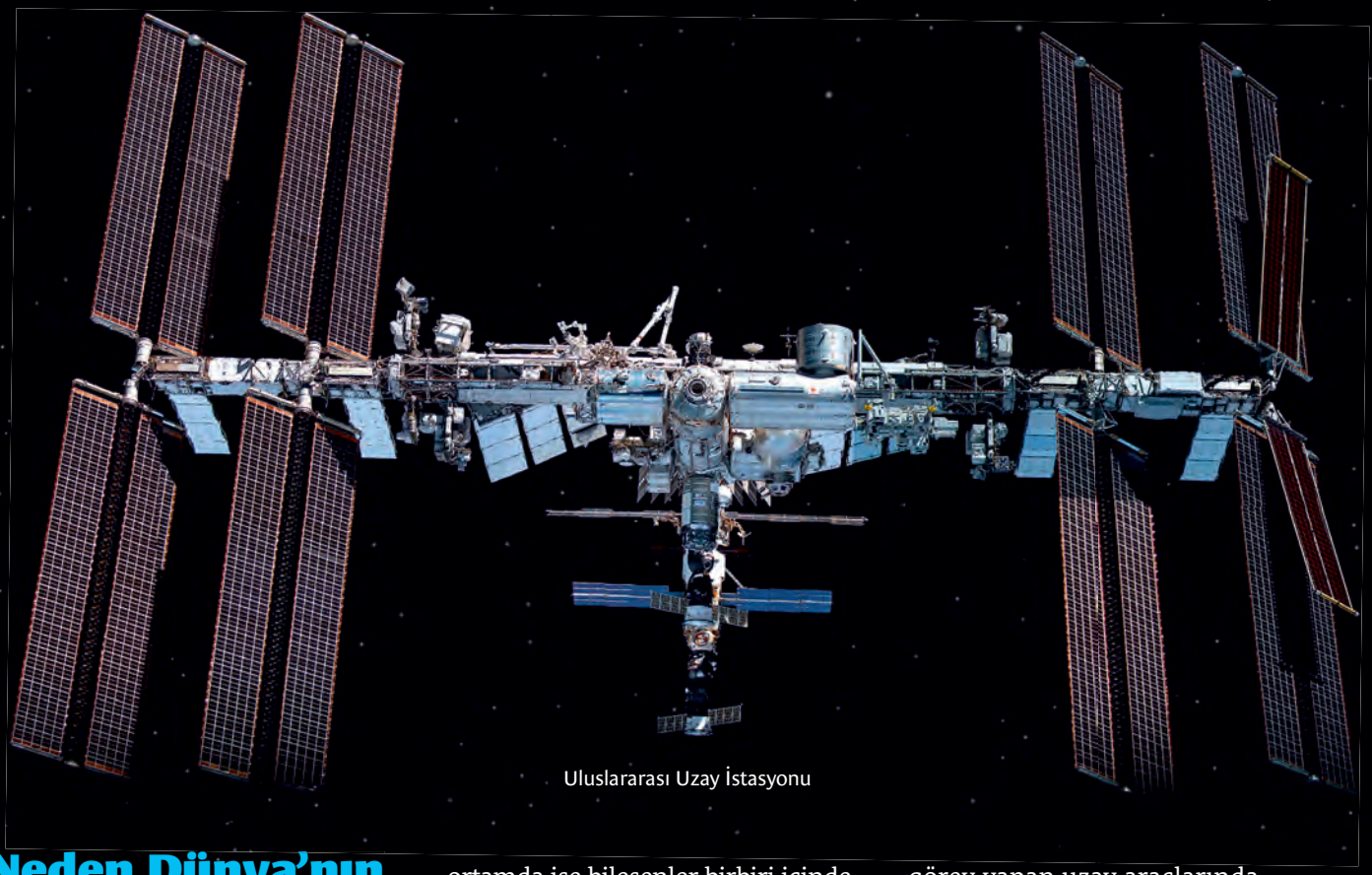
Geleceğin Uzay İstasyonlarını Özel Şirketler mi Kuracak?

Dr. Tuba Sarıgül [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Uluslararası Uzay İstasyonu'nun 2030 yılında görevinin sonlandırılması planlanırken Dünya'nın yörüngesinde insan varlığının ve bilimsel araştırmaların devam etmesi için ticari şirketlerle iş birliği içeren yeni nesil yaklaşımlar hayata geçiriliyor.



