

## Beslenmenin Uzay Görevlerindeki Yeri ve Önemi: Geleneksel Derleme

### *The Role and Importance of Nutrition in Space Missions: A Narrative Review*

Merve İlhan Esgin<sup>1</sup>, Hümeysra Sarı<sup>2</sup>

Geliş tarihi/Received: 07.10.2024 • Kabul tarihi/Accepted: 17.12.2024

#### ÖZET

Uzayda beslenme, uzay görevlerinin başlangıcından bu yana sürekli olarak araştırılıp geliştirilmektedir. Beslenme astronotlar için hem fizyolojik gereksinmelerin karşılanması hem de mental sağlığın korunması açısından önemlidir. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde uzayda tüketilen besinler dondurulmuş besinlerden taze ürünlere kadar çeşitlilik göstermektedir. Uzay ortamının mikro yer çekimi, uzun süreli radyasyona maruz kalma ve fiziksel aktivite durumunun değişmesi gibi özel koşulları, bireylerin enerji ve besin ögesi gereksinmelerini etkilemektedir. Enerjinin ve protein, D vitamini, kalsiyum, magnezyum, çinko ve antioksidanlar gibi besin öğelerinin yeterli alınması oldukça önem taşımaktadır. Buna karşın, beslenme ve kaynak kullanımı ters ilişki göstermektedir. Yeterli beslenme sağlanırken, besinlerin taşınması ve depolanması, raf ömrü, besin tedariki ve atıkların bertarafı gibi konular dikkatle ele alınmalıdır.

*Anahtar kelimeler: Beslenme bilimleri, beslenme gereksinimleri, mikro yer çekimi, uzay uçuşu*

#### ABSTRACT

Nutrition in space has been continuously researched and developed since the beginning of space missions. Nutrition is important for astronauts both in terms of meeting physiological needs and maintaining mental health. Today, with the development of technology, the food consumed in space varies from frozen foods to fresh products. The special conditions of the space environment, such as microgravity, prolonged exposure to radiation and changes in physical activity status, affect the energy and nutrient requirements of individuals. Adequate intake of energy and nutrients such as protein, vitamin D, calcium, magnesium, zinc and antioxidants are very important. However, there is an inverse relationship between nutrition and resource use. While ensuring adequate nutrition, issues such as food transport and storage, shelf life, food supply and waste disposal should be carefully considered.

*Keywords: Nutritional sciences, nutritional requirements, microgravity, space flight*

1. **İletişim/Correspondence:** Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye  
E-posta: milhan@ankara.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-9694-035X>

2. Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye • <https://orcid.org/0009-0005-8741-9940>

## GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca evrenin keşfi, insanların daha önce bilinmeyen bölgelere girmesini gerektirmiştir. Besin güvenliği, keşfedilmemiş bölgelerde hayati öneme sahiptir (1). İnsan varlığını uzayda desteklemek amacıyla kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir. Astronotlar, dünyadan taşınan ve özel olarak sağlanan besin kaynaklarına güvenmektedirler. Bu besinlerin raf ömrü ve ürünleri işlemek için kullanılan teknikler, tüketicilerin besin gereksinmelerinin karşılanması açısından sınırlı kalabilmektedir (2). Beslenmenin uzay yolculuğunda yeterli besin sağlamanın yanı sıra sağlıklı bir vücudun metabolik ihtiyaçlarını karşılamaktan bireyin duygusal refahını artırmaya kadar birçok önemli işlevi vardır (3). Bu geleneksel derleme çalışmasında, uzay beslenmesinin geçmişten günümüze kadar olan gelişimi, astronotlar açısından önemi ve beslenme gereksinimleri ile ilgili literatürdeki mevcut durum ele alınmıştır.

## GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE UZAY BESLENMESİ

İnsanlar 1960'larda ilk kez uzayı keşfetmeye başladığında, bilim insanları astronotların beslenme gereksinmelerini karşılayacak ve yerçekimsiz ortamda tüketilebilecek yiyecekler tasarlamak zorunda kalmıştır (4). Son yıllarda, Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) astronotlara daha gelişmiş mutfak imkanları sunmaktadır. Uluslararası Uzay İstasyonu'nda, Dünya'dan gelen malzemelerle mikro yer çekimi ortamında yeniden sulandırılabilen, ısıtılabilen veya doğrudan tüketilebilen yemekler hazırlanabilmektedir. Ayrıca, çeşitli taze besinler de yetiştirilmektedir (5,6) Astronotlar, yemeklerini çeşitli baharatlar ve tatlandırıcılarla zenginleştirebilmektedir. (4). Şekil 1'de uzay besinlerinin geçmişten günümüze değişimi görülmektedir.

## UZAY BESLENMESİNİN MEVCUT DURUMU

### Uzay Beslenmesinin Temel Bileşenleri

Beslenme, yeterli besin sağlamanın yanı sıra, radyasyona maruziyet, bağışıklığın zayıflaması, oksidatif stres, kemik ve kas kaybı gibi uzay yolculuğunun olumsuz etkilerinin dengelenmesinde, kardiyovasküler sağlığın ve hormonal dengenin korunmasında önemli bir yere sahiptir (3). Uzay uçuşlarında, dehidrasyonu önlemek, kan dolaşımını desteklemek, termoregülasyonu sağlamak, besin emilimine yardımcı olmak için enerji, besin ögesi ve su alımının yeterli olması gerekmektedir (4). Bu nedenle uzay beslenmesi çeşitliliğin ve kabul edilebilirliğin yanı sıra, optimal fizyolojik ve psikolojik refah için yeterli desteği sağlamalıdır (9).

