TJAA Vol. **6**, *Special Issue*, *p.*209–216 (2025). DOI: 10.55064/tjaa.1630197 *Conference Paper*

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

Hasan H. Esenoğlu[1] ⋆, Ferda Perçin Paçal[2], Aris Çakiris[2], Asum Eslem Şahin[3], Namık Aysal[4], Ersin Kaygısız[5],

[1] *İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul 34119, Türkiye*
[2] *İstanbul Üniversitesi, Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü*
[3] *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü*
[4] *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü*
[5] *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma Uygulama ve Araştırma Merkezi*

Accepted: March 13, 2025. Revised: March 13, 2025. Received: January 30, 2025.

Özet

Göktaşları Yer atmosferine girdikleri andan itibaren "kirlenmeye" ve taşıdıkları bilgiler eksilmeye başlamaktadır. Düştükleri yerlerde "bulaş" olma durumu da kaçınılmaz olmaktadır. Bulununcaya kadar ve sonrasında kirlilik ve bulaş yine devam etmektedir. Orijinal haline geri dönüşü olamayan kirlilik ve bulaşın modellenebilmesi için yüksek olasılıkla en temiz uzayda Uluslararası Uzay İstasyonu (UUİ) şartlarında ve en kirli de diyebileceğimiz yeryüzü şartlarında mesela toz örnekleri kullanılabilir. Bu amaçla, yeryüzü laboratuvarlarından (İÜ, İÜ-C, İBB, Acme-Kanada ve NASA) elde edilen Çanakkale göktaşı analiz sonuçlarının, UUİ'den elde edilenlerden farklı olup olmayacağının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada söz konusu amaç doğrultusunda, (1) UUİ uzay tozu ölçümü girişiminde bulunulmuş ve bunun bilgisi burada paylaşılmıştır. (2) İÜ Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü laboratuvarında farklı konumlarda 6 lam üzerinde 18 dikdörtgen alanda UUİ görevine uyumlu olarak 7 gün (168) saat süresince toz birikimine (model girdisi-1) ilişkin sonuçlar verilmiştir. Elde edilen bulgular seçilen sayım istasyonlarının birbirlerine göre büyük farklılıklarını ortaya koymuş ve ek olarak çevre ve kullanım şartlarına duyarlılığı göstermiştir. Sonuç olarak, göktaşları gibi hassas inceleme ve ölçümlemelerin iyi çevre koşulları altında ve kapalı mekanlarda yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, toplanan tozların aynı sürede koruma altına alınarak bulaş (model girdisi-2) olup olmadıklarına ilişkin toz sayımları devam etmektedir. Sonuçlar, uzay tozu ölçümlerine ilişkin devam eden araştırmamızda, üzerinde durduğumuz göktaşlarının incelenmesinde ve yaşamın genetik araştırma ölçümlerinde Dünya'nın "kirleticilerini" orijinallerinden ayırmaya yönelik "güvenilirlik sınırlarının" belirlenmesinde yararlı olacaktır.

Abstract

As soon as meteors enter Earth's atmosphere, they begin to undergo "contamination", causing the information they carry to degrade. Their eventual "contamination" at the site where they land is unavoidable. Pollution and contamination persist both before and after it is found. To model pollution and contamination that cannot be reversed to their original state, dust samples can be utilized-for instance, those collected under the pristine conditions aboard the International Space Station (ISS) and those from the most polluted environments on Earth. The goal was to determine whether Çanakkale meteorite analysis results from Earth-based laboratories (IU, IU-C, IBB, Acme-Canada, and NASA) differ from those obtained under ISS conditions. For the purpose of this study, (1) an attempt was made to measure ISS space dust, which is reported here. (2) The results of dust accumulation (model input-1) in 18 rectangular areas across 6 slides, placed at different locations in the laboratory of IU Aziz Sancar Experimental Medicine Research Institute over 7 days (168 hours), in alignment with the ISS mission parameters, were presented. The findings demonstrated significant variations among the selected counting stations and highlighted their sensitivity to environmental and usage conditions. As a result, sensitive examinations and measurements, such as those involving meteorites, must be conducted under optimal environmental conditions and within closed spaces. In addition, dust counts are ongoing to assess whether the collected dust samples are contaminated (model input-2), by preserving them for the same duration. The results will be valuable for our ongoing research on space dust measurements, our focus on meteorite studies, and in establishing "reliability limits" for distinguishing Earth's "pollutants" from original materials in genetic research related to life measurements.

Anahtar Kelimeler: Dust measurement – pollutants – contamination – Çanakkale meteorite

1 Giriş

Göktaşları atmosfere girdikleri andan itibaren ister istemez "kirlenmeye" yani üzerinde taşıdığı bilgiyi azaltmaya başlarlar. Bu kirliliğe ek olarak, dokundukları Dünya'ya aitlerle tepkimeye girerek "bulaş" yoluyla da artarak sürmektedir. En az bulaşın adresi Uluslararası Uzay İstasyonu (UUİ) en çok bulaşın adresi de tüm yeryüzü olarak ifade edilebilir. Bu araştırmanın bir kısmı "Uluslararası Uzay İstasyonu Toz Ölçümü ve Meteorit Analizi" başlıklı 3. Uzay Ekonomisi, Uzay Hukuku ve Uzay

⋆ esenoglu@istanbul.edu.tr

© 2025 Turkish Astronomical Society (TAD)

Bilimleri Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuştur ve baskı aşamasındadır (Esenoğlu ve diğ. 2023).

