

# Göktaşlarında Yeryüzünün Kirleticileri Konusuna UUi Uzay Tozu Ölçümü Girişimi ve Yer Laboratuvarı Toz Sayım Örnekleri

Esenoğlu°, H.H, Paçal°, F., Çakiris°, A., Şahin°, A.E., Aysal°, N., Kaygısız°, E.

° İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

° İstanbul Üniversitesi, Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü

°° İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü

°°° İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

°°°° Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi - Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma Uygulama ve Araştırma Merkezi

P01-002

# Öz

Göktaşları Yer atmosferine girdikleri andan itibaren kirlenmeye ve taşıdıkları bilgiler eksilmeye başlamaktadır. Buna belki düştükleri yerlerde "bulaş" olma durumu da kaçınılmaz olmaktadır. Bulununcaya kadar ve sonrasında kirlilik ve bulaş yine devam etmektedir. Kirlilik ve bulaşın modellenebilmesi için yeryüzü ve UUi şartlarında mesela toz örnekleri kullanılabilir.

Bu çalışmada bir deneysel tıp araştırma laboratuvarında farklı konumlarda 6 lam üzerinde 18 kare alanda 168 saat süresince toz birikimine ve saklanmasına ilişkin sonuçlar paylaşılmıştır.

# Özet

Yer tabanlı laboratuvarlardan (iÜ, iÜ–C, iBB, Acme-Kanada ve NASA) elde edilen göktaşı analiz sonuçlarının, Uluslararası Uzay İstasyonundan (UUI) elde edilenlerden farklı olup olmayacağını belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla, UUI uzay tozu ölçümü girişiminde bulunulmuş ve Yer laboratuvarı (iÜ Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsünden) toz sayım örnekleri alınmıştır.

# Giriş

Bu araştırmanın bir kısmı "Uluslararası Uzay İstasyonu Toz Ölçümü ve Meteorit Analizi " başlıklı 3. Uzay Ekonomisi, Uzay Hukuku ve Uzay Bilimleri Sempozyumu'nda bildiri olarak sunulmuştur ve baskı aşamasındadır (Esenoğlu ve ark. 2023). Bu çalışmada daha önce yayınlarda yer almayan toz sayımı istatistiği üzerinde durulmuş ve Tartışma bölümündeki bazı yorumlarda bulunulmuştur.

Göktaşları atmosfere girdikleri andan itibaren kirlenmeye yani üzerinde taşıdığı bilgiyi azaltmaya başlıyorlar ister istemez. Buna dokundukları Dünya'ya aitlerle de tepkimeye girerek bulaş yoluyla artarak sürmektedir. En az bulaşın adresi Uluslararası Uzay İstasyonu (UUI) en çok bulaşın adresi de tüm yeryüzü olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada, nispeten iyi şartlarda görülebilecek bulaş adresi olarak ise İÜ Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü'ndeki laboratuvar ortamları denenmiştir.

Bulunan sonuçlar, uzay tozu ölçümlerine ilişkin devam eden araştırmamızda, üzerinde durduğumuz göktaşların incelenmesinde ve yaşamın genetik araştırma ölçümlerinde Dünya'nın "kirleticilerini" orijinallerinden ayırmaya yönelik güvenilirlik sınırlarının belirlenmesinde yararlı olacaktır.

# Deney ve Yöntem: Çanakkale Göktaşı

Çanakkale göktaşı (1) kimyasal ve petrografik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır, (2) spektroskopik analizi ve (3) yapısal karakterizasyonu ortaya çıkartılmıştır, (4) petrografik özellikleri belirlenmiştir, (5) amino asitler araştırılmış ve (6) Silikat ve opak minerallerin petrografisi, mineral bileşimi ve mineral kimyası, polarizasyon mikroskobu, XRD, SEM ve LA-ICP-MS yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