Uluslararası Uzay İstasyonu

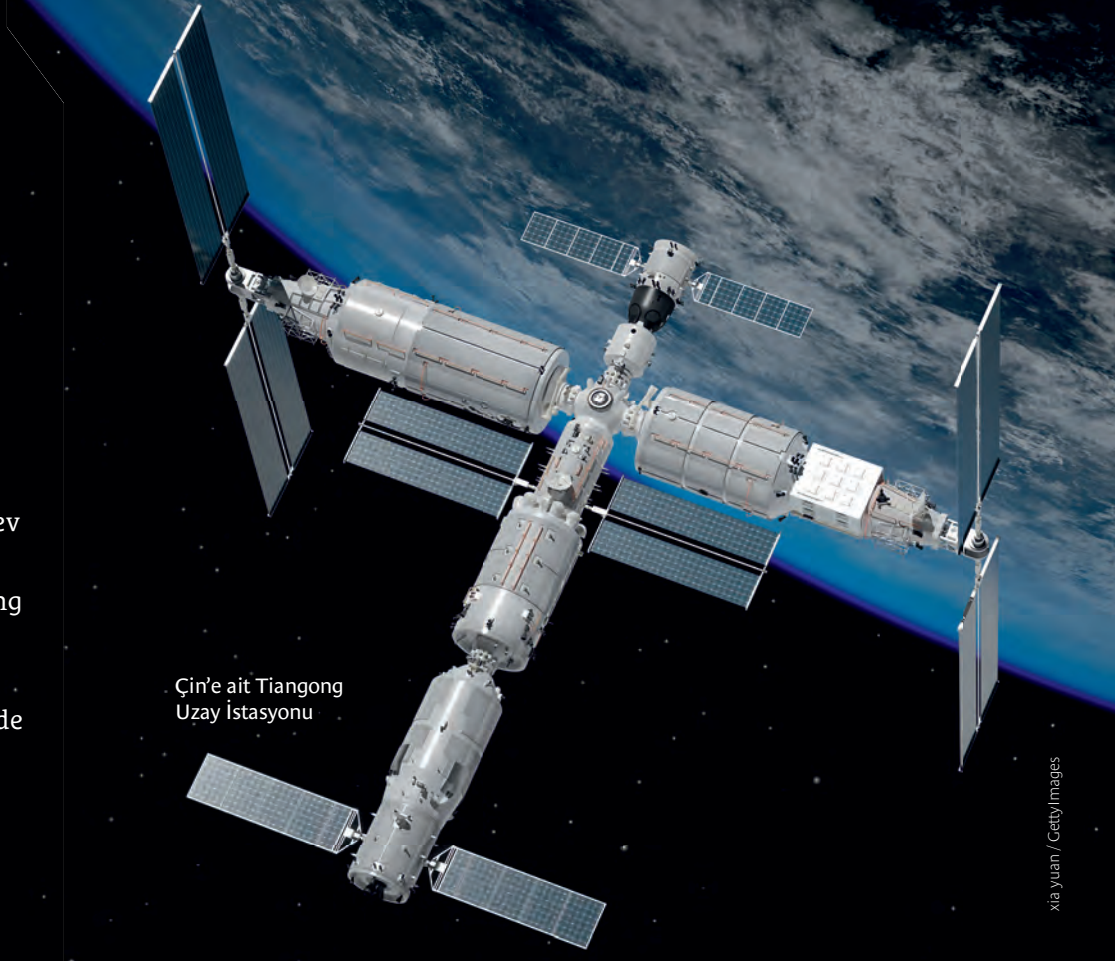
NASA

Neden Dünya'nın Yörüngesinde Dolanan Bir Uzay Laboratuvarına İhtiyacımız Var?

