

UZAY ORTAMINDA GAZ GİDERME LABORATUVARI, MİKROUYDU GÖREVİ ISOLDE

Yiğit Çay¹, Demet Çilden², Neslihan Gençkal³, Egemen Aydın⁴ ve İrem Kirci⁵
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Amin Mirzai⁶
Luleå Teknoloji Üniversitesi, Luleå, İsveç

ÖZET

Gaz giderme, katılar içinde sıkışmış, donmuş, soğurulmuş ya da saklı kalmış gaz moleküllerinin yüzeyden çıkışıdır. Literatürde farklı ve büyük uydularda ölçülmüş gaz giderme verileriyle yapılan çalışmalar, çok yüksek vakum (extreme high vacuum, XHV) ortamında devamlı olarak bir gaz giderme olduğunu ve bu olayın optik ve elektronik aletlerin malzemelerine işleyerek işlevsel bozukluklar meydana getirdiğini ortaya koymuştur. Yerde yapılan termal vakum odası deneylerinde ultra yüksek vakum seviyelerinde (UHV) ölçümler yapılabilen, derin uzay ortamı için gerekli ortam sağlanamamaktadır. Bir öğrenci projesi olarak ortaya çıkarılmış olan mikrouydu ISOLDE, XHV ortamına açılan laboratuvar ünitelerinde gerçekleştireceği otonom deney verilerini yer istasyonuna indirerek hem standart ölçüm kalitesinin üzerine çıkacak hem de düşük kütlesi ile yere yakın yörüngede hızlı ve ucuz bir görev önerisi yaratacaktır. Bu çalışmada uydu tasarımının teknik detayları sunulacak; proje süreciyle ilgili detaylı bilgiye yer verilecektir. 29 kg kütleye sahip uydu, dairesel, 90,4° yörünge eğim açılı, 700 km irtifadaki güneşle eşzamanlı yörüngesinde 1 hafta boyunca ikişer kez 3 deney aşamasını gerçekleştirecektir. Bu deneylerde sırasıyla kütle spektrometresi çıkarılacak, gaz giderme hızı ölçülecek, son olarak da çıkan gazları emiş gücü yüksek zeolit malzemesiyle yeniden kütle spektrometresi yapılacaktır. Görevini tamamladıktan sonra su bazlı itki sistemiyle yörünge düşürme sistemi devreye girecek ve atmosferde yanarak uzay çöprü olmaması sağlanacaktır.

GİRİŞ

Uzay ortamında yapılan çalışmaların günümüzde daha küçük uzay araçlarına odaklanmasıyla düşük maliyetli ve performansı yüksek görevler başarıyla yerine getirilmiştir. Her gün daha da küçülen uydu aletleri, yerde yapılan deneylerin bile büyük uydu görevlerine göre düşük bir maliyetle uzayda gerçekleştirilebilmesine olanak kılmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi içinde oluşturduğumuz 6 kişilik araştırma ekibimizle "In-Space Outgassing Laboratory Distant from Earth" (ISOLDE, Dünya'dan Uzakta Uzay İçi Gaz Giderme Laboratuvarı) adında hipotetik bir mikrouydu görevi tasarımı gerçekleştirdik. Bu çalışmanın amacı, uzay mühendisliği öğrencilerinin uydu tasarımına teşvik edilmesi ve fakülte içi takım çalışmalarının güçlendirilmesidir. Tasarlanan mikrouydu ISOLDE, Dünya'nın çevresindeki Güneş'le eşzamanlı, polar yörüngesinde hareket ederken 3 aşamalı gaz giderme deneyleri gerçekleştirecek ve elde ettiği verileri yer istasyonuna indirdikten sonra itki ünitesini çalıştırarak atmosfere giriş yapacak ve uzay çöprü olmadan 1 haftalık görevini tamamlayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle takip eden bölümde ISOLDE görevinin gerekliliğinden bahsedilecek ve teknik gereksinimleri sıralanacaktır. İşlem Sırası bölümünde fırlatma ile ilgili gerçekleştirilebilir çözümler sunulacak ve teknik performans parametreleri tanımlanacaktır. Daha sonra görevi gerçekleştirecek, tarafımızca tasarlanmış faydalı yük ve alt sistemler tanıtılacaktır. Tasarlanan