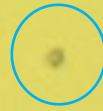
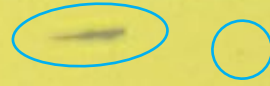
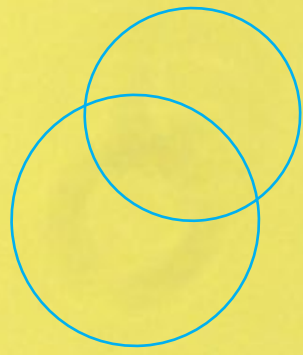


# Deney ve Yöntem: Toz Sayımı

Yer laboratuvarı toz sayım örnekleri, 6 farklı noktadan (toplamda  $6 \times 3 = 18$  adet),  $2.5 \times 7.5$  cm boyutundaki lamlar ile 12-18 Temmuz 2023 tarihleri arasında 7 gün boyunca alınmıştır. Tozun kontrolü için de 19-25 Temmuz 2023 tarihleri arasında 7 gün süreliğine korumaya alınmıştır.

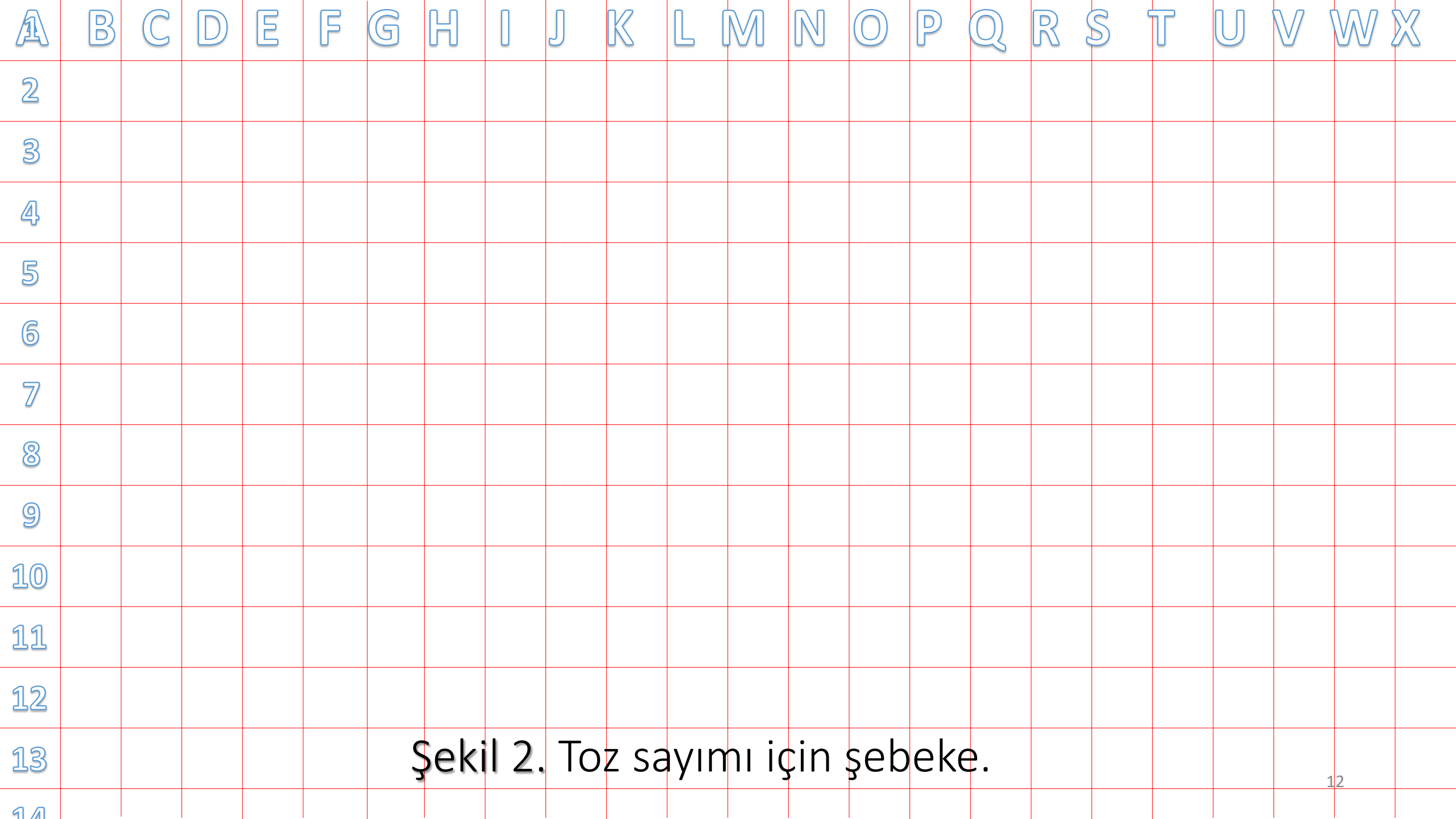
Lamlar, belirlenen noktalara yerleştirilmeden önce sabunlu suyla yıkanarak, tüm yüzeyleri %70'lik alkolden geçirilmiş ve steril bir kağıt ile silinip temizlenmiştir.

