

## ÖZET

Jeomanyetik fırtınalar; yerdeki iletişim, GPS ve elektrik sistemlerine zarar verdiği kadar yörüngedeki uydulara da zarar verir. Örnek olarak yakın zamanda Güneş rüzgarlarından etkilenmiş STARLINK ve Capella uyduları gösterilebilir. Uydular, Güneş'ten gelen yoğun parçacık akışı sonucunda artan atmosfer yoğunluğu dolayısıyla atmosferik sürüklenmeden etkilenir. Bunun sonucunda yörünge azalması, uydu ömrü belirsizliği vb. sorunlar oluşabilir.

## AMAÇ

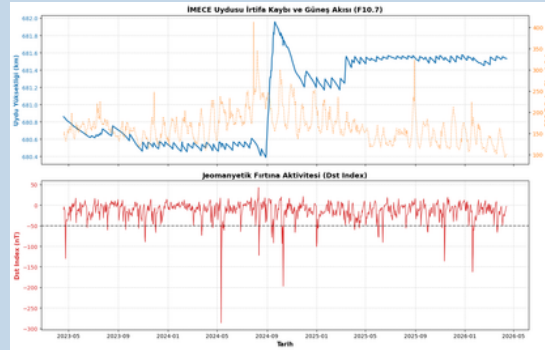
Bu projenin amacı, yerli optik uzaktan algılama uydumuz İMECE'nin uzay havasının etkili bileşeni olan Güneş rüzgarından ne kadar etkilendiğini analiz etmek, Güneş rüzgarının uydu üzerindeki etkisini anlamak ve birbirine entegre edilmesi planlanan takım uydunun henüz fırlatılmamış uyduları İMECE-2 ve İMECE-3 için geleceğe yönelik risk analizi oluşturmaktır.

## YÖNTEM

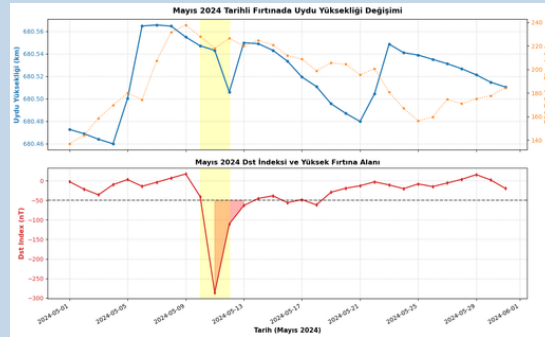
İMECE uydusunun TLE verileri (spacetrack.org) ve Güneş rüzgarı verileri\* (omniweb.gsfc.nasa.gov) kullanılarak parametreler arası ilişki, korelasyon ve regresyon analiz yöntemleri ile araştırılmıştır ve diğer uydular için Monte-Carlo yöntemi ile risk analizi yapılmıştır. Araştırma sürecinde Python (python.org) yazılım dilinden yararlanılmıştır.

- **TLE**, bir uydunun yörünge elemanlarını ve atmosferik sürüklenme parametrelerini tanımlayan standart iki satırlık veri formatıdır.
- **Dst indeksi\***, Jeomanyetik fırtına sırasında halka akımının güçlenmesiyle ekvatorial manyetik alanda (H) oluşan düşüşü gösteren bir aktivite indeksidir.
- **F10.7 indeksi\***, Güneş'in kromosfer ve koronasından yayılan 10.7 cm'lik (2800 MHz) radyo akısını ölçen temel bir güneş aktivitesi parametresidir.
- **Güneş rüzgarı hızı\*** (km/s), Güneş koronasından yayılan plazmanın hareket hızını ölçen termosferik ısınma ve uydu sürüklenmesi üzerinde doğrudan etkili temel uzay havası parametresidir.