¹ Araştırma görevlisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: cayy@itu.edu.tr

² Araştırma görevlisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: cilden@itu.edu.tr

³ Araştırma görevlisi, Uçak Müh. Böl., E-posta: genckal@itu.edu.tr

⁴ Lisans öğrencisi, Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: aydineg@yahoo.com

⁵ Lisans öğrencisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: kirci24@gmail.com

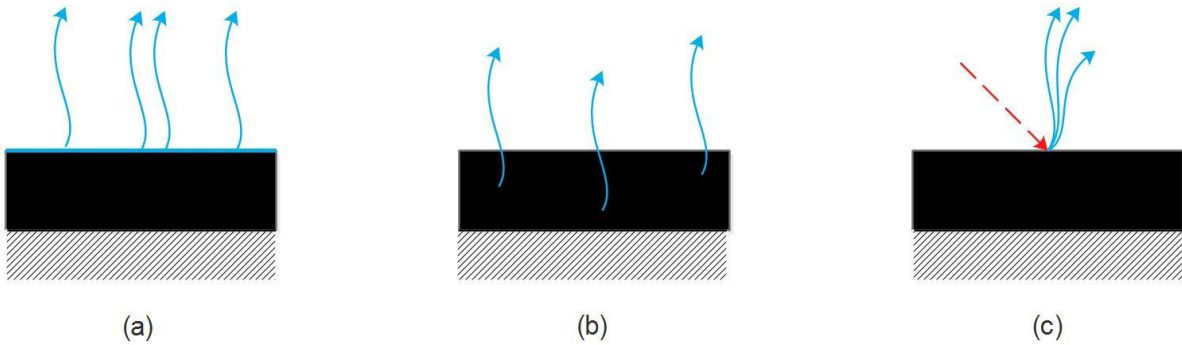
⁶ Yüksek Lisans öğrencisi, Space Master Programı, E-posta: aminmirzae@gmail.com

yörünge planı tanıtımından sonra uydu tasarımının fırlatma öncesi uygulama planı maliyet çizelgesiyle birlikte verilecektir. Aynı bölümde proje riskleri de tanımlanacaktır.

GEREKSİNİM

Malzemelerin içerisinde sıkışmış olan gazların salınımı prosesi gaz giderme olarak adlandırılır. Bu olay optik lenslerle yapılan ölçümleri etkiler ve elektronik cihazların güvenilirliğini düşürür. Bu nedenle uzay araçlarında kullanılacak olan malzemelerin gaz giderme etkilerinin anlaşılması önemli bir husustur ve malzemelerin gaz giderme oranı ile çıkan gazların karakteristikleri bilinmelidir. Bu bağlamda malzemelerin gaz giderme deneyleri genellikle yeryüzünde temiz odalardaki vakum tanklarında yapılır. Yapılan bu deneylerin masraflı olması nedeniyle, deney sırasında vakum oranı ultra yüksek vakumdan (UHV, Avrupa standartlarında 10^{-6} ve 10^{-10} Pa arasındadır [Redhead, 1999].) daha düşüktür. Buna karşılık çok yüksek vakum (XHV, 10^{-10} Pa basınçtan daha düşük olan [Redhead, 1999]) durumu uzay araçlarının genellikle karşılaştığı durum olup, bu koşullarda henüz detaylı bir araştırma yapılmamıştır. ISOLDE gaz giderme deneyinin yapılabileceği laboratuvarları içeren, bakır örneklerinin gaz giderme oranını ve açığa çıkan gazları ölçecek olan bir mikrouydudur. Benzer çalışmalar güneş merkezli yörüngedeki bazı büyük uzay araçlarındaki ölçüm aletleriyle de yapılmıştır. Örneğin, ESA'nın 67P/Churyumov-Gerasimenko kuyruklu yıldızıyla randevu yörüngesine rotalandırılmış ROSETTA uydusu üzerinde bulunan ROSINA isimli spektrometresi görev boyunca uzay aracı çevresindeki nötral atomların ve iyonların incelemesini gerçekleştirmiştir [ESA Science & Technology, 2016]. 7 yıllık ROSINA verileri ile yapılan uzay aracı çevresinde oluşan organik gazların karakterizasyonu çalışmasında fırlatma sonrası 2500 günlük bir çalışma incelenmiş ve üç önemli nokta vurgulanmıştır:

- İncelenen gazlarda dominant olan su grubu (O, OH ve H₂O) başta olmak üzere hidrokarbonlar, Nitrojen bağlı bileşenler, halojenler, sülfür bağlı bileşenler ve yağ molekülleri gibi oldukça geniş bir skalaya rastlanmıştır [Schläppi, ve diğerleri, 2011].
- Gaz giderme deneylerinde yapılan ölçümler üç olayın verilerinin toplamını yansıtmaktadır: Desorpsiyon (malzeme yüzeyinde biriken gazların çıkışı), difüzyon (daha az yoğun ortama hareket eğilimi) ve dekompozisyon (kimyasal bozunmalar sonucu gaz çıkışı) katı malzemeden gaz çıkışlarını oluşturan etmenlerdir (Şekil-1) ve bu etkiler zamana bağlı olarak farklı karakteristiklere sahiptir. Desorpsiyon lineer bir şekilde azalırken, difüzyon logaritmik bir azalma göstermiş, dekompozisyon ise görev boyunca aynı değerlerde hesaplanmıştır [Schläppi, ve diğerleri, 2011].



Şekil 1: Gaz çıkışlarının farklı formları. (a) Desorpsiyon, (b) difüzyon ve (c) dekompozisyon.

- Görev boyunca gerçekleştirilen gaz giderme ölçümlerinde toplamda devamlı olarak bir gaz çıkışı yaşandığının; bu gaz yoğunluğunun logaritmik şekilde azaldığının ve uydunun etrafında bir egzozfer oluşturduğunun bilgisi edinilmiştir [Schläppi, ve diğerleri, 2011].

ISOLDE görevini uygun bir maliyet çerçevesinde deney standartlarına uygun olarak, ilk önce numunesini alçak yörüngede, XHV ortamında 24 saat içerisinde 125°C sıcaklığa çıkarıp daha sonra açığa çıkan gazların ölçümünü yaparak tamamlayacaktır. Aynı zamanda deneyde, malzemelerin gaz giderimi sırasında açığa çıkan gazlarını emen zeolit kaplaması da kullanılacak;

böylelikle zeolitın bakır numunesinin gaz giderimi üzerindeki etkisi araştırılacaktır. ISOLDE görevinin teknik gereksinimleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Standart gaz giderme ölçüm prosesini XHV ortam şartlarındaki laboratuvar ünitelerinde sağlamak,
2. Deneyler sırasında sızdırmazlık güvenilirliğini test etmek,
3. Gaz emiş gücü yüksek zeolit malzemesinin etkisini ölçmek,
4. Dönüş akısını engelleme yöntemleri için benzer uyduların kullanımına sunulacak hassas ölçüm verisi sağlamak.