Temizlenen lamanın belirlenen yerlere yerleştirilmeden önce çekilen mikroskop görüntüsünün fotoğrafı [Şekil 1](#)'de verilmiştir. 6 adet kalıcı leke de işaretlenmiştir. Toz sayımı için de A-X arası 24 adet yatay eksenli ve 1-14 arası düşey eksenli bir şebeke oluşturulmuştur (bkz. [Şekil 2](#)).



Şekil 1. Toz toplama öncesi temiz lam.





Şekil 2. Toz sayımı için şebeke.

Her lamın 3 farklı noktası 1, 2 ve 3 rakamları ile işaretlenerek (bkz. [Şekil 3](#)) belirlenen yerlere yerleştirilmiş ve deney sonunda karelerin içinde toplanan tozların fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Bazı fotoğraflarda karelere ait çizgiler görülebilmektedir.

1 numaralı lam 2m yükseklikte laboratuvar içerisinde laminar flow cihazının üzerine konuldu (bkz. [Şekil 4.a](#)). Laboratuvar 30 m<sup>2</sup>'lik bir alana sahip. Tavan yüksekliği 3 m. Laboratuvar sürekli bir hava sirkülasyonuna sahip yaklaşık 10 kişi bu ortamda çalışmaktadır.

1

1



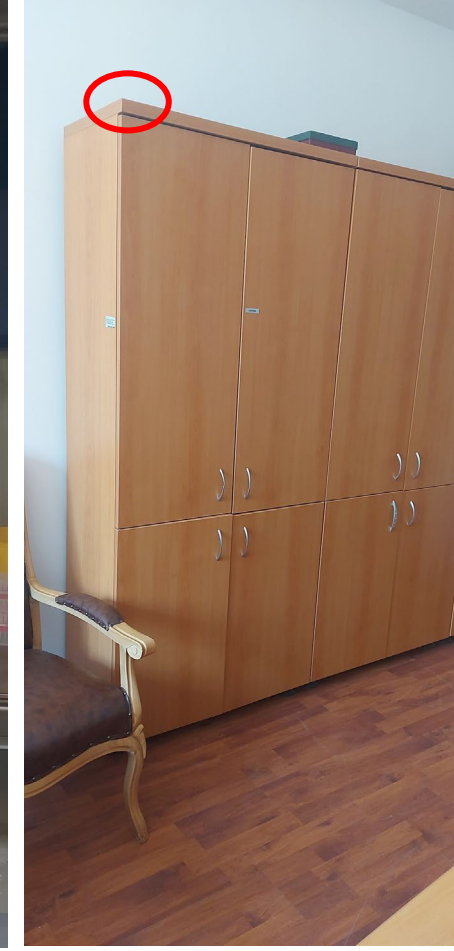
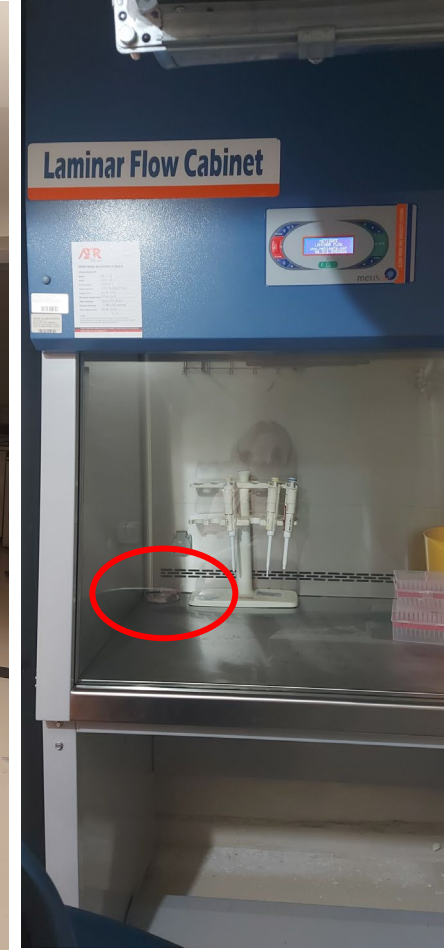
2



