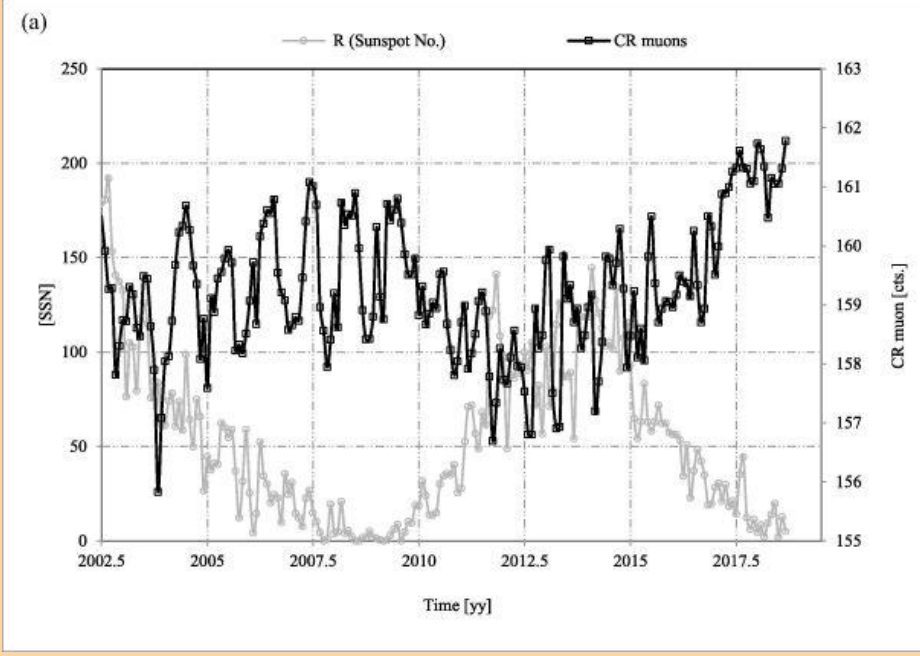
Şekil. 1. – Kozmik ışın ve gama ışını tarafından başlatılan iki atmosferik parçacık yağmurunun şematik gösterimi
DE ANGELIS, O. MANSUTTI, and M. PERSIC

Müon akısı üzerine en yakınımızdaki etken olarak Güneş'in rolü son derece önemlidir. Kozmik ışın akısı ile Güneş'teki aktivite arasında bir korelasyon olup olmadığı yönünde birçok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmalar zaman bağlamında ikiye ayrılabilir.

- **Uzun süreli değişimler:** Güneş'in 11 yıllık aktivite çevrimi süresince Kozmik Işın akısı ölçülerek Güneş aktivitesi ile korelasyonun incelenmesi.
- **Kısa süreli değişimler:** Kozmik ışın akısının, Dünya'ya ulaşan koronal kütle atım olaylarıyla gün bazlı ani düşüşünün (**Forbush Decrease**) gözlenmesi.

Güneş Lekelerinin Kozmik Işın Akısıyla İlişkisi



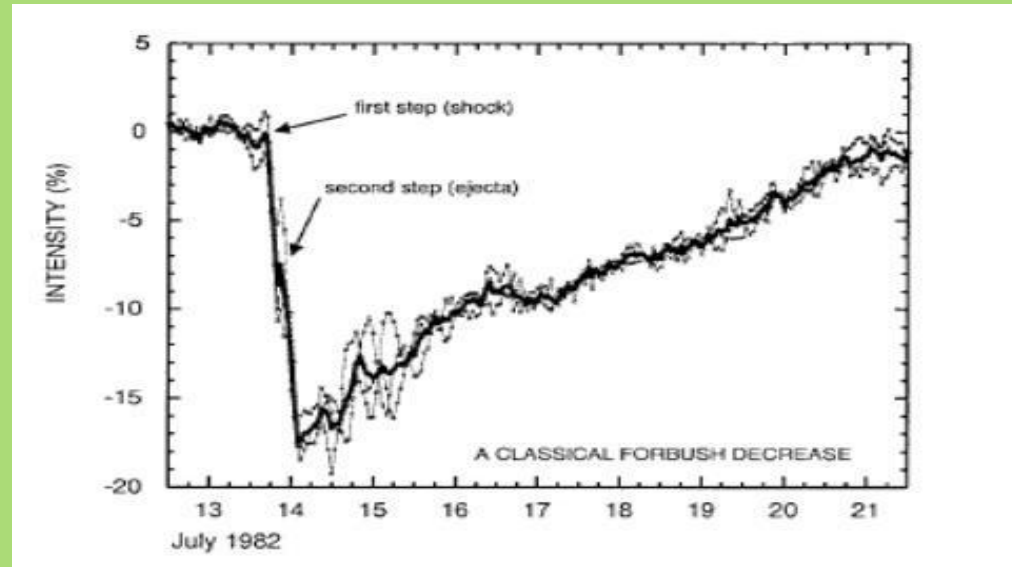
Şekil.2. Aylık ortalama güneş lekeleri sayısı (SSN) KACST tek kanallı müon dedektörü tarafından 2002-2017 arasında gözlemlenen kozmik ışın değişimi (CR Muons) grafiği