İŞLEM SIRASI

ISOLDE'nin fırlatma işleminin 2017'nin ilk çeyreğinde Orbital Sciences şirketine ait Minatour IV uydusuyla ABD'nin Kaliforniya eyaletinde bulunan Vandenberg Hava Kuvvetleri İstasyonu'ndan yapılması öngörülmektedir. Haberleşme, uydu üzerindeki haberleşme ünitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nin Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde bulunan yer istasyonu arasında gerçekleşecektir. Fırlatma ve yörüngeye oturma işlemlerinin başarıyla gerçekleştirilmesinin ardından yer istasyonu güneş panellerinin açılması ve faydalı yükün içindeki basınç ve sıcaklık değerlerinin ölçümüne başlamak için sinyal gönderecektir. Gerekli basınç ve sıcaklık değerleri onaylanınca görev aşaması başlatılacaktır. Yönelim ve irtifa verileri sensörlerden gelen veriler eşliğinde yer istasyonuna gönderilecektir. Deneyler XHV ortam koşulları hazırlanınca başlayacaktır. Kullanılan numune müşterinin isteklerine bağlı olarak değiştirilebilecektir. Uydu ömrü deneylerin bitimi ve verilerin aktarımıyla sınırlandırılmıştır. Deneyler 1 hafta içinde tamamlanacak, uydu atmosfere yeniden giriş yapacaktır. Uydunun anahtar performans parametreleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

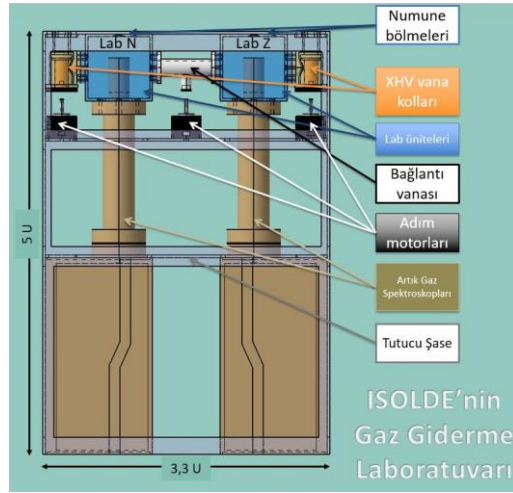
1. Uydunun üç eksenli stabilizasyonu, yönelim kontrol sistemi tarafından sağlanarak laboratuvar ünitelerinin aynı sıcaklıkta tutulması,
2. Görev süresince gölgede kalacak altsistem segmentin başarılı bir şekilde 0°C'de tutulması
3. 16-bit mikrokontrolör platformu ile başarılı bir algılayıcı veri depolaması,
4. Yer istasyonuna 2,4 kbps ile başarılı bir veri transferi,
5. Yörünge düşürme aşamasında düzgün çalışacak bir itki sistemi.

FAYDALI YÜK VE ALTSİSTEMLER

Faydalı Yük

ISOLDE gaz giderme deneylerini iki adet küp şeklinde laboratuvar ünitesinde gerçekleştirecektir. Şekil-2'de görüldüğü gibi üniteler birbirlerine ve XHV tankı için adapte edilmiş vana kollarıyla doğrudan uzaya bağlıdır. Adım motorlarıyla hareket ettirilen vana kollarıyla mühürlenmiş üniteler 10^{-6} Pa değerine dek vakumlanacaktır. Ünitelerin yapısı hafifliği düşünülerek alüminyumdan üretilmektedir. Piyasada bulunabilir iki adet Artık Gaz Spektroskopu (AGS) iyonize gaz parçacık sayımı ile laboratuvar ünitesinde çıkan gazların kütle spektrometresini elde edecektir. Numune malzemesi 1 gr Bakır olarak seçilmiş ve sıkıştırılmış yaylarla üniteler içine kapalı biçimde yerleştirilmiştir. Kapatılan numunelerin birinin kapağının iç yüzeyi zeolit ile kaplanmış, bu ünite Lab-Z olarak adlandırılmıştır. Diğer ünite ise Lab-N olarak adlandırılmıştır.