Bu UAK-2024 çalışması, Çanakkale göktaşı araştırması üzerinden kirlilik (model girdisi-1) ve bulaşın (model girdisi-2) modellenmesine dayanır. Modeli oluşturmak ve girdilerini belirlemek için çeşitli aşamalardan geçilmiş (Çanakkale göktaşının laboratuvar incelemesi) ve süreç (Çanakkale göktaşının yaş hesabı, Güneş Sisteminin neresinden geldiğinin belirlenmesi, toz sayımı, güvenli saklama ve modelleme) devam etmektedir. Tamamlanan aşamalar §1.1'de (Aşama: Tamamlanan) özet olarak verilmiştir. Devam eden aşamalardan (§1.2 Aşama: Devam Eden) toz sayımı bu çalışma ile verilmiştir. Nispeten iyi şartlarda görülebilecek kirlilik ve bulaş adresi olarak İÜ Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsündeki laboratuvar ortamları ölçüm istasyonları olarak kullanılmıştır. Deney düzeneği §2'de ve ölçümlenen toz sayım istatistiği de §3'de yorumları ile birlikte verilmiştir. Toz ve Çanakkale göktaşı sonuçlarının ilişkili literatür bilgileriyle karşılaştırılması §4'de yapılmıştır.

1.1 Aşama: Tamamlanan

Çanakkale göktaşının analiz sonuçları aşağıda listelenmiştir:

a. Kimyasal ve petrografik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre, Çanakkale meteoriti taş göktaşı grubuna aittir. Sıradan kondrit ve düşük metal içeriğine sahip L tipi göktaşıdır. Petrografik tip 6'ya yerleştirilebilir (Kızılırmak 1965; Aysal ve diğ. 2021).
b. Tayfsal analizi yapılmıştır (Ünsalan ve diğ. 2012).
c. Tespit edilen 68 elementin yapısal karakterizasyonu ve bollukları belirlenmiştir. 6 elementin (SiO_2, Fe_2O_3, Ni, Co, V ve Cu) bollukları yüksek çıkmıştır (Öztürk 2019).
d. Petrografik özellikleri belirlenmiştir (Öztürk 2019; Aysal ve diğ. 2021).
e. Amino asit bollukları ile kararlı izotop ölçümleri de belirlenmiştir. Eser miktar da olsa dört karbonlu 4 adet amino asit (D-serin, D,L-beta-aminoizobütirik, D,L-beta-amino-n-bütirik ve alfa-aminoizobütirik) ve iki izotop (glisin ve D-serin) bulunmuştur (Burton ve diğ. 2016).
f. Silikat ve opak minerallerin mineralojisi, petrografisi, jeokimya, mineral bileşimi ve mineral kimyası, polarizasyon mikroskobu, XRD, SEM ve LA-ICP-MS yöntemleri kullanılarak 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 diğ. 2021). Elektron mikroskobunda ince kesitinin merkezinde olivin kondrülü görülmüştür (Öztürk 2019). Tayfsal analizinden olivin, piroksen, enstatit ve feldispat tespit edilmiştir (Ünsalan ve diğ. 2012). Buna göre, ana mineral bileşimini olivin, ortopiroksen ve feldispat oluşturur. Opak mineral fazları troilit, taenit, kamasit ve kromit ile temsil edilir. SiO_2'e karşı Fe_2O_3(T)+MgO diyagramında sıradan kondrit alanına düşmektedir. CaO/Al_2O_3 karşı Fe_2O_3(T)+MgO diyagramında da sıradan kondrit örnekleriyle uyumlu bir gidiş izler. 8 adet ana oksit (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O ve K_2O) değerleri yüzde olarak belirlenmiştir. Primitif mantoya normalize çoklu element örümcek diyagramında 8 elementte (Cs, Rb, Th, U, Ta, K, Pb ve P) zenginleşme ve 6 elementte de (Ba, Nb, La, Ce, Pr ve Sr) fakirleşme görülmüştür. Kondrit normalize örümcek diyagramında 6 elementte (La, Ce, Sm, Gd, Tb, Er ve Yb) hafif zenginleşme ve 7 elementte de (Pr, Nd, Eu, Dy, Ho, Tm ve Lu) hafif fakirleşme görülmüştür. Dış kısmında yaklaşık 0.6 mm kalınlığında kahverengimsi siyah renkli bir eriyik kabuk bulunur (Aysal ve diğ. 2021).

1.2 Aşama: Devam Eden

Devam eden göktaşlarının kirlilik ve bulaş modellemesi çalışmasında toz sayımı bu çalışma kapsamında verilmektedir. UUİ'de hem ekosistemin tozu hem de uzay tozunu birlikte araştırmak ve yeryüzü laboratuvarlarındaki sonuçlarla karşılaştırmak ilginç olacaktır. Bu yüzden, UUİ için daha önce sunduğumuz (Esenoğlu ve diğ. 2023) "Uzay tozu" deney seti önerimizdeki referans bilgilerini aşağıda listeledik.

a. Araştırmacının Teknoloji Tanıtımı Rehberi
b. ISS için NASA Referans Rehberi
c. ISS Rus Segmenti Kullanıcı Kılavuz
d. KIBO El Kitabı
e. Uzay Aracı için NASA Malzemeleri
f. Uzay Ürün Güvencesi, Elektrik, Elektronik ve Elektromekanik Bileşenleri
g. UUİ'de toz toplama kaplarından elde edilecek tozdan ve agar üzerinde çoğalması muhtemel canlıların DNA izolasyonları öncelikle bu işlem için özelleşmiş kitlerin üretici protokolleri kullanılarak yapılacaktır. Gerektiğinde manüplasyonlar yapılacak veya manuel izolasyon yöntemleri denenecektir. Çünkü Çanakkale göktaşında yapılması planlanan moleküler düzeyde biyolojik araştırmalar için elde edilebilecek DNA kalıntılarının yeryüzü kaynaklı köken belirlemesi açısından önem taşımaktadır (Burton ve diğ. 2016; Nagano ve diğ. 2009; Pandey ve diğ. 2016; Jiang ve diğ. 2015).