3



Şekil 3. Toz toplama lamında üç adet toz sayım alanı.



a

b

c

d

e

f

1. lam

2. lam

3. lam

4. lam

5. lam

6. lam

Şekil 4. Toz toplama lamlarının konulduğu laboratuvar ve donanımı.

Resimlerde toz toplama lamların konulduğu yerler kırmızı yuvarlak ile gösterilmiştir.

2 numaralı lam, üzeri 3 noktada işaretlenmiş olarak yerden yüksekliği 90 cm olan laboratuvar içerisinde laminar flow cihazının içine konuldu (bkz. [Şekil 4.b](#)). 2 numaralı lam, 1. lam ile aynı laboratuvarda ancak laminar flow cam bir kapakla ortamdan ayrılıyor. Sürekli bir hava sirkülasyonu yok. Sadece steril deneyler için laminar flow kullanılıyor.



3 numaralı lam, 180 cm yükseklikte koridordaki buz dolabının üzerine konuldu (bkz. [Şekil 4.c](#)). Koridor 30 m uzunluğunda ve 3 m tavan yüksekliğine sahip. Günde 30-40 kişinin gelip geçtiği ortak bir koridor. Sürekli bir hava sirkülasyonuna sahip.

4 numaralı lam, 2 m yükseklikte rutin laboratuvarında dolap üzerine konuldu (bkz. [Şekil 4.d](#)). Dolap laboratuvarın tam orta noktasında bulunuyor. Laboratuvar  $30 \text{ m}^2$  'lik alana sahip.

Günde maksimum 2-3 kişinin çalıştığı 4 ayrı kapı ile 4 ayrı çalışma alanına ayrılıyor. Hava sirkülasyonu sürekli var.

5 numaralı lam, 90 cm yükseklikte rutin laboratuvarlarda laminar flow cihazının içine konuldu (bkz. [Şekil 4.e](#)). Çok nadir olarak steril deneylerin yapıldığı zaman kullanılan bir laminar flow cihazı.

6 numaralı lam, 2 m yükseklikte çalışma odasında dolap üzerine yerleştirildi (bkz. [Şekil 4.f](#)).

Oda 30 m<sup>2</sup> 'lik alana sahip olup, her gün en fazla 3 kişi çalışıyor. Tavan yüksekliği 2.5 m. Hava sirkülasyonu sürekli var.