İnsan uzay uçuşu verileri, mikro yer çekimi ve 90 dakikalık aydınlık/karanlık döngülerinin birçok fizyolojik sistemde uyarlanabilir tepkilere neden olduğu göstermektedir. Bu tepkiler vücut ağırlığı kaybı, elektrolit dengesizliği, dehidrasyon, konstipasyon, potasyum, kalsiyum ve kırmızı kan hücresi kaybına neden olabilmektedir (10). Uzay beslenmesi, protein, yağ ve karbonhidratın yanı sıra vitamin ve mineral gereksinmelerini de karşılamalıdır. Uzay besinleri, protein, kalsiyum, demir, A vitamini, C vitamini, tiamin, riboflavin, B<sub>12</sub> vitamini, folat, D vitamini, E vitamini, magnezyum, potasyum, çinko, lif ve pantotenik asit olmak üzere 16 temel bileşeni içermelidir (9). Bu besin öğeleri Drewnowski tarafından geliştirilmiş olan "doğal besin ögesi yoğunluğu skoru (naturally nutrient rich-NNR)" revize edilerek belirlenmiştir (9,11).



Şekil 1. Uzay görevleri süresince besin alımının tarihi (7,8)

ISS:Uluslararası Uzay İstasyonu

## UZAY BESİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE UZAY MENÜLERİ

### Uzay Besini Kategorileri

Uzay besini kategorileri rehidre edilebilir, ısıyla stabilize edilmiş, orta nemli, doğal, ışınlanmış, dondurulmuş, taze ve soğutulmuş besin olmak üzere sekiz kategoriye ayrılmıştır (Tablo 1) (4).

### Uzay Menülerine Örnekler

Yıllar süren çabalar sonucunda uzayda sunulan besinler, çeşitlilik ve lezzet açısından zenginleşerek astronotların beslenme deneyimini büyük ölçüde iyileştirmiştir. Monotonluğu önlemek için diyetler genellikle 4-6 günlük döngülerle planlanmaktadır ve her gün farklı 3 yiyecek sunulmaktadır (içecekler hariç) (10). Şekil 2'de bazı ana öğün örnekleri gösterilmiştir (17).

## ASTRONOTLARIN ENERJİ VE BESİN ÖGESİ GEREKSİNİMLERİ

### Enerji ve Besin Ögesi Gereksinmesini Etkileyen Faktörler

**Mikro Yer Çekimi:** Mikro yer çekimi, merkezi sinir sistemi üzerinde etkiye sahip olabilecek, uzay uçuşuna özgü stres etkenlerinden biridir. Bu etkenler, astronotlarda görev sırasında önemli sağlık risklerine ve görev sonrası yaşam kalitesinde bozulmaya neden olabilir (18). Mikro yer çekimi, dünya üzerindeki normal fizyolojik koşulları değiştirerek biyokimyasal değişikliklere neden olur. Sıvı dağılımındaki değişiklikler, hücresel sinyalizasyonun bozulması, duyuşal değişiklikler, kemik ve kas kaybı, mineral bileşimde değişiklikler, hormonal dengesizlikler, anormal sindirim ve emilim, anormal demir metabolizması, oksidatif stres ve

**Tablo 1.** Uzay besinlerinin sınıflandırılması

Besin Grubu	Açıklama
<b>Rehidre Edilebilir Uzay Besinleri</b>	Tüketilmeden önce sulandırılmak üzere özel olarak tasarlanmış besinleri ifade eder (12).
<b>Isıyla Stabilize Edilmiş Uzay Besinleri</b>	Besinin güvenliğini sağlamak, raf ömrünü uzatmak ve besinin dayanıklılığını arttırmak için ısıyla işleme tabi tutulmuş ve sterilize edilmiş besinlerdir (13).
<b>Yarı Nemli veya Orta Nemli Uzay Besinleri</b>	Nem içeriği kuru besin ile nemli besin arasında olan besinleri ifade eder. Nemli veya çabuk bozulan besinlere kıyasla daha uzun raf ömrüne sahiptir (14).
<b>Doğal Formdaki Uzay Besinleri</b>	Minimum düzeyde işlenmiş ve orijinal formunu, dokusunu ve besin bileşimini koruyan besinlerdir (10).
<b>Işınlanmış Uzay Besinleri</b>	Besinin gama, X veya elektron ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakılmasını içeren, zararlı mikroorganizmaların ve parazitlerin kontrol altına alınmasına veya ortadan kaldırılmasına yardımcı olan bir süreçten geçen besinlerdir (15).
<b>Dondurulmuş Uzay Besinleri</b>	Son derece düşük sıcaklıklarda dondurulup saklanan besinlerdir. Tüketilmeden önce, uzay aracında bulunan ekipmanlar kullanılarak, besinleri yeniden sulandırmak veya ısıtmak için belirli talimatlar izlenmelidir (2).
<b>Taze Uzay Besinleri</b>	Genellikle taze malzemeler kullanılarak hazırlanan uzay yemeklerini ifade etmektedir. Malzemelerin tazeliğini ve kalitesini sağlamak için özel paketleme ve saklama yöntemleri kullanılmaktadır (4).
<b>Soğutulmuş Besinleri</b>	Genellikle 2-4°C arasında sabit sıcaklık aralığını koruma amacıyla tasarlanan, ambalajı hafif, kompakt ve uzayın mikro yer çekimi ortamında taşınması kolay besinlerdir (16).

STS-128 GÖREVİNİN 3. GÜNÜNDE TERCİH EDİLEN KAHVALTI ÖĞÜNÜ	STS-126 GÖREVİNİN 9. GÜNÜNDE TERCİH EDİLEN ÖĞLE ÖĞÜNÜ	STS-114 GÖREVİNİN 11. GÜNÜNDE TERCİH EDİLEN AKŞAM ÖĞÜNÜ
<p><b>Kuru Kayısı</b> (Orta Nemli Gıda)</p> <p><b>Sosis Köftesi</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Baharatlı Çırpılmış Yumurta</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Tortilla x 2</b> (Taze Besin)</p> <p><b>Vanilyalı Kahvaltılık İçecek</b> (İçecek)</p> <p><b>Portakallı-Ananash İçecek</b> (İçecek)</p> <p><b>Metamucil Wafers, Elma</b> (Doğal Formda Besin)</p>	<p><b>Izgara Domuz Pirzolası</b> (Termostabilize Edilmiş)</p> <p><b>Patates Püresi</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Peynirli Karnabahar</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Elma Püresi</b> (Termostabilize Edilmiş)</p> <p><b>Kaju fıstığı</b> (Doğal Formda Besin)</p> <p><b>Tereyağlı Kurabiyeler</b> (Doğal Formda Besin)</p> <p><b>Şekerli Çay x 2</b> (İçecek)</p>	<p><b>Erişte ve Tavuk</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Pirinç ve Tavuk</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Sebzeli Risotto</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Mantarlı Yeşil Fasulye</b> (Rehidrasyon İşlemi)</p> <p><b>Tapyoka Pudingi</b> (Termostabilize Edilmiş)</p> <p><b>Tropikal Meyve Kokteyli</b> (İçecek)</p>

