

Kozmik Işın ve Uzay Havası Gözlemleri için CERN'de Hibrit Nötron-Müon Dedektör Sistemi Geliştirilmesi

Elif Ece DEVECİOĞLU¹, Suat ÖZKORUCUKLU², Tolga GÜVER³

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, 34116, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 34116, İstanbul, Türkiye

³İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34452, İstanbul, Türkiye



Özet

Nötron ve müon akılarını aynı gözlem noktasında eşzamanlı olarak izlemek amacıyla CERN'de hibrit bir dedektör sistemi geliştirilmiştir. Sistem; iki gazlı nötron dedektörü, sintilatör-PMT tabanlı müon dedektörleri ve meteoroloji istasyonundan oluşmaktadır. Farklı alt sistemlerden elde edilen veriler ortak zaman ekseninde birleştirilmekte, otomatik olarak işlenmekte ve web arayüzü üzerinden izlenmektedir. İlk ölçümler, nötron ve müon verilerinin karşılaştırmalı olarak analiz edilebildiğini ve sistemin uzun dönemli kozmik ışın gözlemleri için uygun bir altyapı sunduğunu göstermektedir.

1. Giriş

Galaktik kozmik ışınlar atmosferle etkileşerek nötron, müon ve diğer ikincil parçacıkları oluşturur. Güneş aktivitesindeki değişimler, Forbush azalmaları ve Yeryüzü Seviye Artışları (GLE) olayları gibi yer seviyesinden ölçülebilen kozmik ışın değişimlerine neden olabilir. Bu çalışmada, CERN'de nötron ve müonları aynı değişimlerini eşzamanlı olarak ölçen ve meteorolojik verilerle desteklenen hibrit bir gözlem sistemi geliştirilmiştir.

2. Nötron Dedektörleri

Nötron dedektörleri, nötron etkileşimleri sonucu oluşan yüklü parçacıkları algılar. Sistemde atmosferik nötron akısını izleyen iki bağımsız boron gaz dolgulu dedektör kullanılmaktadır. Her iki dedektörden alınan sayımlar bağımsız kanallar halinde zaman bilgisiyle kaydedilmektedir. Elde edilen zaman serileri, nötron akısındaki değişimlerin ve uzay havası olaylarının araştırılmasında kullanılmaktadır.

Şekil 1. Sistemde kullanılan gaz dolgulu nötron dedektörlerinden bir örnek.

3. Müon Dedektörleri



Sistemde, plastik sintilatör ve PMT'lerden oluşan iki katmanlı müon dedektörü kullanılmaktadır. Üst ve alt sintilatörlerin aktif alanları sırasıyla $16 \times 22 \text{ cm}^2$ ve $29 \times 21 \text{ cm}^2$. Müonların sintilatörlerde oluşturduğu ışık PMT'ler tarafından elektriksel sinyale dönüştürülmektedir. Her iki sintilatörde eşzamanlı sinyal görülmesi (coincidence) müon adayı olarak seçilmekte ve elde edilen zaman serileri nötron verileriyle karşılaştırılmaktadır.

Şekil 2. Sistemde kullanılan plastik sintilatör ve PMT tabanlı müon dedektörlerinden bir örnek.