## Sonuçlar: Toz Sayımı

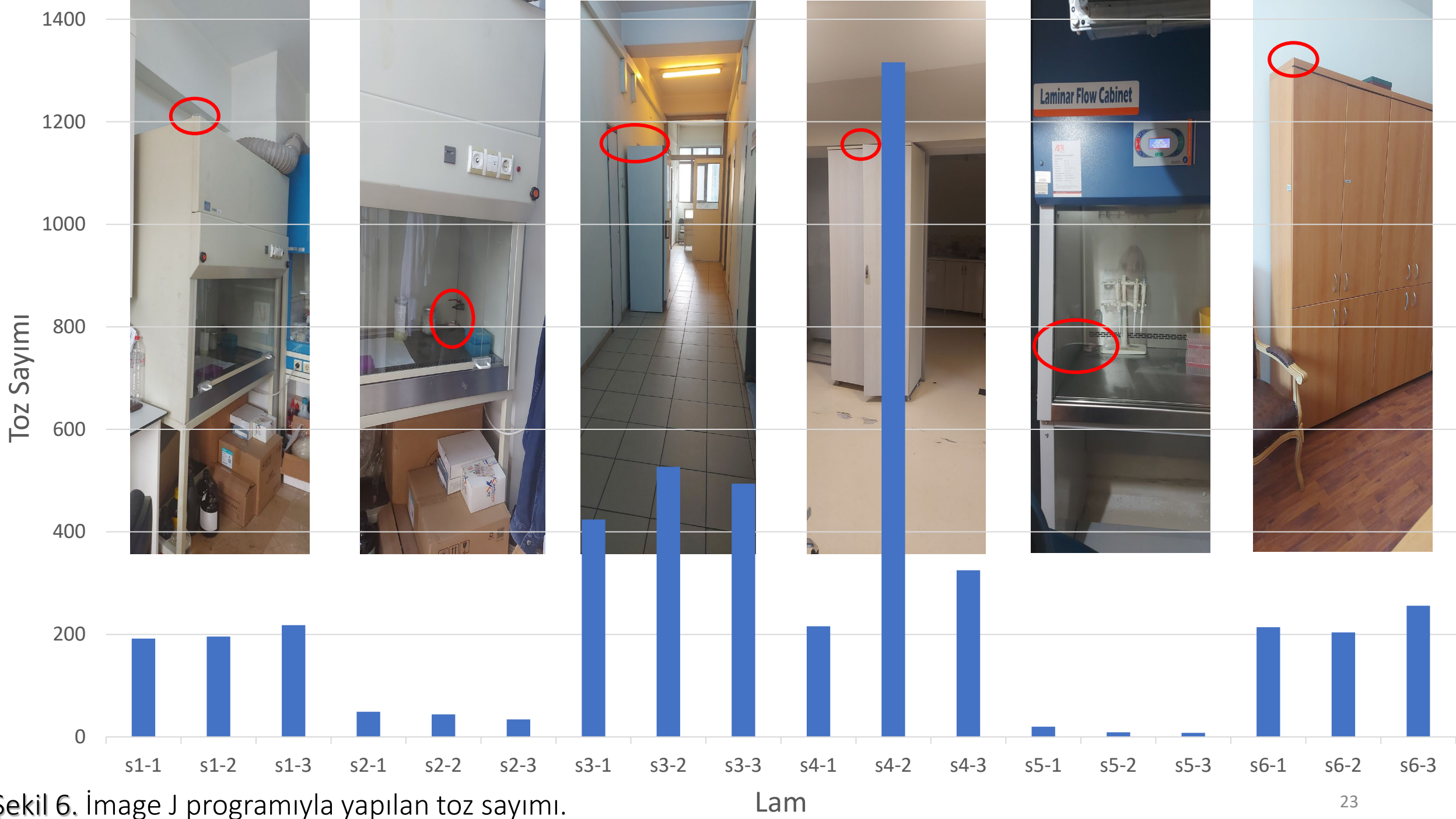
UUi görevine uyumlu olarak 7 gün boyunca 12-18 Temmuz 2023 tarihleri arasında toz sayımları ve 19.07.2023 tarihinde yine 7 gün boyunca emniyetli saklama kaplarında korunduktan sonra tekrar sayılarak bulaş olup olmadıklarının tespiti kontrol edilmiştir (bkz. [Şekil 5](#)). Toz görüntüsü kırmızı yuvarlak içine alınarak mage J programıyla yapılan toz sayım sonuçları [Şekil 6](#)'da verilmiştir.