**Şekil 2.** Astronotların bazı uzay görevlerindeki öğünleri (16).

STS: Uzay Taşıma Sistemi

azalan bağışıklık tepkisi mikro yer çekiminin neden olduğu biyokimyasal değişikliklerdir (4). Mikro yer çekiminde kasların işleyişindeki değişiklik ve fiziksel aktivitenin azalması nedeniyle günlük aktivitelerin enerji değeri büyük ölçüde düşmektedir (19). Örneğin nötr yüzerlik durumunda (1-g kuvveti) ve uzay aracı dışında Ay yüzeyinde gerçekleştirilen aktivitelerde ortalama olarak sırasıyla 393 kkal/saat ve 230 kkal/saat enerji harcanmaktadır (20). Mikro yer çekimi, bağırsak florasındaki yararlı bakterilerin azalmasına ve zararlı bakterilerin artmasına neden olmaktadır. Bu durum gastrointestinal fonksiyonu değiştirmekte ve zamanla sindirim ve emilim fonksiyonunu etkilemektedir (10).

**Uzun Süreli Radyasyon:** Uzay radyasyonu astronotlar için birincil risk faktörüdür (21). İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmak, reaktif

oksijen türlerinin üretimini artırarak serbest oksijen radikallerinin üretimi ile vücudun antioksidan kapasitesi arasında dengesizlik yaratır (22). Radyasyonun neden olduğu oksidatif hasar birçok sistemde etkili olmaktadır. Oksidatif stres, mutasyon, nörobilişsel hasar, epitelyal kanser ve kardiyovasküler hastalık riski, enfeksiyonlara dirençte azalma ve “erken yaşlanma” gibi sağlık problemlerine yol açabilen moleküler değişiklikleri tetiklemektedir (21). Astronotlar, uzun süreli uzay görevlerinde artan radyasyon maruziyetinin ve oksidatif stresin etkilerini ortadan kaldırmak için antioksidanlara gereksinim duymaktadır. Serbest radikaller hücrelere ve DNA'ya zarar vererek çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. C ve E vitaminleri gibi antioksidanlar, elektron vererek bu serbest radikalleri nötralize etmekte ve potansiyel zararlarını azaltmaktadır (18).

Uzayın neden olduğu oksidatif strese karşı önlemler kapsamında geliştirilen radyokoruyucu protokol ile temel mikro besin öğeleri alımının sağlanması ve standartlaştırılması hedeflenmektedir. Bu protokol, günlük multivitamin ve mineral formülasyonlarının yanı sıra antioksidan aktiviteye sahip besin bazı polifenoller, karotenoidler, flavonoidler, amino asitler ve kombinasyonlarını içermektedir (21).

**Metabolik Stres:** Uzay görevleri, astronotlarda metabolik stres oluşturmaktadır. Bu stres, vücut sistemlerini etkilemekte, metabolik hızı artırmakta ve bağışıklık sistemini baskılamaktadır. Metabolik stres tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalığın güçlü bir belirleyicisidir (23). Ayrıca, oksidatif stres ve inflamasyonun kas atrofisi ve kemik kaybı sürecinde rol oynadığı gösterilmiştir. Uzay uçuşu vücudun demir metabolizması üzerinde uzun vadeli bir etki olarak demir eksikliği anemisine de yol açabilmektedir (10).

**Fiziksel Aktivite Durumundaki Değişiklikler:** Astronotlar sıklıkla dinlenik durumda olduklarından hareket kabiliyetleri sınırlanmakta ve egzersiz düzeyleri azalmaktadır. Bu durum, astronotların genel popülasyondaki hareketsiz, aktif olmayan ve yatağa bağlı bireylere benzer hale gelmelerine neden olmaktadır (24). Fiziksel aktivitedeki bu değişiklik enerji dengesini de etkilemektedir.

### **Enerji Gereksinmesi**

Uzayda yaşanan baş dönmesi ve hareket hastalığı gibi fiziksel rahatsızlıklar, sindirim sistemi anatomisindeki veya işlevindeki değişiklikler ve iştahı etkileyen çevresel faktörler nedeniyle astronotların enerji alımında %25-30 azalma görülmektedir. Bu nedenle, astronotların enerji dengesini sağlayabilmek için besin alımlarını arttırmaları gereklidir (3). Uzun uzay uçuşlarında enerji dengesini korumak zor olabilmekte ve bu negatif enerji dengesi vücut ağırlığı kaybına neden olmaktadır (10). Astronotların

sabit vücut ağırlığını koruyamamalarının nedenleri daha fazla araştırmayı gerektirse de negatif enerji dengesinin düşük enerji alımı ve/veya yüksek enerji harcaması nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Astronotlar, uzayda vücut ağırlığını koruma güdüsüyle de gerekenden daha az enerji almaktadır (25). Uzay uçuşu sırasındaki anoreksiyaya ilişkin yapılan bir çalışma, mikro yer çekiminin tokluğa neden olan leptin (26) ve glukagon benzeri peptit-1 (GLP-1) (27) hormonlarında artışa yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, ilk günlerde mikro yer çekimine bağlı tıkanıklık veya yüksek karbondioksit konsantrasyonları gibi faktörlerin tat ve koku algısını değiştirerek besin alımını etkileyebileceği düşünülmektedir (10).