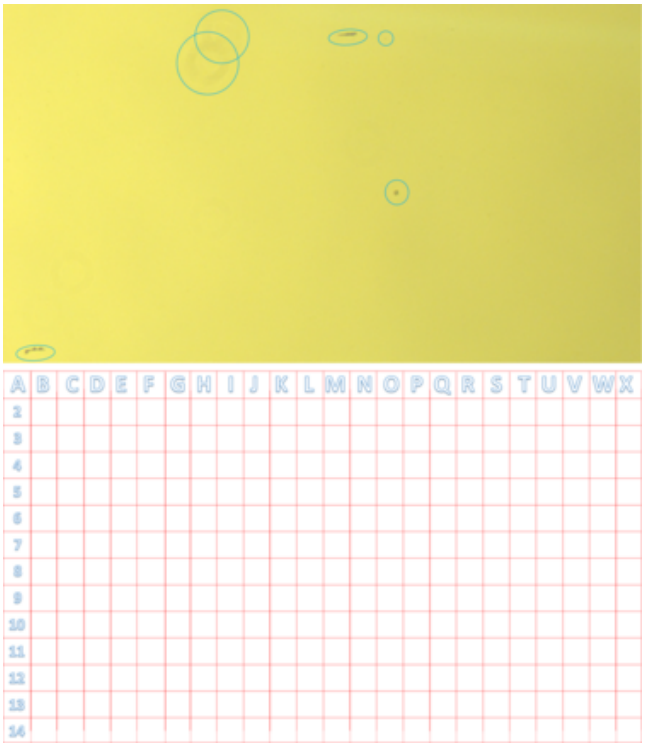
2 Yöntem

Bu çalışma, temelde Çanakkale göktaşı üzerinden kirlilik (girdi-1) ve bulaşın (girdi-2) modellenmesine dayanır. Modeli oluşturmak ve girdilerini belirlemek için çeşitli aşamalardan geçilmiş ve süreç devam etmektedir. Tamamlanmış aşamalardan Çanakkale göktaşı araştırması Giriş bölümünde ve devam eden aşaması Toz Sayım Deneyi alt başlığında verilmiştir.

2.1 Toz Sayım Deneyi

Devam eden aşama olarak bu çalışmada, nispeten iyi şartlarda görülebilecek bulaş adresi olarak İÜ Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü'ndeki laboratuvar ortamları kullanılmıştır. Toz sayım örnekleri, 6 farklı noktadan (toplamda 6×3=18 adet), 2.5×7.5 cm boyutundaki lamlar ile UUİ görevine uyumlu olarak 12-18 Temmuz 2023 tarihleri arasında 7 gün (168 saat) boyunca alınmıştır. Tozun kontrolü ve bulaş (girdi-2) için de yine UUİ görevine uyumlu olarak 19-25 Temmuz 2023 tarihleri arasında 7 gün (168 saat) 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 lamın belirlenen yerlere yerleştirilmeden önce çekilen mikroskop görüntüsünün fotoğrafı Şekil 1'de üstte verilmiştir. 6 adet kalıcı leke yuvarlak içerisinde işaretlenmiştir. Toz sayımı `Image J` yazılım programı ile yapılmış olmakla birlikte, tozların yerlerini takip etmede kolaylık sağlayabilecek A-X arası 24 adet yatay

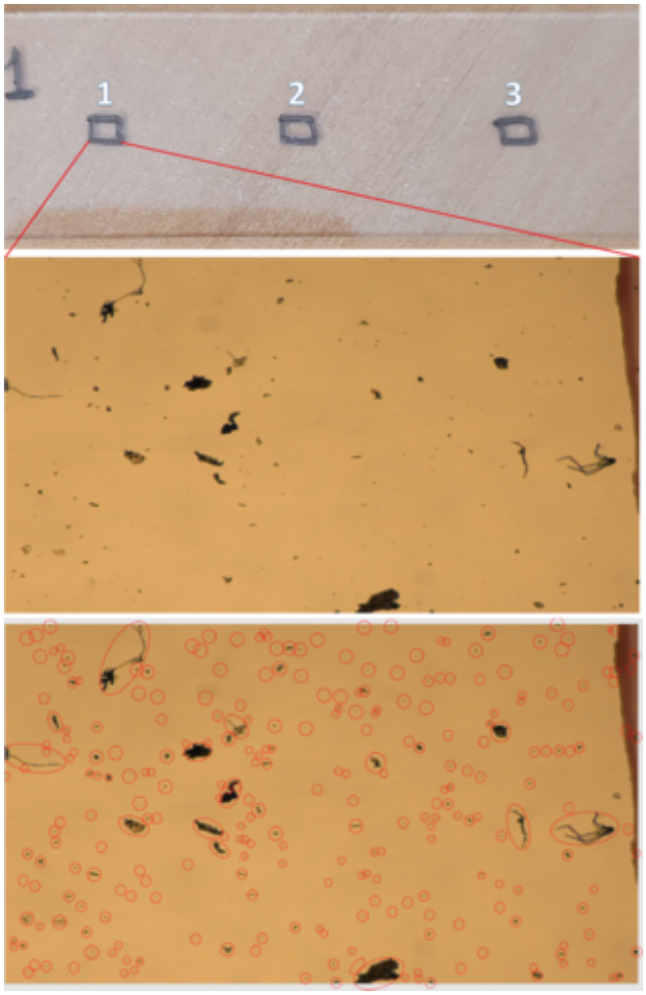


Şekil 1. Toz toplama öncesi temiz lam (üstte) ve şebekesi (altta).

eksenli ve 1-14 arası düşey eksenli bir şebeke görseli de oluşturulmuştur (bkz. Şekil 1, alt panel).