4. Hibrit Dedektör Sistemi

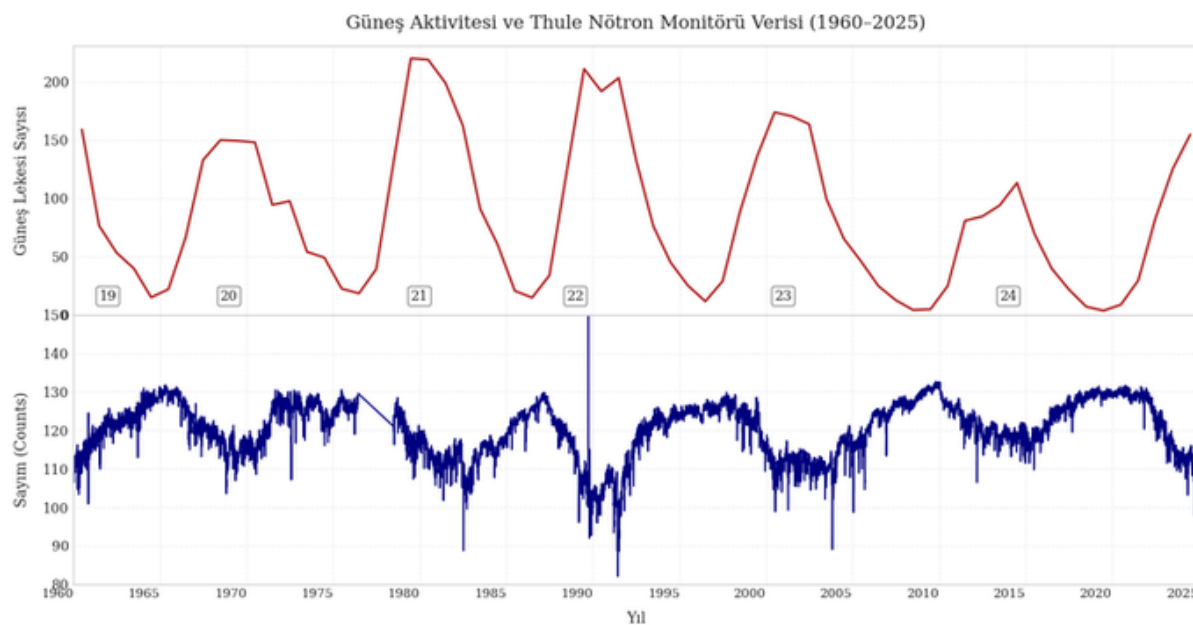
Üst ve alt sintilatörler müon dedektör sistemini, arada konumlandırılan iki gaz dolgulu dedektör ise nötron ölçüm sistemini oluşturmaktadır. Müon sinyalleri NIM crate içerisindeki diskriminatör, fan-in/fan-out, çıkışma ve sayaç modülleriyle işlenmekte; üst ve alt sintilatörlerden eşzamanlı sinyal alınması müon adayı olarak seçilmektedir. Üst sintilatörün altına yerleştirilen ince kurşun ve çelik katmanlar, ikincil parçacık üretimini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Tüm alt sistemlerden alınan veriler ortak zaman ekseninde birleştirilerek nötron ve müon değişimlerinin eşzamanlı olarak karşılaştırılması sağlanmaktadır.



Şekil 3. CERN'de kurulan hibrit nötron-müon dedektör sistemi.

5. Uzay Havası Bağlantısı

Galaktik kozmik ışın akısı, Güneş'in manyetik aktivitesi ve heliosferdeki değişimlerden etkilenmektedir. Özellikle koronal kütle atımları, Forbush azalmaları olarak gözlenen geçici kozmik ışın düşüşlerine neden olabilir. Nötron ve müon verileri; güneş rüzgârı, gezegenler arası manyetik alan, jeomanyetik indisler ve atmosferik koşullarla karşılaştırılacaktır. Böylece uzay havası kaynaklı değişimlerin farklı parçacık bileşenlerindeki etkileri birlikte incelenebilecektir.



Şekil 4. SILSO yıllık güneş leke sayıları ve THULE nötron monitörü verileri; 29 Eylül 1989 GLE olayı işaretlenmiştir.