Mikro yer çekimi koşulları sağlıklı kalmak için gereken metabolik enerji miktarını değiştirmemektedir (10). Hipokalorik diyetlerin astronotların fizyolojisi üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmaya göre, enerji alımının kısıtlanması protein katabolizmasına neden olmakta ve inaktiviteye katabolik yanıtı arttırmaktadır (28). Bu kronik yetersiz beslenme durumu göz önüne alındığında, enerji ile makro ve mikro besin ögesi gereksinmelerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (3). Ayrıca, ISS’de yapılan bir çalışmada astronotların dinlenik vücut sıcaklığının 2.5 ay içinde yaklaşık 1°C arttığı belirlenmiştir (29). Bu durumun enerji gereksinmesi belirlenirken göz önünde bulundurulması gerektiği düşünülmektedir.

Sıcak su eklenmesi gibi basit yöntemlerle yemeklerin kolayca hazırlanabilmesi, astronotların besin tüketimini olumlu etkilemektedir (10,30). Enerji alımını arttırmaya yönelik öneriler arasında, yemek kültürü ve alışkanlıklar dikkate alınarak taze, lezzetli, enerji içeriği yüksek besinlerin menüye eklenmesi bulunmaktadır. Astronotların uzay uçuşu sırasında koku ve tat duyularını etkileyen çevresel ve fizyolojik faktörlerin daha fazla araştırılması gerekmektedir (21).

### **Makro Besin Ögesi Gereksinimleri**

Astronotlar, karbonhidratlar, proteinler ve yağlar dahil olmak üzere dengeli bir makro besin ögesi alımına ihtiyaç duymaktadır. Karbonhidratlar enerji kaynağı görevi görmekte, proteinler kas korunumu ve onarımını desteklemekte, yağlar düşük hacimde yüksek enerji sağlamaktadır. Enerjinin makro besin ögelerine oranları, görevin süresine ve bireysel ihtiyaçlara bağlı olarak değişebilmektedir (31).

Astronotlar genellikle yüksek karbonhidratlı bir diyet tercih etmektedir (32). Bununla birlikte uzayda enerji ihtiyacının yanı sıra mikro besin ögelerinin de yeterli miktarda sağlanması önemlidir. Karbonhidratların aşırı tüketilmesi, enerji yoğunluğu düşük fakat mikro besin ögeleri açısından zengin sebzeler ve içeceklere daha fazla ihtiyaç duyulmasına neden olur. Ancak bu tür düşük yoğunluklu besinlerin tedariği sınırlıdır (9).

Uzayda kasları korumak için daha fazla protein alımı önerilmektedir. Dalı zincirli amino asitlerin takviyesinin protein sentezini artırarak kas atrofisini önleyebileceğine dair bazı yatak istirahati çalışmaları bulunmaktadır (33,34). Yağ asitlerinden ise insülin direnci ve inflamasyon gibi metabolik değişikliklerin önlenmesi için doymuş yağ asitlerine göre doymamışların tercih edilmesi gerektiği bilinmektedir (33). Astronotlar için önerilen enerji ve makro besin ögesi değerleri Tablo 2'de görülmektedir (35).

### **Mikro Besin Ögesi Gereksinimleri**

Vitamin, mineral ve eser elementlerin yeterli alımı vücudun düzgün çalışması için gereklidir (31). Astronotların diyetleri, mikro besin ögelerinden yeterli miktarda almalarını sağlayacak şekilde özenle formüle edilmiştir. Kemik sağlığını desteklemek için kalsiyum ve D vitaminine özel önem verilmektedir (31,36). Ancak uzay uçuşlarında D ve K vitaminlerinin eksik alındığı gözlemlenmiştir (37). Mikro yer çekimi, kemiklerdeki mekanik yükün azalmasıyla kalsiyum emiliminin azalmasına ve atımının artmasına

neden olmaktadır. Ayrıca, vücuttaki sıvı dağılımı ve elektrolit dengesindeki değişiklikler magnezyum seviyelerini etkileyebilmektedir. Artan demir emilimi ve demir dağılımındaki değişiklikler vücutta potansiyel olarak daha yüksek demir seviyelerine neden olabilmekte ve demir depolanmasını ve kullanımını etkileyebilmektedir. Mikro yer çekimi çinko metabolizmasını etkileyerek vücuttaki çinko seviyelerinin değişmesine neden olmaktadır. Çinko emiliminde, atılımında ve dağılımında farklılaşmalar görülmektedir. Kemik kaybı ile çinko mobilizasyonu ve idrarla atımı artabilmektedir. Bu değişiklikler, çinkonun hücresel işlevlerdeki kullanılabilirliğini etkileyebilmektedir ve bu etkiler özellikle mikro yer çekimi gibi faktörlerle birleştiğinde daha belirgin hale gelmektedir (4).

Uzay besinlerinin çoğu, işleme ve uzun süreli koruma ihtiyacı nedeniyle yüksek oranda tuz içermektedir. Katılımcıların uzay uçuşunda aldığı sodyumu sınırlama çabalarına rağmen, ISS'deki besinler hala yüksek miktarda tuz içermektedir. Yüksek sodyumlu işlenmiş besinler yerine lezzet ve organoleptik özelliklerin korunması için uygun koşullarda saklanması gereken taze besinlerin tüketilmesi önerilmektedir (21).

Uzay radyasyonuna uzun süreli maruz kalma, serbest radikal üretimini artırarak DNA hasarına, merkezi sinir sisteminde bilişsel ve kardiyovasküler işlev bozukluklarına yol açabilmektedir (38). Araç dışı aktiviteler sırasında yüksek enerjili radyasyona, mikro yer çekimine, hipoksiye, hiperoksiye ve çoklu toksik faktörlere aşırı maruz kalma oksidatif stres ve hasar yaratmaktadır. Uzun süreli uzay görevlerinde regolit, ay ve Mars tozunun solunması da mümkündür (39). Antioksidandan zengin besinler, uzay radyasyonunun etkilerini hafifletmek için bir alternatiftir. Kükürt içeren antioksidanların serbest oksijen radikallerinin düzeylerini azalttığını gösteren kanıtlar bulunmaktadır (21). Astronotların mikro besin ögesi gereksinimlerinde esas alınan değerler Tablo 2'de görülmektedir (35).