Her lamın 3 farklı noktası 1, 2 ve 3 rakamları ile toz sayımı (girdi-1) için toplanacağı dikdörtgen alanlar işaretlenmiştir (bkz. Şekil 2, üstte). Laboratuvar içerisinde belirlenen 6 farklı heterojen yere birer tane lam yerleştirilmiş ve deney sonunda dikdörtgenlerin içinde toplanan tozların fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Dikdörtgenlerin ortalama alanı içten içe 4.5±0.7 mm^2 (2.7×1.5 mm)'dir. Toz fotoğraflarının tamamında dikdörtgenlerin kenarlarında sürekli koyu kalem izi çizgiler de görülmektedir (bkz. Şekil 3-8). 1 numaralı ölçüm istasyonundaki lamın 1 numaralı dikdörtgen alanı içinde biriken tozların iki fotoğrafı da örnek olarak Şekil 2'nin orta ve alt panellerinde verilmiştir. Tozların sayımı (girdi-1), yerlerinin belirlenmesi ve saklanması sonra bulaş (girdi-2) durumunun bilgisi için sağdaki fotoğrafta yer alan tozlar kırmızı yuvarlak içerisine alınmıştır.

3-8 arasında toplam 6 adet toz toplama lamlarının konulduğu ölçüm istasyonlarının durum bilgileri ile birlikte 12-18 Temmuz 2023 tarihleri arasında 7 gün (168 saat) boyunca toplam 18 dikdörtgen alanında biriken tozların görüntüleri verilmiştir. Ayrıca, söz konusu 18 dikdörtgen alanda toplanan tozlar yine 7 gün (168 saat) süreliğine kapalı ve küçük hacimli "steril ortamlarda/dolaplarda" koruma altına alınmıştır. Bu "saklama/koruma" yöntemi ile de "bulaş (girdi-2)" bilgisi alınma süreci devam etmektedir. Bu amaçla, 18 dikdörtgen alanda toplanan ve sayımları gerçekleştirilen 6 lam, saklama/koruma sonrası ikinci kez tekrar sayılarak bulaş olup olmadıklarının tespiti yapılacaktır. Şekil 3-8'de (sağda) 19-25 Temmuz 2023 tarihleri arasında söz konusu saklama/koruma altındaki 18 dikdörtgen alanların görüntüleri de verilmiştir. Toz



Şekil 2. Toz toplama lamında üç adet toz sayım alanı (üstte) ve bir numaralı dikdörtgende biriken toz görüntüleri ortada verilmiştir. Alttaki görüntüde tozlar kırmızı yuvarlak içinde belirtilmiştir.

toplama deneyindeki 6 lama ilişkin bilgiler görselleri (3, 4, 5, 6, 7 ve 8) ile birlikte aşağıda sıralanmıştır.

2.1.1 1 Numaralı Sayım İstasyonu

1 numaralı lam 2 metre yükseklikte laboratuvar içerisinde laminar flow cihazının üzerine konuldu (bkz. Şekil 3, sol sütun). Laboratuvar 30 m^2'lik bir alana sahip. Tavan yüksekliği 3 metredir. 90 m^{-3}'lük laboratuvar sürekli hava sirkülasyonuna sahip olup yaklaşık 10 kişi bu ortamda çalışmaktadır. 1 numaralı lamın 1., 2. ve 3. dikdörtgen alanlarında toplanan toz örneklerinin fotoğrafları Şekil 3'de ortada, saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar da sağda tarihleri ile birlikte verilmiştir.

2.1.2 2 Numaralı Sayım İstasyonu

2 numaralı lam, laboratuvar içerisindeki laminar flow cihazının içerisine (yerden 90 cm yüksekliğe) konuldu (bkz. Şekil 4, sol sütun). 2 numaralı lam, 1. lam ile aynı laboratuvarda (90 m^{-3}) ancak laminar flow cam bir kapakla ortamdan ayrılıyor. İlgili ortamda sürekli bir hava sirkülasyonu bulunmamaktadır. Sadece steril deneyler için bu laminar flow cihazı kullanılmaktadır. 2 numaralı lamın 1., 2. ve 3. dikdörtgen



Şekil 3. (Sol panel) Kırmızı yuvarlak ile gösterilen 1 numaralı lam. (Orta panel, üstten alta) 12-18 Temmuz 2023 tarihlerinde toplanan toz örnekleri. (Sağ panel) 19-25 Temmuz 2023 tarihlerinde saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar.



Şekil 4. (Sol panel) Kırmızı yuvarlak ile gösterilen 2 numaralı lam (laminar flow cihazı). (Orta panel, üstten alta) 12-18 Temmuz 2023 tarihlerinde toplanan toz örnekleri. (Sağ panel) 19-25 Temmuz 2023 tarihlerinde saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar.

alanlarında toplanan toz örneklerinin fotoğrafları Şekil 4'de ortada, saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar da sağda tarihleri ile birlikte verilmiştir.