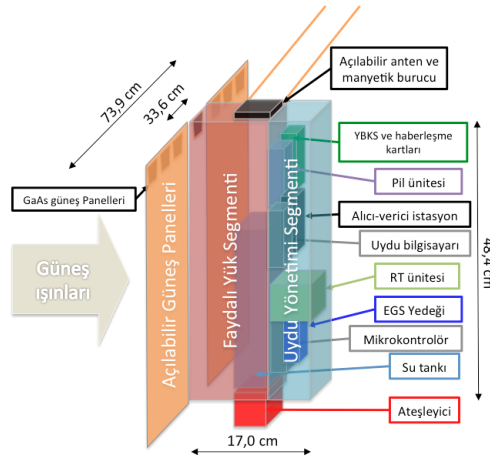
Deneyler 3 aşamadan oluşmakta, her aşama 24 saat sürmektedir. İlk aşamada sadece Lab-N çalışacak ve kütle spektrometresi oluşturulacaktır. İlk 24 saat tamamlandıktan sonra vanalar yeniden kapanacak ve orta vanadaki oksijen enjekte edilerek ortam basıncı yeniden ilk haline getirilecektir. İkinci deneyde Lab-Z'nin vanası ve bağlantı vanası açılacak, Lab-N'deki numunenin gaz giderme hızı iki üniteye aynı anda ölçüm yapıp belirlenebilecektir. İkinci aşama tamamlandığında basınçlar yine başlangıç koşullarına getirilecek ve son aşamada Lab-Z'deki zeolit kapaklı numune açılarak yeniden gaz giderme deneyi gerçekleştirilecektir. Entegre AC/DC adaptörlerle çalışan kompakt AGS'ler 24 V gerilim ile çalışmaktadırlar.



Şekil 2: ISOLDE'nin faydalı yükü.

Altsistemler

Yörünge Belirleme ve Kontrol: Yer istasyonu ile sağlıklı bir iletişim için gerekli anten işaretleme doğruluğunu sağlamak yönelim belirleme ve kontrol sisteminin (YBKS) önceliğidir. Ayrıca altsistemin sınırlı kütle ve güç bütçeleri dahilinde küçük ve etkin olması gereklidir. Yere yakın yörüngede (LEO) gölgede kalma probleminden kurtulmak ve faydalı yüke gereken gücü sağlamak adına ISOLDE 6-6 güneş eş zamanlı yörüngesinde güneş panelleri açmaktadır. Reaksiyon tekerleri ve manyetik burucular yardımıyla uydu, güneşe yönelme vektörünü güneş panel normali yönünde tutacaktır. Yönelim belirleme sisteminde biri hassas olmak üzere 6 adet güneş algılayıcısı, 1 adet üç eksenli manyetometre ve 2 adet iki eksenli jiroskop kullanılacaktır.



Şekil 3: Altsistem ve faydalı yük yerleşimleri.

Güç: Güç üretimi için açılan panellere dizilmiş 32 adet GaAs güneş paneli kullanılacaktır. Piyasada bulunan bir Lityum-polimer pil, güç ünitesi olarak seçilmiştir.

Kumanda ve Veri Yönetimi: Uzay aracı kontrol sistemi alınan ve gönderilen verilerin bit hataları olmaksızın kodlanmasına bağlıdır. Buna göre, piyasada küp uydular için tasarlanmış olan bir uydu bilgisayarı karşılaştırma çalışması sonucu seçilmiştir. Altsistem fonksiyonlarının çalıştırılması için de 16-bitle çalışan bir mikrokontrolör platformu seçilmiştir. Karşılaştırmalar sırasından basitlik, güç ve kütleye odaklanmış; performans niteliklerinin yazılımlar ile güçlendirilebileceği düşünülmüştür. Gönderilen veri şifrelenecek ve Reed-Solomon kodlaması kullanılacaktır.

İtki: Bu altsistem yalnızca yörünge düşürme ile uzay çöpü sayısının azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Piyasada bulunan, sudan elektroliz ile oksijen ve hidrojen elde ederek ikili yakıt sistemi olan bir ateşleyici sistemi kullanılacaktır [Tethers Unlimited]. Yörünge düşürmek için gerekli ΔV 'yi sağlaması için gerekli su kütlesi 2,27 kg olarak hesaplanmıştır. YKS ile uydu dengelemesini kolaylaştırmak amacıyla su tankı faydalı yükün ortasında, iki AGS'nin arasına yerleştirilmiştir.