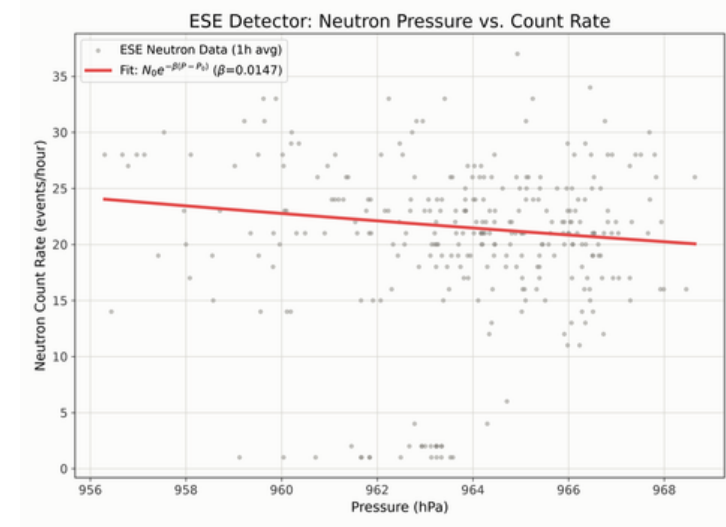
6. Yöntem

6.1 Veri Toplama

Müon sinyalleri NIM elektronığında diskriminasyon ve çıkışma (coincidence) işlemlerinden geçirilerek DRS4 veri toplama sistemiyle kaydedilmektedir. Müon seçimi için eşik değerleri discriminator'da 0,30 V, DRS4 analizinde ise 0,26 V olarak uygulanmaktadır. Nötron dedektörleri kendi sunucu altyapıları üzerinden bağımsız sayım verisi üretmektedir. Müon, nötron ve meteoroloji verileri ortak UTC zaman ekseninde birleştirilerek geliştirilen web arayüzünde izlenmekte ve arşivlenmektedir.

6.2 Veri Analizi

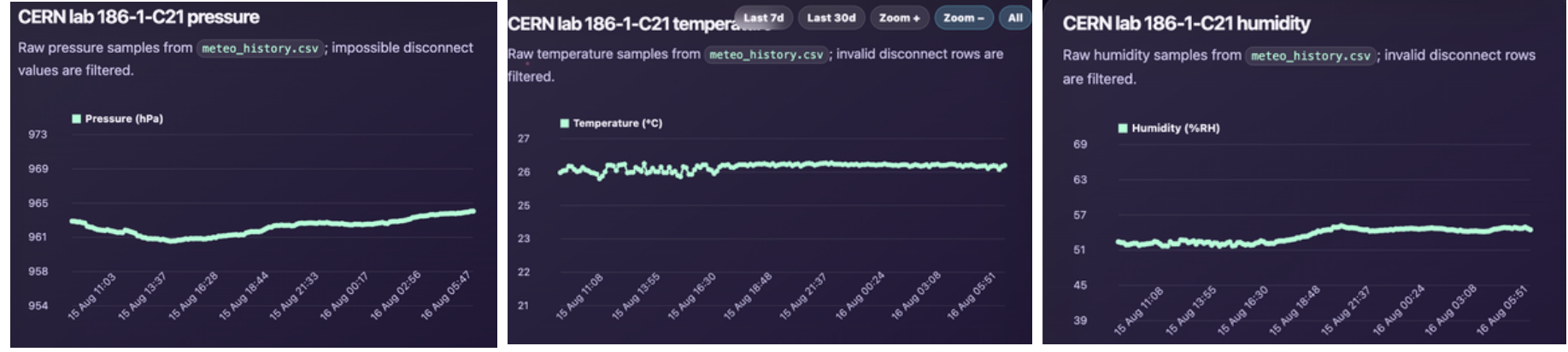
Ham veriler 1 saatlik zaman aralıklarında işlenerek nötron ve müon zaman serileri oluşturulmuştur. Veriler zaman eşleştirilmesi ve kalite kontrolünden geçirilmiş, çıkışma kayıtlar tekilleştirilmiştir. Nötron sayımlarının atmosfer basıncıyla ilişkisi belirlenerek barometrik düzeltme uygulanmıştır. Farklı müon tetikleme eşliğinin kullanıldığı test dönemi veriden çıkarılmadan grafiklerde ayrıca işaretlenmiştir.



Şekil 6. MNIB nötron sayımının atmosfer basıncına bağlı değişimi ve barometrik fiti ($\beta=0,0147 \text{ hPa}^{-1}$) göstermektedir. Basınç arttıkça sayım oranında beklenen azalma gözlenmektedir.