## ANALİZLER



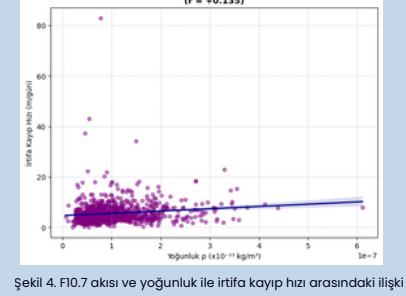
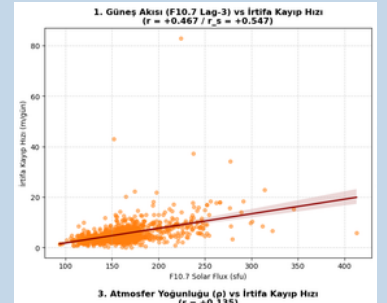
Şekil 1. Dst ve F10.7 akısı ile irtifa kaybı incelenmesi



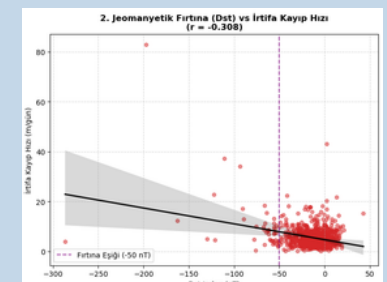
Şekil 2. Dst irtifa kaybı ve F10.7 akısının şiddetli fırtına sürecine odaklı incelenmesi



Şekil 3. Parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi



Şekil 4. F10.7 akısı ve yoğunluk ile irtifa kaybı hızı arasındaki ilişki



Şekil 5. Dst ve V ile irtifa kaybı hızı arasındaki ilişki

## SONUÇ

Yapılan analizler, İMECE uydusunun Alçak Dünya Yörüngesi'ndeki (LEO) irtifa kaybı ve atmosferik sürüklenmesine neden olan termosferik genişmeyi tetikleyen etkenin F10.7 güneş akısı olduğunu göstermektedir ( $r = +0.47$ ). Bununla birlikte, Mayıs 2024 gibi şiddetli fırtına dönemlerinde Dst indeksindeki ani düşüşler, termosfer yoğunluğunu hızla artırarak uyduda şiddetli ve ani irtifa çöküşlerine yol açmıştır. Sonuç olarak uydunun yörünge ömrü ve manevra planlamalarında uzun vadeli aşınmaya ve operasyonel risk yaratan anlık sürüklenme sıçramalarında jeomanyetik fırtınalar oldukça etkindir.

## KAYNAKÇA

- W. S. Shambaugh, "DOING BATTLE with the SUN: Lessons from LEO and Operating a Satellite Constellation in the Elevated Atmospheric Drag Environment of Solar Cycle 25," SpaceOps Conference, 2024.
- Ayisha M. Ashraf, Ankush Bhaskar, C. Vineetha, Tarun Kumar Pant, Ashna V. M., "Loss of 12 Starlink Satellites Due to Intense Space Weather Activity Surrounding the Extreme Geomagnetic Storm of 10 May 2024," [arXiv:2410.16254], 2024.
- Gábor Facskó, Gergely Koban, Nikolett Biró, Munkhjargal Lkhagvadorj, "Space Weather Effects on Critical Infrastructure," [arXiv:2306.16380], 2023.
- Steven R. Cranmer, "Solar Wind Origin," Oxford Research Encyclopedia of Physics, [arXiv:2507.13460], 2019.
- David A. Vallado ve David Finkleman, "A critical assessment of satellite drag and atmospheric density modeling," Acta Astronautica, cilt 95, s. 141–165, 2014.
- G. Vukovich, "Satellite orbit decay due to atmospheric drag," Int. J. Space Science and Engineering, Vol. 5, No. 2, 2019.
- Y. Baruah, "Geomagnetic Storms and Satellite Orbital Decay," IAU, arXiv:2506.03305v1, 2025.
- Mehmet Geldi ve Esin Sipahi, "25. Güneş Çevrimi Süresince Uzay Havası Değişimleri," 23. Ulusal Astronomi Kongresi– UAK 2024.
- Sukdev Mahapatra, "Modeling Orbital Decay of Low-Earth Orbit Satellites due to Atmospheric Drag: A Simplified Analytical Approach," [arXiv:2508.19549], 2025.
- <https://www.space-track.org/> • <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/> • <https://www.python.org/>

## TEŞEKKÜR

Bu proje 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012514055 numaralı başvuru olarak desteklenmiştir.