2.1.3 3 Numaralı Sayım İstasyonu

3 numaralı lam, koridorda yer alan buzdolabın üzerine (180 cm yüksekliğe) konulmuştur (bkz. Şekil 5, sol sütun). Koridor 30 m uzunluğunda ve 3 m tavan yüksekliğine sahiptir (hacmi 162 m^{-3}). Günde 30-40 kişinin gelip geçtiği ortak kullanımda bir koridordur. İlgili ortam sürekli bir hava sirkülasyonuna sahiptir. 3 numaralı lamın 1., 2. ve 3. dikdörtgen alanlarında toplanan toz



Şekil 5. (Sol panel) Kırmızı yuvarlak ile gösterilen 3 numaralı lam. (Orta panel, üstten alta) 12-18 Temmuz 2023 tarihlerinde toplanan toz örnekleri. (Sağ panel) 19-25 Temmuz 2023 tarihlerinde saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar.

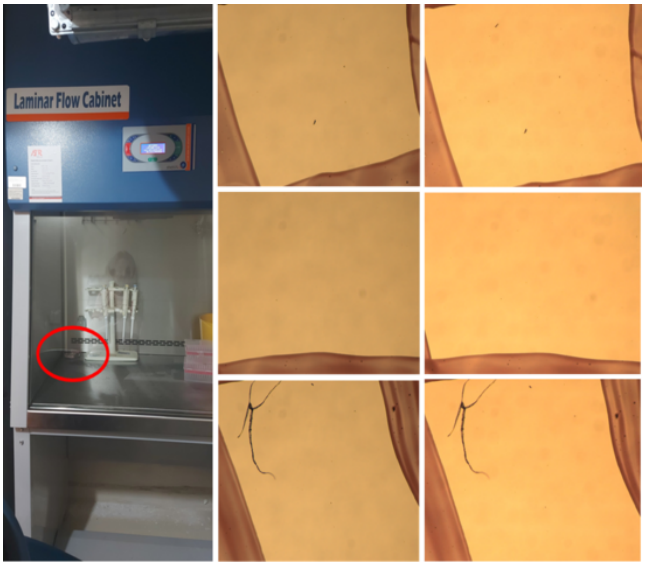


Şekil 6. (Sol panel) Kırmızı yuvarlak ile gösterilen 4 numaralı lam. (Orta panel, üstten alta) 12-18 Temmuz 2023 tarihlerinde toplanan toz örnekleri. (Sağ panel) 19-25 Temmuz 2023 tarihlerinde saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar.

örneklerinin fotoğrafları tarihleri ile birlikte Şekil 5'de ortada, saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar da sağda tarihleri ile birlikte verilmiştir.

2.1.4 4 Numaralı Sayım İstasyonu

4 numaralı lam rutin laboratuvarda 2 m yükseklikte dolap üzerine konulmuştur (bkz. Şekil 6, sol sütun). Dolap laboratuvarın tam orta noktasında bulunmaktadır. Laboratuvar 30 m^2'lik alana sahip (hacmi 75 m^{-3}). Günde maksimum 2-3 kişinin çalıştığı 4 ayrı kapı ile 4 ayrı çalışma alanına ayrılmaktadır. Hava sirkülasyonu sürekli var. 4 numaralı lamın 1., 2. ve 3. dikdörtgen alanlarında toplanan toz



Şekil 7. (Sol panel) Kırmızı yuvarlak ile gösterilen 5 numaralı lam. (Orta panel, üstten alta) 12-18 Temmuz 2023 tarihlerinde toplanan toz örnekleri. (Sağ panel) 19-25 Temmuz 2023 tarihlerinde saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar.



Şekil 8. (Sol panel) Kırmızı yuvarlak ile gösterilen 6 numaralı lam. (Orta panel, üstten alta) 12-18 Temmuz 2023 tarihlerinde toplanan toz örnekleri. (Sağ panel) 19-25 Temmuz 2023 tarihlerinde saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar.

örneklerinin fotoğrafları tarihleri ile birlikte Şekil 6'da ortada, saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar da sağda tarihleri ile birlikte verilmiştir.

2.1.5 5 Numaralı Sayım İstasyonu

5 numaralı lam 90 cm yükseklikte rutin laboratuvarda laminar flow cihazının içine konuldu (bkz. Şekil 7, sol sütun). İlgili cihaz, çok nadir olarak steril deneylerin yapıldığı zaman kullanılan bir laminar flow cihazı. Laboratuvarın hacmi 12.5 m^{-3}'tür. 5 numaralı lamın 1., 2. ve 3. dikdörtgen alanlarında toplanan toz örneklerinin fotoğrafları tarihleri ile birlikte Şekil 7'de ortada, saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar da sağda tarihleri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 1. 6 farklı ölçüm istasyonunda lamlar üzerindeki 18 dikdörtgen alanda biriken tozların sayımı ve çevresel etkiler. N: Toz Sayısı (adet), n: Toz Yoğunluğu (toz m^{-3}), Çalışan: Kaç kişi çalıştığı, Akım: Hava akımı olup olmadığı, Durum: Lamın durumu, h: Lamın yüksekliği (m).