**Tablo 2.** Astronotların enerji, makro ve bazı mikro besin ögesi gereksinimleri (35)

	<b>ISS Gereksinimleri (1996)</b>	<b>Keşif Gereksinimleri (2005)</b>	<b>Keşif Gereksinimleri (2020)</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Enerji</b>	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Denklemleri	Diyet Referans Değerleri (DRI) Denklemleri	DRI Denklemleri	ISS'nin ilk uçuş görevlerinde enerji gereksinimleri genellikle WHO ve DRI gibi standart denklemler kullanılarak ve fiziksel aktivite düzeyi "orta derecede aktif" veya "aktif" olarak planlanarak hesaplanmıştır. Yakın zamanda yapılan uçuşlarda, astronotların enerji gereksinimlerini belirlemek için indirekt kalorimetre gibi yöntemler kullanılmaktadır.
<b>Protein</b>	a. Günlük toplam enerji alımının %12-15'i b. Hayvansal/Bitkisel Oranı <60:40	a. 0.8 g/kg b. Günlük toplam enerji alımının <%35'i c. Hayvansal/Bitkisel Oranı=(2/3):(1/3)	a.1.2-1.8 g/kg b. Hayvansal/Bitkisel Oranı <60:40	ISS görevlerinde protein genellikle önerileri aşmaktadır. Protein alımı, fiziksel inaktivite (yatak istirahati veya uzay uçuşu) sırasında vücut ağırlığı başına 1.6-1.8 g/kg seviyelerine ulaşırsa bu durum kemik rezorpsiyonunu artırabilir. Protein alımı uzun süreli görevlerde aşılabılırken daha kısa uçuşlarda yetersiz besin alımı nedeniyle önerilen miktarın altında kalabilmektedir.
<b>Karbonhidrat</b>	Toplam günlük enerji alımının %50-55'i Saf şekerlerden gelen enerji <%10	Toplam günlük enerji alımının %50-55'i	Toplam günlük enerji alımının %45-65'i Saf şekerlerden gelen enerji <%10	Uzay uçuşu sırasında karbonhidrat gereksinimlerinin, Dünya'daki gereksinimlere benzer olduğu düşünülmektedir. Ancak mikro yer çekiminin karbonhidrat metabolizması üzerindeki etkilerini değerlendiren bulgular çelişkilidir.
<b>Yağ</b>	Toplam günlük enerji alımının %30-35'i	Toplam günlük enerji alımının %25-35'i	Toplam günlük enerji alımının %20-35'i	ISS standart menüsü ve mürettebatın seçtiği diyetler, genellikle önerilenden daha yüksek kolesterol ve doymuş yağ içermektedir. Bu durum uçuş sırasında yüksek lipit seviyeleriyle ilişkilendirilmiştir. Uzun uçuşundan önce ve sonra yapılan tıbbi muayeneler uzun süreli uçuşlar sırasında ağırlık kaybeden mürettebat üyelerinde düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) konsantrasyonlarının arttığı göstermiştir. Tüketilen yağ türü önemli olmakla birlikte daha sağlıklı olan doymamış yağlar kararsızdır ve uzay uçuşu besin sistemlerinin raf ömrü gereksinimleriyle uyumlu değildir. Omega-3 yağ asidi alımının artırılmasının kemikleri koruyabileceği düşünülmektedir. Astronotlarda balık tüketimi ile kemik sağlığı arasında olumlu ilişki bulunmuştur (40).
Omega-6 Yağ Asidi	Mevcut değil	14 g	Kadın:12 g Erkek:17 g	
Omega-3 Yağ Asidi	Mevcut değil	1.1-1.6 g	Kadın:1.1 g Erkek:1.6 g	
Doymuş Yağ	Çoklu:Tekli Doymamış= 1:1.5-2:1	Minimum	Total enerjinin <%10, minimum	
Trans Yağ Asitleri	Mevcut değil	Minimum	Total enerjinin <%1, minimum	
Kolesterol	Mevcut değil	Minimum	<300 mg	

DRI: Diyet Referans Değerleri; ISS: Uluslararası Uzay İstasyonu; LDL: Düşük Yoğunluklu Lipoprotein; WHO: Dünya Sağlık Örgütü.