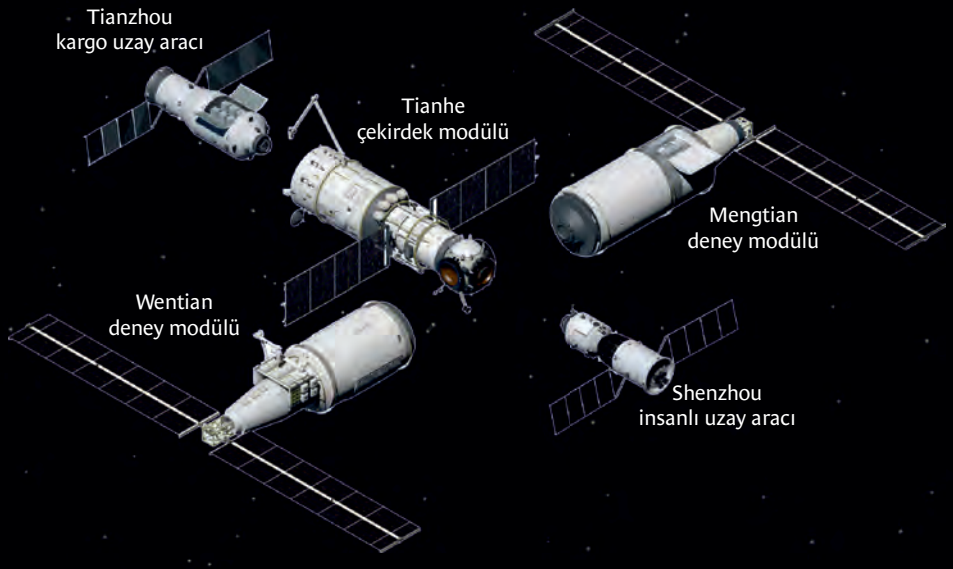
Kalbimiz kanı beynimize ulaştırırken kaslarımız, vücut ağırlığını taşırken Dünya'nın kütle çekimine yani yer çekimine karşı koymaya çalışır. Günlük hayatta birçok etkisine aşina olduğumuz kütle çekimi fiziksel süreçleri de etkiler. Örneğin yeryüzünde sıcaklık farkının neden olduğu yoğunluk değişiminden kaynaklanan akışkan hareketi yani konveksiyon, ağırlıksız ortam koşullarında gerçekleşmez. Aynı zamanda Dünya üzerinde heterojen karışımlarda yoğunluğu fazla olan bileşen dibe çökerken düşük olan yukarıda kalır, ağırlıksız ortamda ise bileşenler birbiri içinde dağılmış şekilde kalır. Dolayısıyla kütle çekiminin etkisinin çok zayıf olduğu ağırlıksız ortam koşullarında deneyler yapmak, bilim insanlarının fiziksel süreçleri kütle çekiminin bozucu etkileri olmadan incelemesine olanak tanır.

Serbest düşme kuleleri, parabolik rota takip eden uçaklar ve yörünge altı uçuş yapan roketler sayesinde yeryüzünde ağırlıksız ortam koşulları simüle edilebiliyor. Ancak bu platformlarda ağırlıksız ortam koşulları saniyeler ve dakikalar ölçeğinde çok kısa süreliğine oluşturulabiliyor. Ayrıca bu platformlarda deney ekipmanlarına etki eden kütle çekim kuvvetinin değeri uzaydaki kadar düşük değil. Uluslararası Uzay istasyonu (ISS) gibi Dünya'nın yörüngesinde görev yapan uzay araçlarında ise ağırlıksız ortamda uzun süreler boyunca deneyler gerçekleştirilebiliyor.

Dünya'nın yörüngesinde hareket eden en büyük yapay uydu olan ISS, ağırlıksız ortam deneyleri için hayati öneme sahip bir platform. ISS'de farklı deney modülleri bulunuyor. Japonya Uzay Ajansı'na (JAXA) ait olan Kibo, ISS'deki en büyük modül. Dört ana bölümden oluşan Kibo'nun PM modülünde astronotlar deneyler gerçekleştirebiliyor. ABD'nin Destiny modülü ISS'nin ilk laboratuvar modülü. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından kurulan Columbus'ta ağırlıksız ortam koşullarının insan vücudu üzerindeki etkileri inceleniyor. Rusya'ya ait Nauka modülü ise 2021 yılında ISS'ye kuruldu.



xia yuan / GettyImages



Adrian Mann / Stocktrek Images / GettyImages

ISS kadar bilinmese de Dünya'nın yörüngesinde görev yapan uzay istasyonlarından bir diğeri de Çin'e ait Tiangong Uzay İstasyonu.

Çin'in Dünya'nın yörüngesinde uzun süreli insanlı uzay görevleri yürütmek amacıyla bir uzay istasyonu inşa etme projesi 2010 yılında başladı ve 11 yılın ardından istasyonun Tianhe isimli ilk modülü 29 Nisan 2021'de uzaya gönderildi. 2021 ve 2022 yıllarında gönderilen 11 uzay göreviyle istasyonun inşası tamamlandı. Bu sayede Çin, ABD ve Rusya'dan sonra uzayda bağımsız olarak uzay istasyonu kurabilen üçüncü ülke oldu.