İstasyon	N	n	Çalışan	Akım	Durum	h
1-1	192	2.1	10	var	açıkta	2
1-2	196	2.2	10	var	açıkta	2
1-3	218	2.4	10	var	açıkta	2
2-1	49	0.5	10	yok	kapalıda	0.9
2-2	44	0.5	10	yok	kapalıda	0.9
2-3	34	0.4	10	yok	kapalıda	0.9
3-1	424	2.6	30-40	var	açıkta	1.8
3-2	527	3.3	30-40	var	açıkta	1.8
3-3	494	3.0	30-40	var	açıkta	1.8
4-1	216	2.9	2-3	var	açıkta	2
4-2	1316	17.5	2-3	var	açıkta	2
4-3	325	4.3	2-3	var	açıkta	2
5-1	20	1.6	1	yok	kapalıda	0.9
5-2	9	0.7	1	yok	kapalıda	0.9
5-3	8	0.6	1	yok	kapalıda	0.9
6-1	214	2.9	3	var	açıkta	2
6-2	204	2.7	3	var	açıkta	2
6-3	256	3.4	3	var	açıkta	2

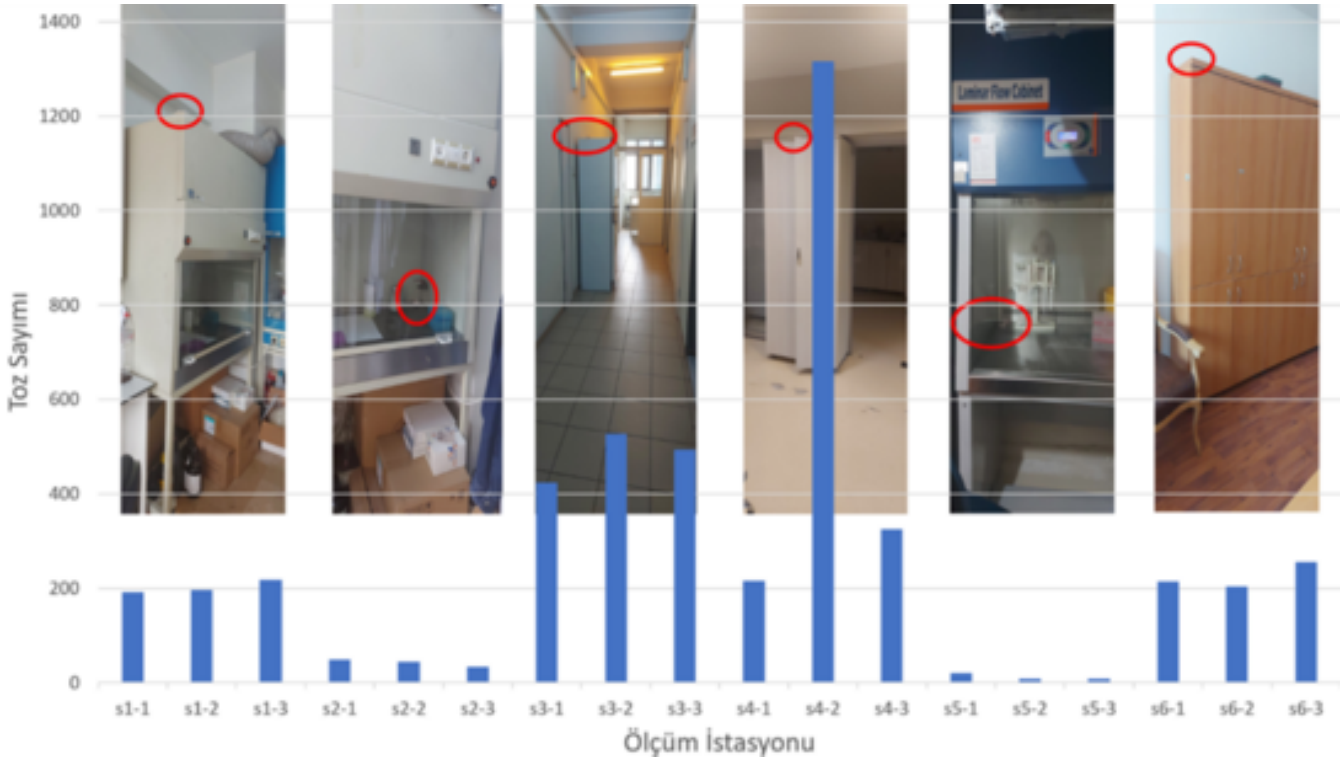
2.1.6 6 Numaralı Sayım İstasyonu

6 numaralı lam, 2 m yükseklikte çalışma odasında dolap üzerine yerleştirilmiştir (bkz. Şekil 8, sol sütun). Oda 30 m^2'lik alana sahip olup, her gün en fazla 3 kişi çalışmaktadır. Tavan yüksekliği 2.5 metredir (odanın hacmi 75 m^3). İlgili ortam hava sirkülasyonuna sahiptir. 6 numaralı lamın 1., 2. ve 3. dikdörtgen alanlarında toplanan toz örneklerinin fotoğrafları tarihleri ile birlikte Şekil 8'de ortada, saklama/koruma sonrasına ait fotoğraflar da sağda tarihleri ile birlikte verilmiştir.

3 Sonuçlar

UUİ görevine uyumlu olarak 7 gün (168 saat) boyunca (12-18 Temmuz 2023 tarihleri arasında) 6 farklı ölçüm istasyonunda toplanan tozların sayımı `Image J` programıyla gerçekleştirilmiştir. Toplam 18 adet 2.7×1.5 mm dikdörtgen (4.5±0.7 mm^2) alanlardaki sayılar Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca, sayı yoğunluğu ile kirlilik ve bulaşın neden olabileceği çevre şartları parametrelerine de Çizelgede yer verilmiştir. Çizelgenin ilk sütununda 6 adet ölçüm istasyonu (lam) ve toplamda 18 adet dikdörtgen alanların numaraları, ikincisinde toplanan toz sayısı, üçüncüsünde toz sayı yoğunluğu, dördüncüsünde ölçüm istasyonunun bulunduğu mekanda çalışan sayısı, beşincisinde hava akımı durumu, altıncısında lamın bulunduğu yerin açıkta veya kapalı ortamda bulunması durumu ve son sütunda lamın konulduğu yerin yerden olan yüksekliği verilmiştir.