6.3 Meteoroloji Verileri

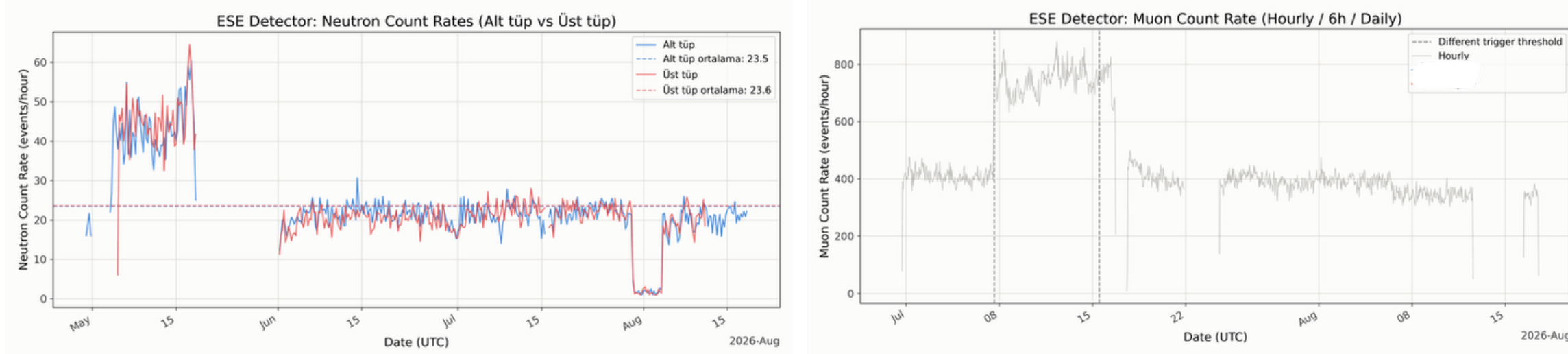
Kozmik ışın ölçümleri atmosferik koşullardan etkilenebildiği için basınç, sıcaklık ve bağıl nem eşzamanlı olarak kaydedilmektedir. Bu amaçla dedektör yakınına Arduino tabanlı bir meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Ölçülen basınç değerleri, nötron sayım oranlarındaki atmosferik etkinin belirlenmesi ve barometrik düzeltmenin uygulanması için kullanılmaktadır.



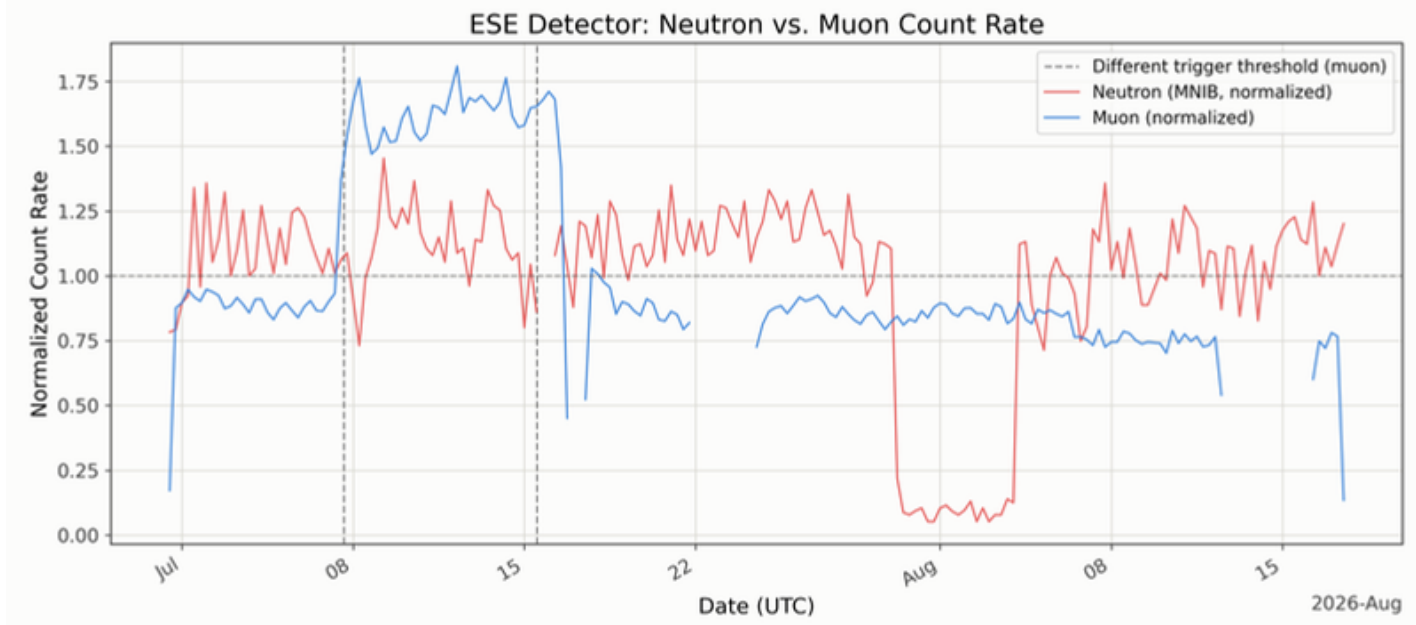
Şekil 8. Meteoroloji istasyonundan alınan basınç, sıcaklık ve bağıl nem verilerinin zaman içindeki değişimi ve örnek ölçüm değerleri.