12.07.2023

Şekil 5



Şekil 5



Şekil 6. İmage J programıyla yapılan toz sayımı.

UUI için daha önce sunduğumuz "Uzay tozu" deney seti önerimiz gelecekte herhangi bir uzay görevinde tekrar kullanılacaktır. Toz toplama örneklerinin sonuçları söz konusu deney setinde yer alacaktır. Göktaşlarının kirletici ve bulaş modellerinde toz sayımları girdi parametresi olarak kullanılması değerlendirilecektir.

Çanakkale göktaşının toplu sonuçları da burada paylaşılmıştır. Gelecekte yaşı ve geldiği Güneş Sistemindeki ailesi belirlenecektir.



## Sonuçlar: Çanakkale Göktaşı (Özet)

Dünya laboratuvarlarından elde edilen şu sonuçlar, UUI'nda elde edileceklerden farklı olup olmayacağını belirlemek ilginç olabilir: (1) 68 elementin yapısal karakterizasyonu ve bollukları belirlenmiştir. 6 elementin bollukları yüksek çıkmıştır. (2) Amino asit bollukları ile kararlı izotop ölçümleri belirlenmiştir. Eser miktar da olsa dört karbonlu 4 adet amino asit ve iki izotop bulunmuştur (Burton ve ark. 2016).

(3) 8 adet ana oksit değerleri yüzde olarak belirlenmiştir (Aysal ve ark. 2021). (4) Primitif mantoya normalize çoklu element örümcek diyagramında 8 elementte zenginleşme ve 6 element de fakirleşme görülür (Aysal ve ark. 2021). (5) Kondrit normalize örümcek diyagramında 6 elementte hafif zenginleşme ve 7 elementte de hafif fakirleşme görülür (Aysal ve ark. 2021).

## Sonuçlar: Çanakkale Göktaşı (Ayrıntılı)

Çanakkale meteoriti taş göktaşı grubuna aittir. Sıradan kondrit ve düşük metal içeriğine sahip L tipi göktaşıdır. Petrografik tip 6'ya yerleştirilebilir. Bu sonuçlar Dünya laboratuvarlarından elde edilenlerdir. Bununla birlikte, Çanakkale göktaşının şu sonuçları, acaba UUi'nda elde edileceklerden farklı olup olmayacağını belirlemek ilginç olabilir: (1) Bollukları yüksek çıkan elementler:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Ni, Co, V ve Cu.

(2) Dört amino asit: D-serin, D,L-beta-aminoizobütirik, D,L-beta-amino-n-bütirik ve alfa-aminoizobütirik. İki izotop: glisin ve D-serin. (3) Sekiz ana oksit değerleri (%):  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$ . (4) Primitif mantoya normalize çoklu element örümcek diyagramında zenginleşme gösteren elementler: Cs, Rb, Th, U, Ta, K, Pb ve P. Fakirleşme görülen elementler: Ba, Nb, La, Ce, Pr ve Sr. (5) Kondrit normalize örümcek diyagramında hafif zenginleşme görülen elementler: La, Ce, Sm, Gd, Tb, Er ve Yb. Hafif fakirleşme görülen elementler: Pr, Nd, Eu, Dy, Ho, Tm ve Lu.

(Ek-6) Silikat ve opak mineralleri mineralojisi, petrografisi, jeokimya ve mineral kimyası detaylı olarak araştırılmıştır. Opak mineralli camsı – mikro kristalli matriks içerisinde, boyutları 2 mm'ye ulaşan olivin kondrül, enstatit kondrül ve kriptokristalen kondrülden oluşan göktaşı parçalarının karakteristik özellikleri tanımlanmıştır (Aysal ve ark. 2021). (Ek-7) Opak mineral fazları troilit, taenit, kamasit ve kromit ile temsil edilir. (Ek-8)  $\text{SiO}_2$ 'e karşı  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})+\text{MgO}$  diyagramında sıradan kondrit alanına düşmektedir.