Çizelge 1'deki bilgilerin görseli olarak, toz sayımlarının ölçüm istasyonu temelli dağılım grafiği de Şekil 9'da gösterilmiştir. Çizelgeye göre, göktaşlarının inceleneceği bir araştırma laboratuvarında farklı büyüklüklerde ve şekillerde toz yoğunluğu açık alanlarda ortalama 4.1±4.3 toz m^{-3} ve



Şekil 9. 12-18 Temmuz 2023 tarihleri arasında 7 gün (168 saat) boyunca toplanan toz örneklerinin ölçüm istasyonlarına göre sayı dağılımı.

kapalı mekanlarda 0.7 ± 0.4 toz m^{-3} olduğu belirlenmiştir. Açık alanların kapalı mekanlara göre yaklaşık 5.6 kat kirletici olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, tozlanma açık alanlarda ortalama 381.8 ± 317.9 (saatte 2.27) adet toz ve kapalı mekanlarda 27.3 ± 17.6 (saatte 0.16) adet toz olduğu belirlenmiştir (bkz. Şekil 9). Burada da açık alanların kapalı mekanlara göre yaklaşık 14 kat kirletici olduğu görülmektedir. Her iki ortalama değerin standart sapmaları (±317.9 ve ±17.6) çok büyük çıkmıştır. Bu durum, seçilen sayım istasyonlarının birbirlerine göre büyük farklılıklarını belirtir ki çevre ve kullanım şartlarına duyarlılığını göstermiştir. Sonuç olarak, göktaşları gibi hassas inceleme ve ölçümlemelerin iyi çevre koşulları altında ve kapalı mekanlarda yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

UUİ'de toplanacak hem ekosistemin tozu hem de uzay tozunu birlikte araştırmak ve yeryüzü laboratuvarlarındaki sonuçlarla karşılaştırmak ilginç olacaktır. Bu yüzden, UUİ için daha önce sunduğumuz (Esenoğlu ve diğ. 2023) "Uzay tozu" deney seti önerimiz gelecekte herhangi bir uzay görevinde tekrar kullanılacaktır. Toz toplama örneklerinin sonuçları söz konusu deney setinde yer alacaktır. Göktaşların kirlenme ve bulaş modellerinde toz sayımları bulgularımız girdi parametresi olarak kullanılacaktır. Böylece, üzerinde durduğumuz göktaşlarının incelenmesinde ve yaşamın genetik araştırma ölçümlerinde Dünya'nın "kirleticilerini" orijinallerinden ayırmaya yönelik güvenilirlik sınırlarının belirlenmesinde yararlı olacaktır.

1964 yılında Çanakkale'ye düşen göktaşı (enlemi $39^{\circ}48'$ kuzey, boylamı $26^{\circ}36'$ doğu, Kızılırmak 1965) Bölümümüz envanterinde kayıtlıdır (Esenoğlu 2024). Çanakkale göktaşının toplu sonuçları Giriş bölümünde verilmiştir (Aşama: Tamamlanan). Devam edecek aşama olarak da (Aşama: Devam Eden) Çanakkale göktaşının yaşı ve geldiği Güneş Sistemindeki ailesi belirlenecektir. Yaş hesabı (radyometrik tarihleme yöntemi) için İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa ve Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi laboratuvarlarında kullanılmak üzere kesilerek küçük bir parçası ayrılmıştır. Güneş Sisteminin neresinden geldiğinin yörünge hesaplaması da Bilgi Birikimi ve AR-GE süreci gerektirdiğinden iş birliktelikler ve literatür kullanılacaktır. Her iki süreç için İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi ve Akdeniz Üniversitesinden 3 araştırmacının yer alacağı bir proje başlatılacaktır.

4 Tartışma

Bu bölümde kirlilik ve bulaş modeli için girdi parametresi olabilecek toz sayımı istatistiği, uzay tozu karşılığı literatür ile tartışılması verilmiştir. Ayrıca, Çanakkale göktaşı üzerine de benzer bir tartışma sunulmuştur.

4.1 Toz Sayımı

UUİ yaklaşık 25 yıldır görevini sürdürmektedir ve 24 yıldır da içinde insanoğlunu barındırmaktadır. UUİ 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 birçok "bulaş" etkeni sayılabilir. Bununla birlikte, UUİ'nin aynı zamanda Güneş Sistemimize ait tozlardan da doğrudan etkileneceğini belirtmeliyiz.

Toz genellikle can sıkıcı ve ölçülmesi zor olan kir ile eş anlamlıdır. 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



Şekil 10. Çanakkale göktaşının görüldüğü ve düştüğü yerleri gösteren haritalar. En üstte, görüldüğü İstanbul-Nisantaşı'ndan itibaren düştüğü noktaya doğru yönelen kırmızı çizgi Marmara Bölgesi üzerinde gösterilmiştir. Ortada, ok yönünde ilerleyen kırmızı çizgi Türkiye haritası ile birlikte Ege Bölgesi üzerinde işaretlenmiştir. En altta, ok yönünde ilerleyen kırmızı çizginin sonlandığı yer (enlemi 39°48′ K, boylamı 26°36′ D) Çanakkale-Bayramiç ilçe haritası üzerinde belirtilmiştir.

ve uyduları ile halkalarıdır. Bu tozlar Güneş Sistemi aracılığıyla yıldızlararasına süpürülür. Bu kozmik toz parçacıkları aynı zamanda sıklıkla mikrometeoroidler olarak da adlandırılır ve büyüklükleri birkaç molekülden on milimetreye kadar büyüklükteki topluluklardır.