King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST) Riyad'da bulunan Sintilasyon dedektörünün¹, çalıştığı süre boyunca (2002-2018) elde ettiği ;

- 1- Kozmik ışın akısının (koyu renkli grafik)
 - 2- Güneş lekeleri sayısının (açık renkli grafik)
- aylık ortalama verilerinin karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmada minimum ve maksimum Güneş aktivitesi dönemlerinde anlamlı bir anti korelasyon gözlenmiştir. Yüksek Güneş Aktivitesi süresince Kozmik Işın oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Forbush Azalması



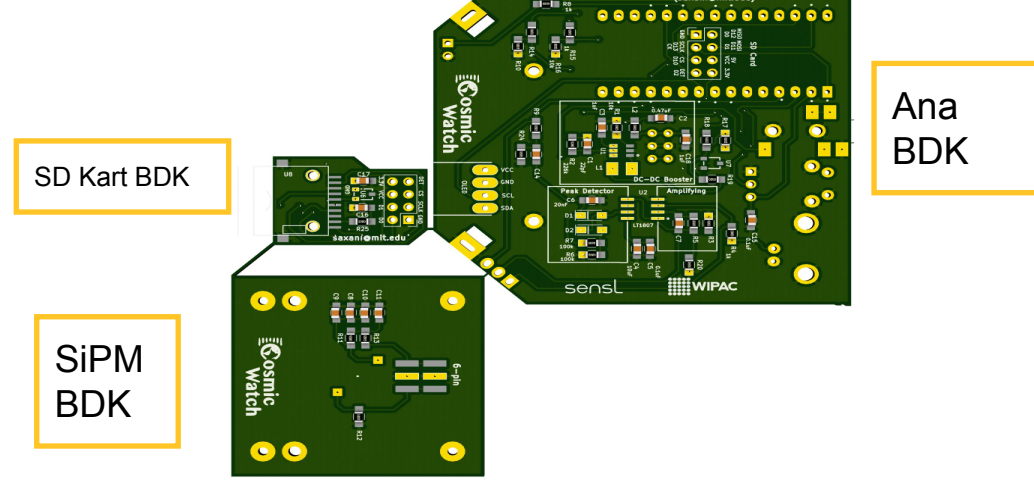
Şekil. 3. İki adımlı Forbush azalması, Cane 2000²

Forbush azalması, Dünya'ya ulaşan kozmik ışın akısındaki kısa süreli düşüşlerdir. Güneş'ten gelen koronal kütle atımlarının (CME'ler) ve bunların yol açtığı şokların etkilerinden kaynaklanır.

Uzay havasına olan ilginin son zamanlarda artmasıyla birlikte, bu olayların kozmik ışınlara etkisi de önem kazanmıştır.

DEDEKTÖRÜN İNCELENMESİ ve İLK GÖZLEMLER

Bu çalışmada taşınabilir boyutlarda kompakt tasarımı bir müon dedektörünün kurulumu ve ilk verilerinin alımı amaçlanmıştır. Yaptığımız Dedektör, MIT'den Dr. Spencer Axani'nin CosmicWatch projesi³ örnek alınarak hazırlanmıştır. Dedektör temelde gösterildiği gibi SiPM BDK, Ana BDK ve SD Card BDK olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır;



Şekil.4 MIT CosmicWatch devresine ait BDK önyüz tasarımı

CosmicWatch SiPM Pcb üzerinde 5x5x1 cm boyutlarında bir sintilatör ve buna bağlı 6x6 mm boyutlarında bir SensL Silicon fotoçoğaltıcı kullanılmaktadır.