Haberleşme: LEO irtifa limitleri içindeki polar yörüngede bulunan ISOLDE için yer istasyonu-uydu arası veri aktarımına dayalı haberleşme mimarisi tercih edilmiştir. Yer-uydu bağlantısı (uplink) için UHF bandı, uydu-yer bağlantısı (downlink) için ise VHF bandı seçilmiştir. Noktasal veri aktarımı yalnızca İstanbul Teknik Üniversitesi yer istasyonu ile iletişim sırasında kullanılacak; bunun için bir verici, bir alıcı, bir de açılabilir anten piyasadan temin edilecektir. Yönsüz çubuk anteni ünitesine manyetik burucu dahil etmek mümkündür. Bu şekilde alınan ünite, ISOLDE'nin tepesine ağırlık merkezini ortalayacak şekilde yerleştirecek; antenleri açıldıklarında daima dünyayla iletişim kurabilecek şekilde sabitlenecektir.

Isıl Kontrol: 6-6 güneşle eş zamanlı yörünge ısı kontrol sistemi için görev sırasında yüzeylerin aydınlatmaları neredeyse aynı kalacağı için zorlu bir koşul yaratmaktadır. Ayrıca faydalı yük ünitelerindeki numuneler deneyler sırasında 120°C'de tutulmalı ve deney odalarının sıcakları birbirlerine eş olmalıdır. Bu nedenle eğilebilir Kapton® ısıtıcılar ile aktif ısı kontrol yapılarak numuneler ve uydunun soğuk yüzeyleri ısıtılmalıdır. Her altsistemin çalıştıkları sıcaklık aralıkları belirlenmiş, buna göre önemler alınması düşünülmüştür.

Yapısal Tasarım: ISOLDE, 33,6 x 48,4 x 17,0 cm boyutlarında, 29 kg ağırlığında dikdörtgenler prizması şeklinde geometriye sahip bir biçimde tasarlanmıştır. İki segmentten oluşmaktadır: Faydalı yük segmenti, bilimsel yükün şasesini oluşturmakta, üzerinde açılabilen güneş panellerini barındırmaktadır. Uydu yönetimi segmenti ise faydalı yük şase geometrisinin 60 cm uzatılmasıyla elde edilmiş; uydunun sağlıklı bir şekilde görevini tamamlayabilmesi için gerekli elektronik kartları, güç sistemlerini, uydu bilgisayarını, algılayıcıları ve eyleyicileri barındırmaktadır.

Çizelge 1: ISOLDE'nin kütle ve güç dağılımları [Brown, 2002; Wertz ve Wiley, 2005].

Alt Sistemlerin Yörüngedeki Kuru Kütle Dağılımı	Yüzde	Dağıtılan kütle [kg]	Yüzde	Dağıtılan güç [W]
Yapı ve Mekanizmalar	20	5,81	5	1,95
Isıl Kontrol Sistemi	8	2,32	33	12,87
Yönelim Belirleme ve Kontrol Sistemi	9	2,61	11	4,29
Güç Sistemi	16	4,65	2	0,78
Kablolama	3	0,87	-	-
İtki Sistemi	5	1,45	4	1,56
Haberleşme Sistemi	4	1,16	30	11,70
Komut ve Veri İşleme Sistemi	4	1,16	15	5,85
Faydalı Yük	31	9,00	-	120
Toplam		29,03 kg		39,01 W (Faydalı Yük olmadan)
Tolerans		14,52 kg		31,21 W
Maksimum		50 kg		138,48 W