Tablo 2. Devamı

	ISS Gereksinimleri (1996)	Keşif Gereksinimleri (2005)	Keşif Gereksinimleri (2020)	Açıklama
<b>Lif</b>	Mevcut değil	10-14 g/1000 kkal	Kadın:25 g Erkek:38 g	Lif; gastrointestinal sağlık ve mikrobiyota açısından önemlidir. ISS standart menüsü günlük önerilen lif alımını karşılamamakta ve mürettebat üyeleri lif içeren yiyecekleri önerilen miktarlarda tercih etmemektedir.
<b>Sıvı</b>	1-1.5 mL/kkal >2000 mL	1-1.5 mL/kkal >2000 mL	32 mL/kg Kadın:>2100 mL Erkek:>2500 mL	Mikro yer çekimine maruz kalmanın ilk birkaç gününden 8-12 gün sonrasına kadar, ekstraselüler sıvı hacmi uçuş öncesi seviyelere göre yaklaşık %15 azalır. Plazma hacmi ise uzun süreli uçuşlar boyunca %10-15 düşük kalmaktadır. İlk birkaç gün boyunca, idrar hacmi uçuş öncesine kıyasla önemli ölçüde azalır ve uçuş boyunca bu hacim düşük kalır. İdrar üretiminin azalması, böbrek taşları oluşma riskini artırır ve bu nedenle yeterli sıvı alımının sağlanması büyük önem taşır.
<b>B<sub>6</sub> vitamini</b>	2.0 mg	1.7 mg	1.3 mg	Uzun süreli uzay uçuşları sırasında ve sonrasında B <sub>6</sub> vitamini durumuna dikkat edilmesi gerekmektedir. B <sub>6</sub> vitamini eksikliği, serotonin ve katekolamin sentezinde bir azalmaya neden olur ve bu durum depresyon ile ilişkilendirilmiştir. Aşırı B <sub>6</sub> vitamini alımı ise nöropatiye yol açabilmektedir.
<b>Demir</b>	<10 mg	810 mg	Erkek/Kadın:8 mg/gün Kadın+menstrüasyon <50 yaş:18 mg	Uzay uçuşu sırasında kırmızı kan hücrelerinin azalması, demirin depolama proteinlerine geçmesine ve demir depolarının artmasına neden olur. Bu fizyolojik değişikliklere ek olarak, ISS menüsündeki birçok besin demirle zenginleştirilmiş olduğundan astronotlar genellikle yüksek miktarda demir alırlar. Bu da demir birikimine ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilere yol açabilir.
<b>Kalsiyum</b>	1200-2000 mg	1200-2000 mg	1200-2000 mg	Kalsiyum metabolizması, kemik sağlığı ve genel sağlık açısından kritik bir öneme sahiptir. Kemik demineralizasyonu ve kalsiyum kaybı, böbrek taşı görülme riskini arttırmaktadır. Uzay uçuşu sırasında ve sonrasında böbrek taşı oluşabilmektedir.
<b>Sodyum</b>	1500-3500 mg	1500-2300 mg	1500-2300 mg	ISS yiyecek sistemi başlangıçta günde 7-10 g kadar fazla sodyum içeriğine sahipken, sodyum içeriğini azaltmak amacıyla yeniden formüle edilmiştir ve sodyum içeriğinde yaklaşık %40'luk bir azalma sağlanmıştır.
<b>Potasyum</b>	3500 mg	4.7 g	Kadın:2600 mg Erkek:3400 mg	Potasyum sitrat ve potasyum magnezyum sitrat takviyeleri, ISS'de böbrek taşı olaylarını başarılı bir şekilde azaltmıştır. Klinik olarak gerekli görüldüğünde ISS'de kullanılabilir ancak yüksek doz kullanımında bruşit taşları gelişme riski olduğundan ve potasyum takviyesinin yan etkileri ile ilgili bazı endişeler bulunduğu rutin olarak kullanılmamaktadır.

DRI: Diyet Referans Değerleri; ISS: Uluslararası Uzay İstasyonu; LDL: Düşük Yoğunluklu Lipoprotein; WHO: Dünya Sağlık Örgütü.

## MEVCUT UZAY BESLENMESİNDE GÖRÜLEN SINIRLILIKLAR

### Uzay Besin Tedariki ve Sınırlı Taşıma/Depolama Alanı

Uzay besin sistemleri tasarlanırken, besinlerin toplam ağırlığı, sistemin kapladığı alan, yolculuk süresi boyunca ortaya çıkan atık miktarı ve bu atıkların bertaraf edilme kapasitesi gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Beslenme ve kaynak kullanımı ters ilişkili olsa da her ikisi de görevin başarısı için kritiktir (9). Günümüzde çeşitli besinler mevcut olmasına rağmen birkaç yıl süren uzun vadeli görevler için çeşitlilik hala yeterli değildir (10). Astronotlar, yiyecek ve içeceklerin yaklaşık %20'sini seçebilirken, geri kalan %80'i genellikle standart ortak besinlerden oluşmaktadır (6). Taze sebze ve meyveler sınırlı depolama süresi ve yüksek maliyet nedeniyle görevlerin ilk aşamalarında kısa bir süre tüketilebilmektedir. Altı kişilik bir mürettebat ile üç yıl sürmesi planlanan Mars görevinin, su ihtiyacından bağımsız olarak kişi başına günlük toplam 12 megajul enerji harcayacağı öngörülmektedir. Ayrıca uzay aracında 22 ton su içeren besin taşınması gerektiği tahmin edilmektedir (10). Buna karşın sınırlı besin seçenekleri "menü yorgunluğu" oluşturabilmektedir (9).

Yüksek tedarik maliyeti nedeniyle, uzun vadeli görevler ve diğer gezegenlerdeki insan yerleşimlerini desteklemek için Dünya'dan malzeme taşınmasına güvenmek gerçekçi değildir. Yenileyici ve kendi kendine yetebilen su, besin ve enerji üretim sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir (10).

Besin, uzay gemisinde fizyolojik ve davranışsal değişikliklere karşı tek önlemdir. Görev boyunca kaynak kullanımını en aza indirirken ve besinin lezzetini korurken, uzay ortamının olumsuz etkilerini hafifletmek için besin sisteminin optimizasyonu üzerine çalışmalar güncelliğini korumaktadır. Dünya'da birçok besin sistemi bulunmasına rağmen

bunların uzay uçuşu taleplerini karşılama yeteneği henüz belirlenmemiştir ve sınırlılıkları belirsizliğini sürdürmektedir (6).

### UZAY YEMEKLERİNİN TASARLANMASI, SAKLANMASI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), insanlı uzay uçuşunun beş ana tehlikesini belirlemiştir. Bunlar, ilaç üretimi, beslenme açısından optimize edilmiş gıda, atmosferik yenilenme, atık geri dönüşümü ve zihinsel sağlıktır (41). Uzun vadeli uzay görevleri için uzay besini üretim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik iki araştırma kolu bulunmaktadır. Birincisi, ISS'de uzay ortamı gibi yerçekimsiz ortamlardaki küçük ölçekli aseptik gıda üretim sistemlerine odaklanmaktadır. Diğeri ise Ay ve Mars yüzeyinde büyük ölçekli kapalı döngü ekosistemlerin oluşumu araştırmaktadır (10).

Uzun süreli ve derin uzay araştırmaları, gelişmiş paketleme malzemelerinin ve çeşitli paketleme biçimlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu ambalajlar, uzay gıdalarının nem, gaz ve aroma geçirgenliğini engelleyerek besinin raf ömrünü uzatmaktadır. Günümüzde, araştırmacılar ilave metal folyo katmanı gerektirmeden gelişmiş nem ve gaz bariyeri özellikleri sağlayabilen alternatifler üzerinde çalışmaktadır (42).