Tiangong Uzay İstasyonu üç ana modülden oluşuyor. Tianhe çekirdek modülü, istasyonun kontrol merkezi olarak görev yapıyor. Astronotların yaşam alanlarını barındıran bu modülde yaşam destek sistemleri, istasyonu ziyaret eden uzay araçlarının kenetleneceği kapaklar, robotik kol, uzay yürüyüşleri için geçiş kabini gibi bölümler bulunuyor. İstasyonda Wentian ve Mengtian isimli iki deney modülü de var.

İstasyonda bulunan bilimsel ve teknolojik deney alt yapılarında tıp, biyoteknoloji, yaşam bilimleri, malzeme bilimi, astronomi ve astrofizik alanlarında araştırmalar ağırlıksız ortam koşullarında yürütülüyor. Bu çalışmaların yanı sıra yanma teknolojileri, akışkan fiziği, bilgi teknolojileri konularında uzay temelli yeni yaklaşımlar geliştiriliyor.

Tiangong Uzay İstasyonu'nda katlanabilir özellikte güneş

panelleri bulunuyor. Panellerin üretildiği üç eklemli galyum arsenür güneş gözelerinin Güneş'ten gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme verimi %30 civarında yani geleneksel sistemlerden daha yüksek. Tiangong Uzay İstasyonu'nun toplam kütlesi ise 69 ton. Yani kütlesi 400 tonun üzerinde olan ISS'ye kıyasla daha küçük ölçekte bir uzay istasyonu. İstasyonda normalde üç astronot görev yapıyor ancak astronotların değiştiği süreçte mürettebat kapasitesi altı kişiye kadar çıkabiliyor. 340 km ila 450 km arasındaki irtifada dolanan Tiangong Uzay İstasyonu'nun hizmet ömrü en az 10 yıl.

Kurulumuna 1998 yılında başlanan ISS ise başlangıçta 2016'ya kadar görev yapabilecek şekilde tasarlanmıştı. İşletilmesinden, bakımından ve modernize edilmesinden NASA, Roscosmos, JAXA, ESA ve Kanada Uzay Ajansı'nın sorumlu olduğu ISS'nin 2030 yılının sonunda emekliye ayrılacağı açıklandı. Peki, görevine başladığından bu yana Dünya'nın yörüngesinde kesintisiz bir şekilde insan varlığının devam etmesine imkân veren ve ağırlıksız ortam koşullarında yürütülen bilimsel ve teknolojik araştırmalarda büyük katkısı olan ISS'nin yeri nasıl dolacak?

Ticari Uzay İstasyonları Dönemi

NASA, ağırlıksız ortam koşullarında gerçekleştirilen deneylerin insanlık yararı için hayati önemde olması nedeniyle Dünya'nın yörüngesindeki uzun süreli insanlı uzay görevlerini ticari iş birlikleri ile devam ettirmeyi planlıyor. Bu sayede istikrarlı bir şekilde çalışan ve emniyetli uzay sistemlerinin daha düşük bütçeyle geliştirilmesi amaçlanıyor. Uzay istasyonunun tasarlanması, geliştirilmesi, mülkiyeti ve işletilmesinden ticari şirketlerin sorumlu olduğu bu yeni yaklaşım iki aşamalı olarak planlandı.

Birinci Aşama

NASA, birinci aşamada uzay teknolojileri alanında çalışan farklı şirketlerle anlaşmalar yaparak birden fazla sayıda ticari uzay istasyonu projesinin tasarım ve geliştirme süreçlerine destek veriyor. Bu anlaşmaların bir kısmında projelere maddi destek sağlanırken bazılarında şirketlere teknik uzmanlık desteği, uzay sistemleri alt yapılarına erişim gibi olanaklar sunuluyor.

Birinci aşama kapsamında destek alan ilk şirket Axiom Space oldu. 2020 yılında yapılan anlaşma kapsamında Axiom Space şirketi, ISS'ye bağlanacak yaşanabilir bir modül tasarlayıp üretecek. Bu modülün daha sonra ISS'den ayrılarak bağımsız bir istasyon olarak görev yapması planlanıyor.