Bu düzeniğin çalışma esası, yüklü parçacığın sintilatör üzerine düşerek sintilasyon yaratması ve yayılan morötesi/optik fotonun SiPM üzerinde fotoelektrik etkiyle elektron üreterek anlamlı bir sinyale dönüşmesine dayanır. Ana Pcb üzerindeki Arduino Nano kullanılarak, üretilen sinyalin sayılması ve okunması görevi gerçekleştirilir.

Kurduğumuz dedektör üzerinde (bkz.Şekil.5) MIT tasarımından farklı kullandığımız 2 önemli komponent bulunmaktadır. SensL SiPM (6X6) ve LT1807 Transimpedance Amplifier amaçlı kullanılmış Opamp yerine, Advansid Single SiPM (3X3) ve AD8602 opamp kullanılmıştır. Bu değişiklik mevcut bulunabilecek komponentlerle tasarlanmak istendiği için yapılmıştır.

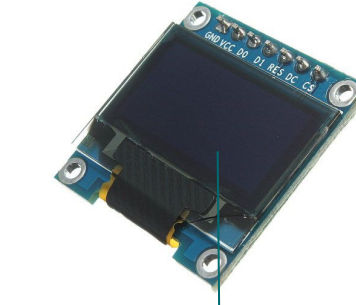
ASD-RGB3S-P

- 3x3 mm² algılama alanı
- 40 µm micro-hücreler, 60% doldurma faktörü
- DCR < 200 kHz/mm² (max overvoltage)
- Peak PDE: 550 nm'de %32,5
- Düşük darbe olasılığı
- Sıcaklık kararlılık kazancı < 1 %/°C
- MR compatible



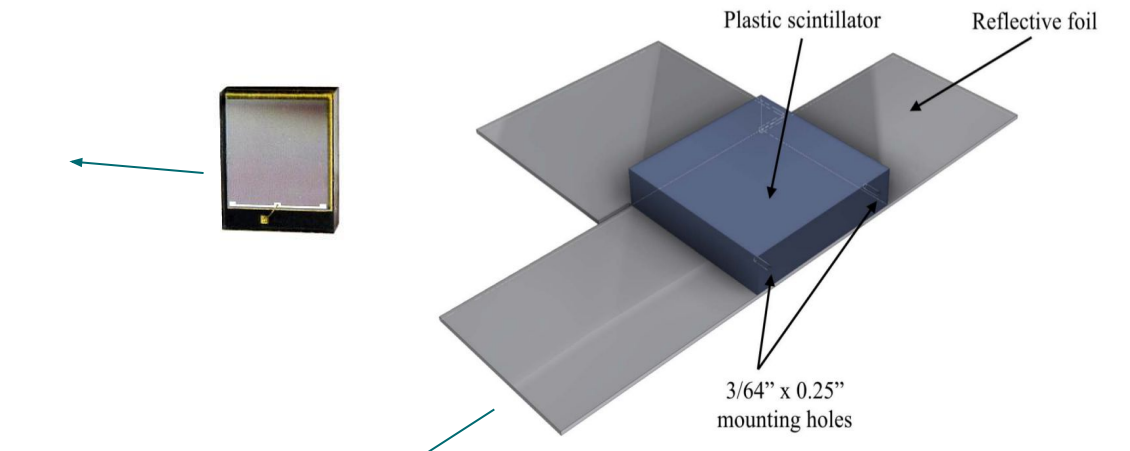
SensL C-series 6 mm×6 mm Micro-FC 60035 SiPM

- Yüksek kazanç (~10⁶) → tek foton kapasitesi
- Yüksek kuantum verimliliği (400 nm'de %30)
- Hızlı tepki süresi (ns)
- Manyetik alandan etkilenmez



0.96" OLED ekran

- her saniye güncelleme
- sayım numarası, sayım oranını ve olayın genliğini görüntüleme