Besinler, nem içeriğini azaltmak için dondurulup kurutulduktan sonra yeniden nemlendirilebilen ambalajlarda saklanmaktadır. Hazırlama sırasında yemeğin yeniden sulu hale getirilmesi için iğne ve septum kullanılmaktadır. Isıyla stabilize edilmiş ambalajlar, ısı işlem görmüş besinlerin saklanması için özel olarak tasarlanmıştır. Kurutulmuş içecek tozu ve lokmalık besinler ise çok katmanlı poşetlerde muhafaza edilmektedir. Raf ömrü uzatılmış uzay yiyecek ve içecekleri uzay istasyonunun çevresine zarar vermemektedir ancak ambalaj atıklarının üretimi ve uzay araçlarında depolanması kaynak israfına sebep olmaktadır (42).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Beslenme, astronotların uzayda yaşam faaliyetlerini sürdürmelerini sağlamanın yanı sıra olumsuz ortam koşullarına karşı da koruyucu etki göstermektedir. Planlanan Ay ve Mars görevleri ve insanlı ticari uzay uçuşlarının başlaması nedeniyle uzayda beslenme geliştirilmesi gereken bir konudur. Kısa vadeli uzay görevleri için planlanan beslenme protokollerinin gelecekteki uzun vadeli uzay görevlerine de uyarlanması gerekmektedir.

Astronotların vücut ağırlığının görev sırasında değişmemesi için enerji alımı uygun şekilde planlanmalıdır. Kas kaybının önlenmesi için özellikle protein alımına dikkat edilmelidir. Ayrıca uzay ortamının sebep olduğu risk faktörleri sebebiyle kalsiyum, D vitamini ve antioksidanlar gibi mikro besin öğelerinin yeterli alımı sağlanmalıdır.

Uzay beslenmesi gereksinimleri sağlamanın yanı sıra astronotların kişisel isteklerini de karşılamalıdır. Astronotlar menü yorgunluğu sebebiyle anorektik davranış eğilimi gösterebilmektedir. Bu durum astronotların fiziksel ve mental gereksinimlerinin karşılanmamasının yanı sıra görev başarısızlığına yol açabilmektedir. Astronotların olumsuz uzay ortamında yeterli ve dengeli beslenmesi uzay görevleri sonrasında dönemde sağlıklarının korunması açısından da önemlidir.

Uzay beslenmesini taze besinlerden sağlamak amacıyla zorlu uzay ortamındaki kaynaklardan yararlanmak için çeşitli yeni teknikler ve teknolojiler araştırılmaya devam edilmektedir. Uzay ortamına gönderilecek olan besinlerin uzay mekiğinde depolanması, ortam koşullarına uygun paketlenmesi, saklama koşulları, atık bertaraf işlemleri ve sürdürülebilirlik açısından multidisipliner çalışmalar devam etmektedir ve uzun dönem planlanan uzay görevleri için ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru beslenme stratejileri astronotların hem görev başarısı hem de sonraki yıllarda sağlıklarını sürdürebilmeleri açısından kritik öneme sahiptir.

**Yazarlık katkısı • Author contributions:** Çalışmanın tasarımı: MİE, HS; İlgili literatürün taranması: HS; Makale taslağının oluşturulması: MİE, HS; İçerik için eleştirel gözden geçirme: MİE; Yayınlanacak versiyonun son onayı: MİE, HS. • **Study design:** MİE, HS; **Literature review:** HS; **Draft preparation:** MİE, HS; **Critical review for content:** MİE; **Final approval of the version to be published:** MİE, HS.

**Çıkar çatışması • Conflict of interest:** Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler. • **The authors declare that they have no conflict of interest.**

## KAYNAKLAR

1. Institute of Medicine (US). Improving food safety through a one health approach: Workshop summary. Washington (DC): National Academies Press (US); 2012.
2. Watkins P, Hughes J, Gamage TV, Knoerzer K, Ferlazzo ML, Banati RB. Long term food stability for extended space missions: a review. *Life Sci Space Res (Amst)*. 2022;32:79-95.
3. Bergouignan A, Stein TP, Hahold C, Coxam V, O'gorman D, Balnc S. Towards human exploration of space: The THESEUS review series on nutrition and metabolism research priorities. *NPJ Microgravity*. 2016;2(1):1-8.
4. Dakkumadugula A, Pankaj L, Alqahtana AS, Ullah R, Ercisli S, Murugan R. Space nutrition and the biochemical changes caused in astronauts health due to space flight: A review. *Food Chem X*. 2023;20:100875.
5. Polis GA, Holt RD, Menge BA, Winemiller KO. Time, space, and life history: Influences on food webs. In: Polis GA, Winemiller KO, editors. *Food Webs*. Boston: Springer; 1996. p. 435-460.
6. Douglas GL, Zwart SR, Smith SM. Space food for thought: Challenges and considerations for food and nutrition on exploration missions. *The Journal of Nutrition*. 2020;150(9):2242-4.
7. Uri J. Space Station 20th: Food on ISS. Aug 14, 2020. Available at: <https://www.nasa.gov/history/space-station-20th-food-on-iss/> Accessed September 26, 2024.
8. Klicka MV, Smith MC. Food for U.S. Manned Space Flight. Massachusetts: 1982. Technical Report No.: NATICK/TR-82/019.
9. Cooper M, Douglas G, Perchonok M. Developing the NASA food system for long-duration missions. *Journal of Food Science*. 2011;76(2):R40-8.
10. Tang H, Rising HH, Majji M, Brown RD. Long-term space nutrition: A scoping review. *Nutrients*. 2022;14(1):194.