CaO/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karşı Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (T)+MgO diyagramında da sıradan kondrit örnekleriyle uyumlu bir gidiş izler (Aysal ve ark. 2021). (Ek-9) Spektroskopik analizinden olivin, piroksen, enstatit ve feldispat tespit edilmiştir (Ünsalan ve ark. 2012). Buna göre, ana mineral bileşimini olivin, ortopiroksen ve feldispat oluşturur. (Ek-10) Dış kısmında yaklaşık 0.6 mm kalınlığında kahverengimsi siyah renkli bir ergimiş kabuk bulunur (Aysal ve ark. 2021). (Ek-11) Elektron mikroskopunda ince kesitinin merkezinde olivin kondrülü görülmüştür.

## Tartışma: Çanakkale Göktaşı

Ana oksit değeri %2.23-2.39 aralığında çıkan alüminyumun varlığı ( $Al_2O_3$ ), Çanakkale göktaşının 1600 K'e varan yüksek yoğunlaşma sıcaklığını gösteren kanıttır. Bu mineral daha sonra ısınma geçirmedi, bu da Çanakkale gibi göktaşların soğuyan güneş bulutsusunda yoğunlaştıkları anlamına gelir (Bless 1996).

Nikel bolluğu ppm olarak 6032 ile >10000 aralığında çıkmıştır.

## Tartışma: Toz Sayımı

UUi yaklaşık 25 yıldır görevini sürdürmektedir ve 24 yıldır da içinde insanoğlunu barındırmaktadır. UUi ekosistemi içinde en az yani "temiz oda" seviyesinde bile olsa yine de dünyadaki gibi kirleticilerin olmaması düşünülemez. Kullanılan eşyaların eskimesi, insan vücudunun ürettikleri, dünyadan taşınan kargo ve yolcu trafiği gibi daha bir çok "bulaş" etkeni sayılabilir. Bununla birlikte, UUi aynı zamanda Güneş Sistemi'mize ait tozlardan da doğrudan etkileneceğini belirtmeliyiz.



Toz genellikle can sıkıcı ve ölçülmesi zor olan kir ile eşanlamlıdır. Bu aynı zamanda gezegenlerarası toz için de geçerlidir. Güneş sistemi tozu ince bölünmüş parçacık maddedir, gezegenler arasında bulunur. Bu tozun kaynakları daha büyük meteorlar, kuyruklu yıldızlar, asteroitler, gezegenler ve uyduları ile halkalarıdır. Bu tozlar Güneş Sistemi aracılığıyla yıldızlararası süpürülür. Bu kozmik toz parçacıkları aynı zamanda sıklıkla mikrometeoroidler olarak da adlandırılır ve büyüklükleri birkaç molekülden on milimetreye kadar büyüklükteki topluluklardır.

UUI'nunda toplanacak hem ekosistemin tozu hem de uzay tozunu birlikte araştırmak şöyle ilginç olacaktır: Üzerinde durduğumuz göktaşların incelenmesinde ve yaşamın genetik araştırma ölçümlerinde Dünya'nın "kirleticilerini" orijinallerinden ayırmaya yönelik güvenilirlik sınırlarının belirlenmesinde yararlı olacaktır.

Gezegenlerarası uzaydaki toz parçacıkları Güneş sisteminin yaşına göre çok daha kısa ömürlere sahiptir.