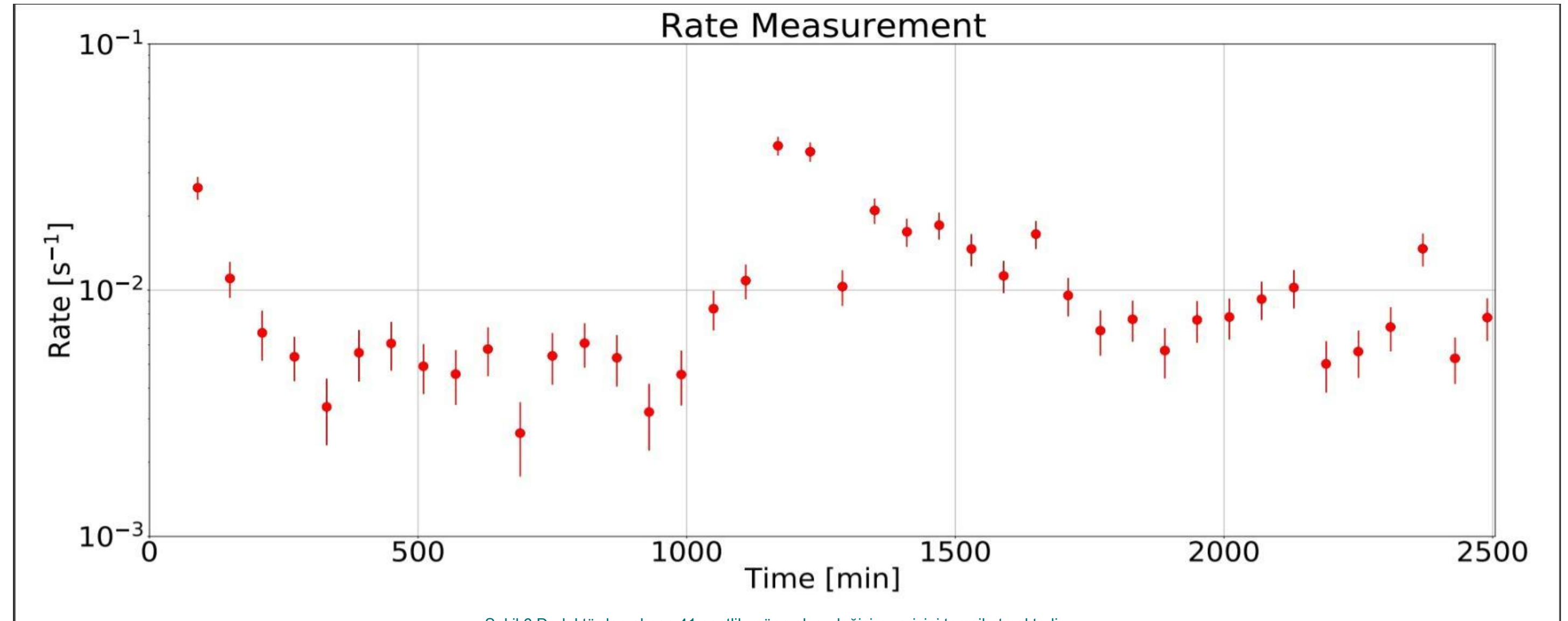
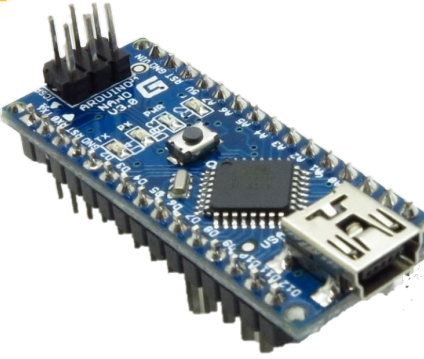
5 cm×5 cm×1 cm plastik sintilatör levhası



Şekil.5 Bu çalışmada yapılmış olan dedektörün bir resmi

16 MHz Arduino Nano ATmega328

- Basit açık kaynaklı mikrodenetleyici
- 16 MHz kristal osilatör
- 14 digital Giriş-Çıkış
- 8 analog giriş
- 40 mA pin başına akım çıkışı
- 32 kb flash hafıza



Şekil.6 Dedektörden alınan 41 saatlik müon akısı değişim verisini temsil etmektedir.

Hazırladığımız dedektörümüzden alınan yaklaşık 2 günlük ölçüm gösterilmiştir (41 saat). İlk ölçümlerimiz, dedektörümüzün büyüklüğü ile orantılı stabil bir şekilde kozmik ışın akısı gözleyebildiğimizi göstermektedir. Veriler bir saatlik ortalamalar alınarak sunulmuştur. Ancak elbette bu verilere dayanarak uzun vadeli yorumlar yapmak mümkün değildir. Önümüzdeki 3 yıllık süreçte Güneş'in 11 yıllık çevriminin maksimumuna ulaşacağımızı biliyoruz. Taşınabilir Kozmik Müon dedektörü ile ileriye dönük planımız, çok sayıda dedektörle sürekli olarak kozmik ışın takibi yapmak olacaktır. Yine de Güneş'in etkilerinin doğrudan bu çapta ekipmanlar ile gözlenebilmesi çok zordur.