7. İlk Ölçüm Sonuçları

Nötron veri alımı Mayıs 2026'da, müon veri alımı ise 30 Haziran 2026'da başlatılmıştır. İlk ölçümde iki bağımsız nötron kanalının benzer davranış gösterdiği ve nötron-müon verilerinin ortak zaman ekseninde izlenebildiği görülmüştür. Nötron sayımlarında atmosfer basıncıyla beklenen ters ilişki gözlenmiş ve düzeltme uygulanmıştır. Bu aşamadaki sonuçlar öncelikle sistemin veri toplama, zaman eşleştirme ve analiz altyapısının teknik doğrulanmasına yöneliktir.



Şekil 9. (Sol) İki bağımsız nötron dedektöründen (MNIB - alt tüp, MNIT - üst tüp) elde edilen saatlik sayım oranları ve ortalamaları (sırasıyla 24,5 ve 24,3 olay/saat); (Sağ) İki bağımsız kanalın birbirine yakın sonuç vermesi dedektörün iç tutarlılığını doğrulamaktadır. (Sağ) Müon sayım oranının saatlik ortalaması



Şekil 10. Normalize nötron ve müon zaman serilerinin ortak zaman eksenindeki ilk karşılaştırması. Gri çizgiler, farklı müon tetikleme eşliğinin kullanıldığı ölçüm dönemini göstermektedir.

8. Sonuç ve Gelecek Planı

CERN'de kurulan hibrit sistemde nötron ve müon bileşenlerinin eşzamanlı veri alımı başarıyla başlatılmıştır. Otomatik veri işleme, zaman eşleştirme ve meteorolojik izleme altyapısı test edilmiş; ilk nötron analizlerinde atmosfer basıncıyla beklenen ters ilişki gözlenerek barometrik düzeltme uygulanmıştır. Bu ilk sonuçlar sistemin teknik performansının ve veri akışının doğrulanmasına yöneliktir. Sonraki aşamada daha uzun veri setleriyle sistem kararlılığının incelenmesi, Forbush azalmalarının araştırılması, NMDB istasyonlarıyla karşılaştırmalar ve nötron-müon yanıtlarının uzay havası koşullarında birlikte değerlendirilmesi planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın geliştirilmesi ve yürütülmesi sürecindeki değerli katkıları, teknik destekleri ve yönlendirmeleri için Cüneyt Çeliktaş, Berkan Kaynak, Onur Potok, Osman Bayraktar ve Alexander Kaminsky'ye teşekkür ederim.

Referanslar

elifece.devecioglu@ogr.iu.edu.tr