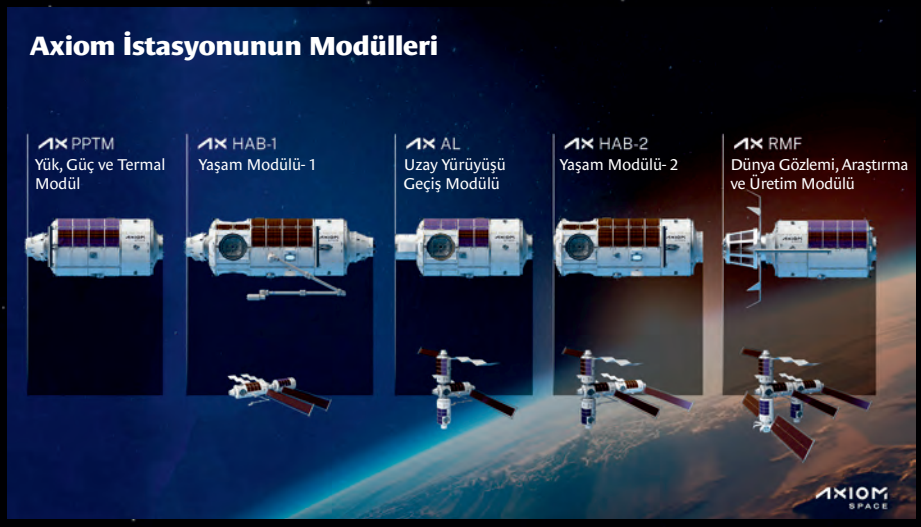
Axiom İstasyonu'nun tasarlanan temsili görseli

Axiom Space

Axiom İstasyonu

Axiom İstasyonu'nun Yük, Güç ve Termal Modül (Ax PPTM), Habitat 1 (Ax Hab-1), Airlock (Ax AL), Habitat 2 (Ax Hab-2), Dünya Gözlemi, Araştırma ve Üretim Modülü (Ax RMF) olmak üzere beş ana bölümden oluşması planlanıyor.

Ax PPTM, istasyona bağlı diğer modüllere güç sağlayacak ve bu modüllerin sıcaklık dengesini korumak için ısıl kontrol sistemleri içerecek. Ax Hab-1 modülü, dört kişilik mürettebat için yaşam alanı sağlamasının yanı sıra araştırma ve üretim alt yapıları barındıracak. Ax Hab-2 modülü Axiom İstasyonu'nun mürettebat ve ekipman kapasitesini artıracak. Astronotların istasyon dışına çıkarak uzay yürüyüşü yapmalarını sağlayacak Ax AL modülü, basınçlı iç ortam ile uzaydaki vakum ortamı arasında güvenli bir şekilde geçiş yapılmasına imkân verecek. Son



axiomspace.com

teknoloji ürünü bilimsel araştırma alt yapıları içerecek Ax RMF modülünde ise astronotların Dünya'yı izlemesine imkân verecek bir gözlem penceresi de bulunacak.

Projenin başlangıcında öncelikle Ax Hab-1 modülünün uzaya gönderilip ISS'ye kenetlenmesi planlanıyordu. Ancak Aralık 2024'te kurulum planlamasının revize dildiği açıklandı. Buna göre ilk olarak PPTM modülü ISS'ye kenetlenecek. Modül, 2028'de ISS'den ayrılarak yörüngede bağımsız olarak hareket etmeye başlayacak. Ax PPTM modülüne sırasıyla Ax Hab-1, Ax AL, Ax Hab-2 ve Ax RMF modülleri bağlanacak ve Axiom İstasyonu'nun montajı yörüngede tamamlanacak. Bu sayede Axiom İstasyonu planlanandan iki yıl önce uzayda bağımsız olarak hareket etmeye başlayacak.

Bu sayede ISS'nin görev süresini tamamladıktan sonra yörüngeden çıkarak atmosfere kontrollü bir şekilde girmesini sağlayacak yörüngeden çıkarma aracının ISS'ye entegrasyon süreci bir aksama olmadan devam edebilecek. Görevi sonlandırıldığında ISS'nin nasıl devre dışı bırakılacağıyla ilgili daha detaylı bilgiye Bilim ve Teknik Aralık 2024 sayısında yayımlanan "2030'da Görevi Sonlandırıldığında Uluslararası Uzay İstasyonu'na Ne Olacak?" başlıklı yazımızdan ulaşabilirsiniz.

Ax PPTM modülünün gövde kısmının üretimine İtalya'da devam ediliyor. Thales Alenia Space tarafından üretilen gövdenin 2025'in sonunda ABD'ye gönderilmesi ve Axiom Space'in Houston'daki tesislerinde iç sistemlerinin entegrasyonun yapılması planlanıyor.