11. Drewnovkski A. Concept of a nutritious food: toward a nutrient density score. *Am J Clin Nutr.* 2005;82(4):721-32.
12. Jiang J, Zhang M, Bhandari B, Cao P. Current processing and packing technology for space foods: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2020;60(21):3573-88.
13. Varghese KS, Pandey MC, Radhakrishna K, Bawa AS. Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology.* 2014;51(10):2304-17.
14. Voorhies AA, Ott CM, Mehta S, Pierson DL, Crucian BE, Feiveson A, et al. Study of the impact of long-duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome. *Scientific Reports.* 2019;9(1):9911.
15. Moreira RG, Castell-Perez ME. Fundamentals of Food Irradiation. In: Knoerzer K, Muthukumarappan K, editors. *Innovative Food Processing Technologies.* Oxford: Elsevier; 2020. p. 1-18.
16. Bourland CT. Advances in food systems for space flight. *Life Support Biosph Sci.* 1998;5(1):71-7.
17. NASA Johnson Space Center. Whatever Will I Eat? [Internet]. Available at: <https://spacecenter.org/docs/Activities-WhateverWillIEat.pdf>. Accessed September 26, 2024.
18. Mao XW, Nishiyama NC, Pecaut MJ, Campbell-Beacher M, Gifford P, Haynes KE, et al. simulated microgravity and low-dose/low-dose-rate radiation induces oxidative damage in the mouse brain. *Radiat Res.* 2016;185(6):647-57.
19. Lane HW, Schoeller DA. Nutrition in spaceflight and weightlessness models. 1st ed. CRC Press; 1999.
20. Lane HW. Metabolic energy requirements for space flight. 1992. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19920018969/downloads/19920018969.pdf> Accessed December 06, 2024.
21. Montesinos CA, Khalid R, Cristea O, Greenberger JS, Epperly MW, Lemon JA, et al. Space radiation protection countermeasures in microgravity and planetary exploration. *Life (Basel).* 2021;11(8):829.
22. Chaloulakou S, Poulia KA, Karayiannis D. Physiological alterations in relation to space flight: The role of nutrition. *Nutrients.* 2022;14(22):4896.
23. Delp M, Charvat JM, Limoni CL, Globus RK, Ghosh P. Apollo lunar astronauts show higher cardiovascular disease mortality: Possible deep space radiation effects on the vascular endothelium. *Scientific Reports.* 2016;6(1):29901.
24. Hargens AR, Vico L. Long-duration bed rest as an analog to microgravity. *J Appl Physiol (1985).* 2016;120(8):891-903.
25. Stein TP, Leskiw MJ, Schluter MD, Hoyt RW, Lane HW, Greteback RE. Energy expenditure and balance during spaceflight on the space shuttle. *Am J Physiol.* 1999;276(6 Pt 2):R1739-48.
26. Blanc S, Normand S, Pachiaudi C, Duvareille M, Gharib C. Leptin responses to physical inactivity induced by simulated weightlessness. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2000;279(3):R891-8.
27. Bergouignan A, Momken I, Schoeller DA, Normand S, Zahariev A, Lescure B, et al. Regulation of energy balance during long-term physical inactivity induced by bed rest with and without exercise training. *J Clin Endocrinol Metab.* 2010;95(3):1045-53.
28. Biolo G, Ciochi B, Stulle M, Bosutti A, Barazzoni R, Zanetti M. Calorie restriction accelerates the catabolism of lean body mass during 2 wk of bed rest. *Am J Clin Nutr.* 2007;86(2):366-72.
29. Stahn AC, Werner A, Opatz O, Maggioni MA, Steinach M, Weller V, et al. Increased core body temperature in astronauts during long-duration space missions. *Sci Rep.* 2017;7:16180.
30. Douglas, GL, Wheeler RM, Fritsche RF. Sustaining astronauts: resource limitations, technology needs, and parallels between spaceflight food systems and those on Earth. *Sustainability.* 2021;13(16):9424.
31. Pittia P, Heer M. In: Hessel V, Stoudemire J, Miyamoto H, Fisk ID, editors. *Space Manufacturing and Resources: Earth and Planetary Exploration Applications.* Wiley; 2022. p. 251-268.
32. Da Silva MS, Zimmerman PM, Meguid MM, Nandi J, Ohinata K, Xu Y, et al. Anorexia in space and possible etiologies: an overview. *Nutrition.* 2002;18(10):805-13.
33. Biolo G, Ciochi B, Lebenstedt M, Barazzoni R, Zanetti M, Platen P, et al. Short-term bed rest impairs amino acid-induced protein anabolism in humans. *J Physiol.* 2004;558(2):381-8.
34. Stein TP, Donaldson M, Leskiw M, Schluter M, Bagget D, Boden G. Branched-chain amino acid supplementation during bed rest: effect on recovery. *J Appl Physiol (1985).* 2003;94(4):1345-52.
35. Smith SM, Zwart SR, Douglas GL, Heer M. Human Adaptation to Spaceflight: The Role of Food and Nutrition. 2nd edition. NASA; 2021.
36. Taylor AJ, Beauchamp JD, Briand L, Heer M, Hummel T, Margot C, et al. Factors affecting flavor perception in space: Does the spacecraft environment influence food intake by astronauts? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2020;19(6):3439-75.
37. Smith SM, Zwart SR, Block G, Rice BL, Davis-Street JE. The nutritional status of astronauts is altered after long-term space flight aboard the International Space Station1. *The Journal of Nutrition.* 2005;135(3):437-43.

38. Davis CM, Allen AR, Bowles DE. Consequences of space radiation on the brain and cardiovascular system. *J Environ Sci Health C Toxicol Carcinog.* 2021;39(2):180-218.
39. Goodwin TJ, Christofidou-Solomidou M. Editorial to the special issue: "Dysregulation of human molecular and metabolic mechanisms resulting in oxidative stress and damage generation in the space environment". *Int J Mol Sci.* 2022;23(12):6466.
40. Zwart SR, Pierson D, Mehta S, Gonda S, Smith SM. Capacity of omega-3 fatty acids or eicosapentaenoic acid to counteract weightlessness-induced bone loss by inhibiting NF-kappaB activation: from cells to bed rest to astronauts. *J Bone Miner Res.* 2010;25(5):1049-57.
41. Mortimer JC, Gilliam M. SpaceHort: Redesigning plants to support space exploration and on-earth sustainability. *Current Opinion in Biotechnology.* 2022;73:246-52.
42. Kumar L, Gaikwad KK. Advanced food packaging systems for space exploration missions. *Life Sci Space Res (Amst).* 2023;37:7-14.