YÖRÜNGE TASARIMI

Güneş eşzamanlı yörünge, güneş ışığının sürekli olarak absorbe edilmesine imkân sağlayarak uydunun pillere olan bağımlılığını azaltır. Buna bağlı olarak uzay aracının kütlesi de azalır. Güce erişim dışında, yörüngeden çıkış evresi, hesaba katılması gereken en önemli faktördür. Yörünge, ilk planda, malzemeleri yüksek vakum ortamında test edebilmek adına daha yüksek irtifada seçilmiştir. Fakat yakıt tüketiminin aşırı miktarlarda olması ve kapsamlı bir yörüngeden çıkış planının mevcut olmamasından ötürü, yüksek irtifa seçeneği elenmiştir. Uzay aracının kütlesi, son durumdaki masrafı düşürmek adına en düşük seviyede tutulmuştur. Bunu yaparken 640 km'den yüksek irtifalar için geçerli olan XHV şartının korunmasına dikkat edilmiştir. Tüm bunları sağlayan yörünge parametreleri yörünge eğiklik açısı 98,18°, yükselim düğümü açısı (RAAN) 90,4° ve irtifa 700 km olacak şekilde belirlenmiştir.

UYGULAMA PLANI

ISOLDE projesi Uçak ve Uzay Mühendisliği öğrencileri tarafından tasarlanacak, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği öğrencileri ise faydalı yük tasarımında projeye dahil olacaklardır. İTÜ, Uzay Sistemleri Tasarım ve Test Laboratuvarı (USTTL) mikrouydu testlerini tasarlama ve yürütme yeterliliğine sahiptir. Isıl vakum odasındaki testler aynı tesis içerisinde gerçekleştirilebilirken, darbe ve titreşim testleri gibi diğer testler de İTÜ içerisindeki birçok mühendislik laboratuvarında tamamlanabilmektedir. Uydunun alt sistem cihazları olarak kullanılan algılayıcılar piyasadan hazır olarak temin edilebilir (COTS) donanımlardır. Derin uzayın gökbilimsel gözlemlerine olan ihtiyacın artışıyla daha hassas optik malzemelere ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca, algılayıcı ve elektroniklerin performanslarının, gaz giderme limitlerinin dışında olacak şekilde ayarlanmaları ve üretilmeleri gerekmektedir. Böylece, şirketler zeolit kullanımı ve oradaki verilerinin eldesi gibi malzeme geliştirme teknikleri için talepte bulunacaklardır ki yakın gelecekte derin uzay görevleri sağlayabileceklerdir. Proje, bunun gibi ileri teknoloji geliştirme şirketleri ve enstitüler işbirliği ile desteklenecektir.

Çizelge 2: ISOLDE'nin uygulama planı.

ISOLDE İş Planı	2016				2017				2018	
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6
Fikrin Önerilmesi ve Başlangıç										
Görev Analizi ve Tasarımı										
Karşılaştırmalı Çalışma										
Kavramsal Tasarım Raporu										
İyileştirme										
Üretim ve Testler										
Düzeltilmeler										
Kontrol Safhası										
Montaj ve Entegrasyon										
Fırlatma için Teslimat										
Fırlatma										
Yörüngeye Yerleşim										
Görev Faaliyetleri										
Yörüngeden Çıkarma Safhası										

Çizelge 3: ISOLDE'nin yaklaşık fırlatma maliyeti.

Parça	Tahmin Edilen Maliyet [\$]	Yorumlar
Ekipman	305.000	Tolerans dahil
Yapı & Mekanizma	15.000	
Isıl Kontrol Sistemi	5.000	
Yönelim Belirleme ve Kontrol Sistemi	15.000	
Güç Sistemi	120.000	
İtki Sistemi	35.000	
Haberleşme Sistemi	22.000	
Komut ve Veri İşleme Sistemi	7.000	
Faydalı Yük	25.000	
Üretim	100.000	Üretim için 3 model
Testler	100.000	İTÜ'de sürdürülecek
	888.000	20 Öğrenci x 800\$ + 6 Öğr. Üyesi x 3500\$ (24 ay için)
Çalışanlar	30.000	Farklı bir yer istasyonu ile yükselebilir
İşlemler	100.000	Destek hizmetleri
Hizmetler	200.000	Tahmin edilmeyen masraflar
Diğer	1.723.000	
Toplam	3.723.000	Yaklaşık (transfer maliyeti dahil)
Fırlatmayla Birlikte Toplam	3.723.000	