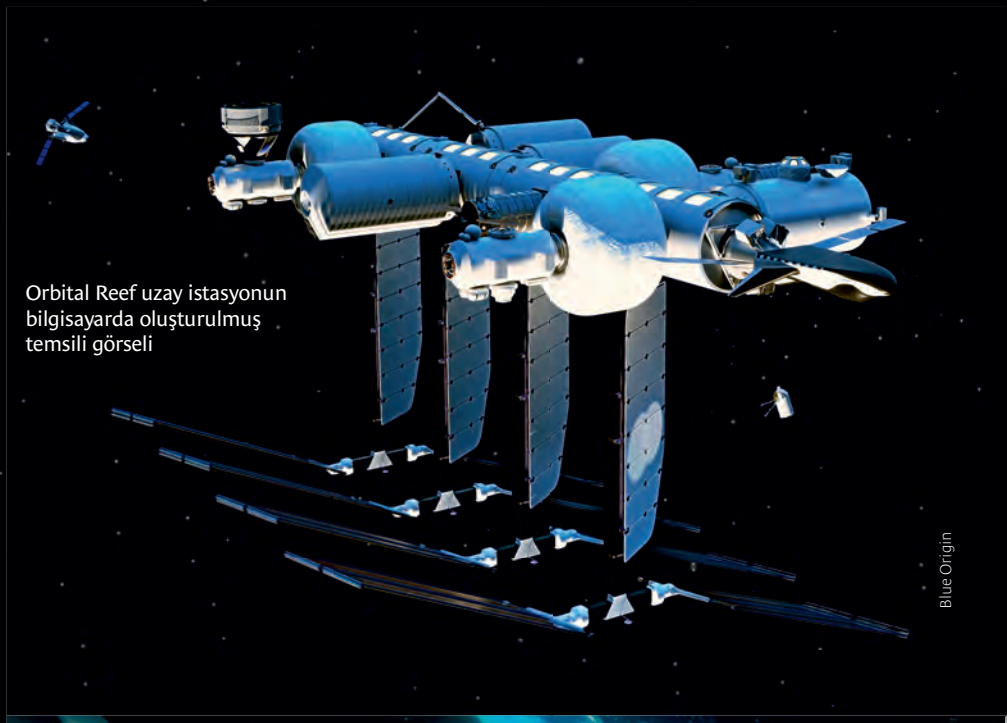
NASA, Ticari Uzay İstasyonları Programı kapsamında uzay istasyonu tasarımları geliştirmeleri amacıyla Blue Origin, Northrop Grumman ve Starlab şirketleri ile 2021 yılında anlaşma imzaladı. Northrop Grumman daha sonra anlaşmadan çekilerek kendi uzay istasyonunu geliştirmek yerine Starlab projesine katıldı.

Orbital Reef Uzay İstasyonu

Blue Origin ve Sierra Space şirketlerinin ortak projesiyle geliştirilen Orbital Reef uzay istasyonu projesinde ayrıca Boeing, Redwire Space, Genesis Engineering ve Arizona Eyalet Üniversitesi paydaş olarak yer alıyor.

Blue Origin şirketi, projede temel olarak geniş çaplı modüllerin metal gövdelerinin imalatından sorumlu. Ayrıca modülleri uzaya taşıması planlanan New Glenn roketi de Blue Origin tarafından geliştiriliyor. Yeniden kullanılabilir özellikteki New Glenn roket sistemi Ocak 2025'te ABD'nin Florida eyaletindeki Cape Canaveral Uzay Üssü'nden ilk defa başarıyla fırlatıldı. Roket sisteminin birinci segmenti yeryüzüne dikey iniş sırasında kaybedilse de ikinci segmentinin taşıdığı Blue Ring Pathfinder servis modülü planlanan yörüngeye ulaştı.

Kurucuları Türk araştırmacılar olan Sierra Space şirketi ise projede temel olarak LIFE isimli şişirilebilir özellikteki yaşam modülünün geliştirilmesinden sorumlu. Fırlatma sırasında sıkıştırılmış hâlde bulunan modül yörüngeye ulaştığında şişirilerek yaşam ve çalışma alanına dönüşüyor. Modülün üretildiği Vectran™ isimli yüksek mukavemetli kumaş, şişirildiğinde çelikten daha güçlü bir yapısal kabuk katmanı işlevi görüyor. LIFE modülünün Orbital Reef istasyonu için geliştirilen versiyonu şiştiğinde 9 metre çapına ulaşacak. İçinde dört mürettebatın yaşayabileceği modülde astronotların dinlenme ve egzersiz alanları, bilimsel ekipmanlar, yaşam destek ve ısıl kontrol sistemleri de yer alabilecek.