Gezegenlerarası uzaydaki toz parçacıkları Güneş Sisteminin yaşına göre çok daha kısa ömürlere sahiptir. Çeşitli dinamik etkiler malzemeyi uzayda dağıtır ve boyut olarak da 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 ve 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 UUİ'deki korunma kalkanı hayati öneme sahiptir.

Modern toz dedektörleri, ayda tek bir darbeden saniyede bin darbeye kadar toz darbe oranlarını güvenilir bir şekilde ölçebilmektedir. Derin uzay uyduları, 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 gelmektedir. 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 göstermektedir (Grün 2007).

4.2 Çanakkale Göktaşı

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

Radyometrik tarihleme yöntemi ve ilişkili teknikleri ile bir göktaşının yaşı, oluşum süreci ve sonraki dönemlerde neye dönüşebileceği araştırılır. Bu kapsamdaki araştırmalar Güneş Sisteminin ve gezegenlerin tarihine, nasıl oluştuğu ve şekillendiğine ilişkin bilgiler sağlar. Günümüzde göktaşı düşüşleri tüm gökyüzü kameralarıyla gözlenmekte ve çarpma noktasının hesaplanmasının ardından göktaşına ulaşılmaktadır (Ceplecha 1961). Bu teknikle alınan görüntüler hem taşların yerdeki yerini belirlemekte hem de daha önemlisi göktaşın yörüngesini hesaplamak için kullanılabilmektedir (McCrosky ve diğ. 1971; Oberst ve diğ. 2004). NASA, güneydoğu ABD üzerinde göktaşlarını tespit eden ve yörüngeyi, büyüklüğünü, yer izini ve diğer parametreleri hesaplayan otomatik bir sisteme sahiptir ve bu sistem genellikle her gece bir dizi olayı tespit eder. Bu konuda, ülkemizde 2014-2017 yılları arasında "Türkiye Meteor Takip Sistemleri Ağı Kurulumu" başlıklı bir TÜBİTAK 1001 (113F035 MFAG) projesinin başarıldığını belirtelim.

Çanakkale göktaşının düşmesinin üzerinden yaklaşık 60 yıl geçmiştir. Eskiye dönük görüntüleme bilgisi bulunmamaktadır. Bununla birlikte, Şekil 10'da Çanakkale göktaşının düştüğü harita ayrıntılandırılarak verilmiştir. Görgü tanıklarının bilgilerinden faydalanılarak Çanakkale göktaşının yaklaşık yere düşme yönü kırmızı ok ile belirtilmiştir. Her iki parametrenin (yaşın ve yörüngesinin) bilimsel çıktısı, Çanakkale göktaşının tümüyle araştırılmasını tamamlayacaktır.

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-Cerrahpaşa İleri Analiz

Laboratuvarı'na da teşekkür ederiz. Bu çalışmayı iyi seviyeye yükselten önerilerinden dolayı TJAA hakemlerine ayrıca teşekkür ederiz. Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin (BAP) aşağıdaki iki projesi tarafından desteklenmiştir: 690 Yüksek Lisans Tezi Projesi ve YADOP-4124.

Kaynaklar

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

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

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

Ceplecha, Z., Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia **12** (1961) 21–47

Esenoğlu, H.H., Paçal, F., Şahin, A.E., Çakiris, A. Aysal, N., 3. Uzay Ekonomisi, Uzay Hukuku ve Uzay Bilimleri Sempozyumu, 4-5 Mayıs 2023, İstanbul University Press, baskıda (2023)

Esenoğlu, H.H., IV. Sağlık Tarihi ve Müzeciliği Sempozyumu (Editörler: M.D.Çekin, B.Erdem), İstanbul, 6-7 Temmuz 2018, Zeytinburnu Belediyesi Kültür Yayınları No.85, ISBN: 978-625-99034-8-4 (2024) 369–383

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

Jiang, W., Liang, P., Wang, B., Fang, J., Lang, J., Tian, G., Jiang, J., Zhu, T.F., Nat Protoc **10** (2015) 768–779

Kızılırmak, A., The Meteoritical Bulletin **33** (1965)

McCrosky, R.E., Posen, A., Schwartz, G., Shao, C.-Y. Journal of Geophysical Research **76** (1971) 4090-4108

Nagano, Y., Walker, J., Loughrey, A., Millar, C., Goldsmith, C., Rooney, P., Elborn, S., Moore, J., International Journal of Environmental Health Research **19** (2009) 187–199

Oberst, J., Heinlein, D., Köhler, U., Spurný, P., Meteoritics and Planetary Science **39** (2004) 1627–1641

Öztürk, B., İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Danışman: H.H. Esenoğlu) (2019) 36–37 https://tez.yok.gov.tr

Pandey, U, Bell, A. S., Renner, D. W., Kennedy, D. A., Shreve, J. T., Cairns, C. L., Jones, M. J., Dunn, P. A., Read, A. F., Szpara, M. L., mSphere (2016) 00132–16

Ünsalan, O., Yilmaz, A., Bölükbaşi, Yalçinkaya, O., Öztürk, B., Esenoğlu, H.H., Ildiz, G., Örnek, C.Y., Spectrochimica Acta Part A-molecular and Biomolecular Spectroscopy (2012) 250–255

Access:
M25-0366: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.