Mikrouydu ISOLDE için belirlenen riskler aşağıda sıralanmıştır:

1. YBKS (Yönelim Belirleme ve Kontrol Sistemi)'de meydana gelebilecek herhangi bir arıza, haberleşme kaybına veya güç üretimi yetersizliği nedeniyle görevin/deneyin başarısızlığına sebebiyet verebilir.
2. Su tankından herhangi olası bir sızıntı faydalı yük elektroniğine veya uydu donanımına tehlike arz edebilir.
3. Uzaydaki x-ışını yayılımları görevde de var olan kütle spektrometresi deneylerini negatif olarak etkilemektedir.
4. Fırlatma ile ilgili olası gecikmeler proje maliyetini artırabilir.

YBKS donanımında meydana gelebilecek arızalara karşı arıza tespiti ve ayrıştırılması algoritmaları uygulanabilmektedir. Deneyde çift örnekleme yapılması ve fırlatma öncesi radyasyon çalışmaları, görev kalitesini etkileyen x-ışını riskinin minimize edilmesini sağlayacaktır. Yer yüzeyinde yapılan testlerdeki zorlu gaz giderme işlemleri, deneyin verimini artıracak ve sızıntı risklerini düşürecektir.

SONUÇ

ISOLDE, standart gaz giderme deneylerini XHV ortamında gerçekleştirecek hızlı ve düşük maliyetli bir mikrouydu tasarımı projesidir. Zeolitin testlerde denenmesiyle optik ve elektronik malzemeler için zararlı etkileri olan gaz giderme olayının hassas ölçüm verileri elde edilmiş olacak, gelecekte yapılacak derin uzay ortamı görevi gerçekleştirecek uydular için gerekli veri bankasının oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Değerli öğretim üyelerimiz Prof. Dr. Zerefşan Kaymaz, Prof. Dr. Alim Rüstem Aslan, Yard. Doç. Dr. Cuma Yarım, Prof. Dr. Cengiz Hacızade ve Yard. Doç. Dr. Turgut Berat Karyot'a bizi destekledikleri için teşekkürü borç biliriz. Ayrıca desteklerinden ötürü üniversitemizin Yukarı Atmosfer ve Uzay Havası Laboratuvarı ve Uzay Sistemleri Tasarım ve Test Laboratuvarı'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Brown, C. D. (2002). *Elements of Spacecraft Design*. AIAA Education Series, Virginia, USA.
- ESA Science & Technology. (2016, Haziran 23). *ESA Science & Technology: Orbiter Instruments*. Rosetta: <http://sci.esa.int/rosetta/35061-instruments/?fbbodylongid=1650> adresinden alındı.
- Schläppi, B., Altwegg, K., Balsiger, H., Calmonte, U., Hässig, M., Hofer, L., . . . Mall, U. (2011). Characterization of the gaseous spacecraft environment of Rosetta by ROSINA. *3rd AIAA Atmospheric Space Environments Conference, Fluid Dynamics and Co-located Conferences* (s. 1-8). Honolulu: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Redhead, P. A. (1999). *Extreme High Vacuum*. CERN. No. OPEN-2000-281.
- Tethers Unlimited. *HYDROSTM Water Electrolysis Thruster: Green Propellant, High-Thrust Propulsion for Orbit-Agile CubeSats*. Tethers Unlimited'te 15 Mart 2016 tarihinde erişildi: <http://www.tethers.com/HYDROS.html>
- Wertz, J. R., ve Wiley, J. L. (2005). *Space Mission Analysis and Design*. Space Technology Library, Microcosm Press. El Segundo, California, ABD.