Orbital Reef uzay istasyonun bilgisayarda oluşturulmuş temsili görseli

Blue Origin

Sierra Space

Orbital Reef uzay istasyonunun şişebilir modülleri

Sierra Space

LIFE modülün tam ölçekli modelinin UBP testinden sonraki görüntüsü

Sierra Space

Dream Chaser

LIFE modülünün küçük ölçekli test modeli ile 2022'den bu yana sınır patlama basınç testi (UBP) ve uzun süreli dayanım testleri gerçekleştirildi. Temmuz 2024'te ise LIFE modülünün tam ölçekli bir modelinin basınç dayanım kapasitesinin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilen testte 77 psi basınca yani deniz seviyesindeki atmosfer basıncının yaklaşık beş katına ulaşıldı. Böylece NASA'nın sertifikasyonu için gerekli olan teknik standartlar karşılandı.

LIFE modülünün daha geniş hacimli versiyonlarının ise Ay'ın ya da Mars'ın yüzeyinde kurulacak keşif üslerinde yaşam alanı olarak kullanılması hedefleniyor.

Sierra Space, LIFE modülünün yanı sıra alçak Dünya yörüngesine mürettebat ve kargo taşımak amacıyla Dream Chaser isimli uzay aracını geliştiriyor. Uçaklardakine benzer şeklinde kanatlara sahip olan Dream Chaser, uzay mekikleri gibi piste iniş yapabilecek. Uzay aracı, iniş sırasında maksimum 1,5 G ivmeye maruz kalacak şekilde tasarlandığından hassas kargoların örneğin bilimsel örneklerin zarar görmeden Dünya'ya dönmesini sağlayabilecek.

Dream Chaser'ın ISS'ye kargo taşımak amacıyla geliştirilen Tenacity isimli versiyonunun ilk test uçuşunun 2024 yılının sonunda gerçekleştirilmesi planlansa da fırlatma henüz gerçekleştirilmedi. Test uçuşunda uzay aracının irtifa kontrol, yön değiştirme manevraları ve acil durum sistemlerinin test edilmesi amaçlanıyor. ISS'ye yaklaşma sırasında gerçekleştirilecek bu testlerin ardından ISS'deki astronotlar Canadarm2 isimli robot kol aracılığıyla uzay aracını yakalayarak istasyona kenetlenmesini sağlayacak. Dream Chaser Tenacity'nin yakın zamanda ilk uçuşunu gerçekleştirmesi bekleniyor.

Starlab Uzay İstasyonu

NASA tarafından desteklenen ticari uzay istasyonu projelerinden biri de Voyager, Airbus, Mitsubishi ve MDA Space şirketlerinin iş birliğinde geliştirilen Starlab. İtki, yaşam destek, ısıl kontrol, güç gibi sistemlerini barındıran servis modülü ile içinde astronotların yaşadığı ve bilimsel araştırmaların gerçekleştirildiği yaşam modülünden oluşan Starlab, tek bir uzay görevi ile yörüngeye yerleştirilecek şekilde tasarlandı.

Projede astronotların yaşam alanının da bulunduğu modülün ilk prototipi üretildi. Bu prototip üzerinde gerçekleştirilecek yapısal testlerin planı hazırlandı. İstasyonun genel mimarisi ve sistemlerin nasıl bir araya getirileceği ile ilgili değerlendirmeler tamamlandı. Bundan sonraki aşamada istasyonun tasarımının, sistem gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığı incelenecek ve özellikle insanlı görevler için ilk güvenlik değerlendirmesi gerçekleştirilecek.

Starlab projesinde dijital ikiz teknolojisinden de yararlanılacak. Palantir Technologies şirketi tarafından geliştirilen dijital ikizi sayesinde istasyonda kaynak kullanımı, enerji verimliliği, performans optimizasyonu yapılabilecek. Yapay zekâ algoritmaları sensörlerden gelen verileri anlık olarak analiz ederek anormal durumları tespit edebilecek ve istasyondaki bakım gereksinimlerini önceden tahmin edebilecek.