Çeşitli dinamik etkiler malzemeyi uzayda dağıtır ve boyut olarak ta genellikle büyükten küçüğe doğru giden parçacıklara dönüştürür. Bu nedenle gezegenlerarası tozun yeni olması gerekir (Grün 2007). Kozmik toz, güneş sistemi üzerindeki geniş dağılımı sayesinde, ebeveynleri (kuyruklu yıldızlar, asteroitler, hatta yıldızlararası madde) hakkında bilgi ediniyoruz,

Toz parçacıkları yalnızca Güneş'in ve gezegenlerin çekim kuvvetini takip etmekle kalmaz, aynı zamanda gezegenlerarası manyetik alanı ve elektromanyetik ışımayı da algılar. Ayrıca güneş rüzgarı ve uzayda karşılaştıkları diğer toz parçacıklarıyla da genellikle yüksek hızlarda etkileşime girerler. Bu çarpışmalar her iki parçacığın aşınmasına veya parçalanmasına neden olur ve böylece çok sayıda küçük parçacık oluşur. Gezegenlerarası tozun dinamikleri yalnızca konum ve hız açısından tanımlanamaz; boyutları veya kütleleri de dikkate alınmalıdır.

Bu hızlandırılmış ve büyük boyutlu tozlara karşı UUI'ndaki korunma kalkını hayati öneme sahiptir.

Modern toz dedektörleri, ayda tek bir darbeden saniyede bin darbeye kadar toz darbe oranlarını güvenilir bir şekilde ölçebilmektedir. Derin uzay sondaları, gezegenler arası uzayda Güneş'ten 0.3 ila 18 AB uzaklıkta mikrometeoroidleri tespit etmiştir.

Dünya yörüngesindeki insan yapımı uzay enkazları nedeniyle toz tehlikesi ancak son zamanlarda yeniden önem kazandı. Uzaya taşınan her ekipman, arızalanan bataryalar veya yakıt sistemleri nedeniyle meydana gelen patlama veya çarpma sonucu bozulduğunda, diğer uyduları tehlikeye atan küçük mermilerin kaynağı haline geliyor.

Bazı tahminler, 50 yıl içinde insan yapımı uzay faaliyetlerindeki sürekli artışın, Dünya'ya yakın uzay ortamını insanlar ve ekipmanlar için yaşanmaz hale getirecek bir kontrolden çıkma etkisine yol açacağını gösteriyor (Grün 2007).

## Kaynakça

Aysal, N., Öztürk, B., Esenoğlu, H.H., Kaygısız, E., Yeşiltaş, M., Öngen, S. 2021, 73. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 24-28 Mayıs 2021, sa.143, ss.371-372, ISBN: 978-625-7653-17-6

Bless, R.C. 1996, Discovering Cosmos, University Science Books



Burton, A.S., Elsila, J.E., Glavin, D.P., Dworkin, J.P., Örnek, C.Y., Esenoğlu, H.H., Unsalan, O., Ozturk, B. 2016, 47th Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, ABD, 21-25 Mart 2016, pp.1-2

Esenoğlu, H.H., Paçal, F., Şahin, A.E., Çakiris, A. Aysal, N. 2023, İstanbul University Press, 4-5 Mayıs 2023 (baskıda)

Grün, E. 2007, Chapter 34: Solar System Dust, in Encyclopedia of the Solar System, Second Edition, Edited by L. Ann McFadden, P.R. Weissman and T.V. Johnson, Academic Press, ISBN 978-0-12-088589-3

Ünsalan, O., Yılmaz, A., Bölükbaşı, Yalçinkaya, O., Öztürk, B., Esenoğlu, H.H., Ildiz, G., Örnek, C.Y. 2012, Spectrochimica Acta Part A-molecular and Biomolecular Spectroscopy, pp.250-255

## Teşekkür

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Maden Mühendisliği  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden  
A.S.Öngen ve N.Hanilci'ye saha bilgileri ve  
laboratuvarların kullanımı konusunda verdikleri  
destekten dolayı teşekkür ederiz.

Çeşitli analizler için İstanbul Üniversitesi İleri Analiz  
Laboratuvarı'na da teşekkür ederiz.

Bu alışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin (BAP) aşağıdaki iki projesi tarafından desteklenmiştir: 690 Yüksek Lisans Tezi Projesi ve YADOP-4124