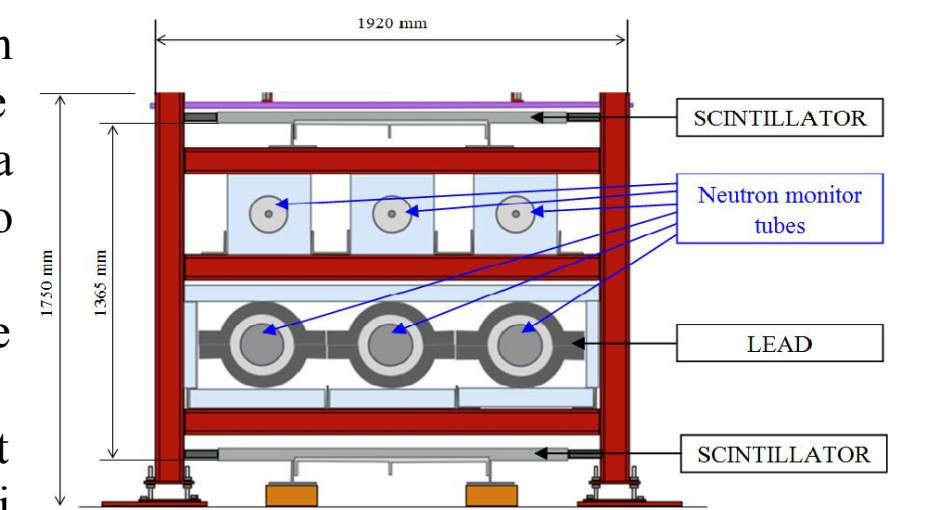
Önümüzdeki süreçte, yaptığımız dedektörü bir ilk basamak ve asıl projenin minyatürü olarak görüp büyük bir müon dedektörü projesine başlamayı hedefliyoruz.

GELECEK

Güneş aktivitesinin kozmik ışın akısı üzerindeki etkilerini gözleyebilmek için donanımsal açıdan daha büyük boyutlarda bir dedektöre ihtiyaç vardır. Taşınabilir Müon Dedektörü projesinden elde edilen deneyim ve önümüzdeki 3 yıllık süreçte Güneş aktivitesinin artacak olması sebebiyle daha büyük bir dedektör üretimi konusunda bir proje planlamaktayız. Hedefimiz en azından Sindulfo Ayuso ve arkadaşlarının MITO⁴ projesiyle (Ayuso vd. 2021) gerçekleştirdikleri büyüklükte ve kapsamda bir müon dedektörünün ekibimizce üretilmesi ve Doğu Anadolu Gözlemevi sitesine yerleştirilmesidir. Bu bağlamda Dr. Ayuso ve ekibi ile işbirliği yapılmış ve projeye yönelik finansal destek için **Assemcorp Elektronik A.Ş.** ile görüşme sağlanmıştır. Projeye finansal destek fikri şirket tarafından olumlu karşılanmıştır. Önümüzdeki süreçte projeye yönelik ilk siparişlerin verilmesi planlanmaktadır.

MITO (Muon Impact Tracer and Observer) NEDİR?

Düşük enerjili zemin gürültüsünün filtrelenmesini sağlayan bir kurşun tabaka ile iki sintilatörden (2 adet 1 m²) oluşan bir Müon dedektörüdür. Sekiz fotoçoğaltıcı tüp (PMT), sintilatörlerin dört yan tarafından çıkan ışığı toplar. MITO, yalnızca kozmik ışın akısını elde etmek için değil, aynı zamanda çoklu PMT atım verilerinin yakalanması ve analizi yoluyla müon varış yönünü kaydetmek için de tasarlanmıştır. Makul performans-maliyet oranı MITO'yu uygulanabilir kılmaktadır.



Şekil.7 Dedektörün yerleşimi ve ORCA deniz konteynerine kurulumu.

KAYNAKLAR

- 1- Maghrabi A., Almutairi M., Aldosari A., Altillasi M., Alshehri A., (2021) , Cosmic rays detection in Saudi Arabia: Review of the facilities and preliminary results, Journal of King Saud University, Fig.2a.
- 2- Subramanian P., (2009) , Forbush Decreases and Space Weather, Indian Institute of Astrophysics, Fig.3.
- 3- Axani, S., (2019), The Physics Behind the CosmicWatch Desktop Muon Detectors, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
- 4-Ayuso S.,Blanco J.J., García Tejedor J.I., Gomez Herrero R., Vrublevsky I., Poblacion O.G., Medina J., (2020), MITO: a new directional muon telescope, J. Space Weather Space Clim. 2021, 11, 13