Starlab istasyonu biyoteknoloji ve yarı iletken teknolojileri alanlarında araştırmaları destekleyecek. Ağırlıksız ortam koşullarında konveksiyona neden olan kuvvetlerin etkili olmaması nedeniyle protein kristalleri daha düzenli yapılar oluşturacak şekilde büyütülebilir. Bu sayede proteinlerin işlevleri daha iyi anlaşılarak hastalıkların mekanizmalarının çözümlenmesi mümkün olabilir ve ilaç geliştirme çalışmaları daha verimli hâle getirilebilir. Ayrıca uzay koşullarında kültür ortamında üç boyutlu şekilde büyütülebilen hücreler gerçek insan dokularının yapısını ve işlevini daha başarılı taklit edebilir. Bu sayede yapay organ araştırmalarında önemli ilerlemeler sağlanabilir.

Starlab

İkinci Aşama

NASA'nın Ticari Uzay İstasyonu Programı'nın ikinci aşamasında, geliştirilen uzay istasyonlarının astronotlar tarafından güvenli ve işlevsel bir şekilde kullanılmaya uygun olup olmadığını değerlendirmek ve onaylamak amacıyla sertifikasyon süreçlerinin tamamlanması planlanıyor. Bu kapsamda şirketlerin geliştirdiği uzay istasyonlarının 2029 yılına kadar en az iki mürettebatın bir ila üç ay boyunca görev yapabileceği asgari yaşam ve çalışma koşullarını sağlaması, 2031 yılına kadar ise altı ay süren uzun süreli uzay görevleri için tam kapasiteye ulaşması bekleniyor.

Uzayda Türkiye'ye Ait Bir Deney Modülü

Ülkemiz de ticari uzay istasyonu projelerinde yer almaya yönelik iş birlikleri yapıyor. Bu amaçla Ocak 2025'te Türkiye Uzay Ajansı (TUA) ile Axiom Space arasında bir anlaşma imzalandı. Buna göre kurulması planlanan Axiom İstasyonu'nun belirli modüllerinin Türkiye'de ortak üretilmesi ve ağırlıksız ortam koşullarında araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütmeye imkân veren bir laboratuvar kurulması hedefleniyor.

Uzay Araştırmalarında Yeni Fırsatlar

Özel şirketler uzay araştırmalarında ve teknolojilerinde son yıllarda devrim niteliğinde gelişmelere öncülük etti. İlk defa SpaceX şirketi tarafından geliştirilen yeniden kullanılabilir roketler, fırlatma maliyetlerini önemli oranda düşürdü. Uzay mekiklerinin görev yaptığı dönemde uzaya gönderilen yükler için kilogram başına maliyet 54.500 dolardı. Yeniden kullanılabilir Falcon 9 roketlerinde bu değer 2.720 dolar/kg'a düştü. Yeniden kullanılabilir sistemler, yakıt verimliliği, ölçeklendirilebilirlik alanlarındaki gelişmeler sayesinde fırlatma maliyetlerinin 2040'ta kilogram başına 100 dolar seviyelerine düşebileceği öngörülüyor.

NASA, Ticari Uzay İstasyonları Programı'na yönelik desteklerde bulunsa da istasyonların mülkiyeti özel şirketlere ait olacak ve NASA bu şirketlerin bir müşterisi olarak hizmetlerden yararlanacak. Şu an uzaydaki ağırlıksız ortam koşullarında bilimsel deneyler gerçekleştirmek için ISS'nin yönetimi ve işletilmesinden sorumlu beş uzay ajansından biriyle ortak projelerde paydaş olmak gerekiyor. Ticari uzay istasyonları ise sanayi, akademi ve uluslararası ölçekte diğer ülkelere uzay araştırmalarında yer alma fırsatı sağlıyor. ■

Kaynaklar

- Wang, X., Zhang, Q., Wang, W., "Design and Application Prospect of China's Tiangong Space Station", *Space: Science & Technology*, Cilt 3, Makale no: 0035, 2023.
- Jones, H. W., "The Recent Large Reduction in Space Launch Cost", 48th International Conference on Environmental Systems, 2018.
- https://www.nasa.gov/leomicrogravitystrategy/
- https://www.nasa.gov/humans-in-space/commercial-space/commercial-space-stations/
- https://www.axiomspace.com/axiom-station
- https://www.sierraspace.com/commercial-space-stations/life-space-habitat/
- https://starlab-space.com/
- https://tua.gov.tr/tr/haberler/tua-ve-axiom-space-turk-uzay-sanayii-ekosistemi-icin-tedarik-zinciri-firsatlarini-arastiracak