

# Uzayda Deney



Astronotlar uzay mekiği için uzay merkezinde Zeolit deneylerini hazırlıyor. Burada, tozsuz ortamda deney hazırlıkları yapılıyor.

Büyütme deneyinin de yer aldığı Columbia Uzay Mekiği'nin STS-73 (Space Transportation System-73) numaralı USML-2 uçuşunda yer almıştır. Astronot Prof. Albert Sacco Jr. Columbia'nın USML-2 uçuş ekibinde yer alarak, uzayda 16 gün süre ile bilimsel deneyler gerçekleştirmiştir.

**D**ÜNYA'daki yerçekimi ivmesi "1 g" olarak tanımlanır. Uzay mekiği, Dünya etrafındaki yörüngesinde dönerken içinde bulunduğu  $10^{-3} - 10^{-4}$  g civarındaki çekim ortamını "mikroçekim" olarak adlandırılıyor. Uzay mekiği Dünya yörüngesindeki turunu 90 dakikada tamamlıyor ve bu sırada hızı da yaklaşık 9 km/s (32 400 km/h).

Dünya üzerinde de yerçekimsiz ortamın sağlanabildiği yönünde yaygın bir kanı var; oysa Dünya'da böyle bir "yerçekimsiz oda" bulunmuyor. Ancak kaza eseri halatı kopan bir asansörde mikroçekim ortamı olabilir (Ayrıca aşağı düşmekte olan bir asansör, deney yapmak için hiç de uygun değildir!). Mikroçekimli ortamdaki ilk deneyler, asansör örneğinden esinlenerek, 150 m yüksekliğindeki kulelerden serbest düşmekte olan kaplarla yapılmıştır. Tabii deney süresi kap düşene kadar geçen birkaç saniyeden oluşuyordu.

Bir diğer mikroçekimli ortam, NASA'nın KC-135 adı verilen Boeing 737 uçağının parabol biçiminde bir yol izleyerek uçuşu ile elde ediliyor. Uçağın iç gövdesi çepeçevre yumuşak malzeme ile kaplı. Yaklaşık 10 700 metre yüksekliğe çıkan uçak, birden burun üstü Dünya'ya doğru pike yapıyor. Hız kazandıktan sonra girdiği parabolik yörüngede 22-24 saniye boyunca mikroçekimsiz ortam oluşuyor; tabii ki uçak yere çarpmadan önce, yön değiştirip tekrar 10 700 metreye tırmanana kadar. Bu 22 saniyelik mikroçekimsiz ortamda bazı deneyler, gözlemler yapılabilir. KC-135 uçağı, ikinci parabolüne başladığında, yeni bir 22 saniyelik mikroçekimsiz ortam süreci başlıyor. Bu süre son derece kısa olduğundan, ana deneyler ancak daha uzun süre mikroçekimli ortam yaratılabilen uzay mekiğinin içinde yapılmakta.

Ayrıca bu yıl gösterime giren Apollo-13 adlı filmdeki yerçekimsiz sahnelerin NASA'nın KC-135 uçağı içinde görüntülendiğini söylemekte yarar var.

Uzay mekiği Dünya'nın çevresinde yörüngede dolaşırken, içinde bulunduğu mikroçekimli ortam özel bir laboratuvar işlevi görerek bilim adamlarını konuk ediyor. Bu çerçevede başlatılan uzay laboratuvarı "Spacelab" uygulamaları, 21. yüzyılın teknolojilerini yaratma amacına hizmet ediyor. Söz konusu çalışmalar benim, Worcester Polytechnic Institute (WPI) Kimya Mühendisliği Bölüm Başkanı Astronot Prof. Albert Sacco Jr. ile birlikte yürüttüğüm Zeolit Kristal

## "Spacelab" Uygulamaları

Uzay mekiğinde yapılan bilimsel deneylerin büyük bir bölümü, "Spacelab" (Uzay Laboratuvarı) olarak adlandırılan modül içinde gerçekleştiriliyor. Spacelab modülü yaklaşık 4,2 m çapında ve 7 m boyunda silindirik bir yapı. Uzay mekiğinin kuyruk kısmına yakın yük bölümüne (cargo bay) yerleştiriliyor. Deney cihazları Spacelab modülünün iki yan duvarına monte ediliyor. Uçuş ekibinde genelde 7 astronot bulunuyor. Bunlardan 3'ü mekiğin pilotaj işlemlerinden sorumlu, ancak ara sıra deneylere de yardımcı olabiliyorlar. Diğer 4 astronot-bilim adamının ana görevleri ise modüle yüklenen deneyleri yürütmek. Spacelab, uzay mekiğinin "mid-deck" (orta kabin) olarak adlandırılan bölümüne bir tünel ile bağlı. "Mid-deck" genelde astronotların, vardiyalar halinde uyuyup, yemek yedikleri, daha doğrusu, yaşadıkları bölüm. Burada bir iki deney de yer alabiliyor. Astronotlar bu



Prof. Albert Sacco ve Prof. Dr. Nurcan Baç Spacelab eğitim modülünde (sağda); Prof. Albert Sacco, zeolit kristal büyütme deneyinin de yer aldığı USML-2'de (üstte).

tünel aracılığıyla "Mid-deck" ve "Spacelab" arasında gidip gelebiliyorlar. "Mid-deck" in üst bölümünde ise, pilotların bulunduğu "flight-deck" (uçuş kumanda kabini) bulunuyor.

Spacelab modülü, genelde Columbia Uzay Mekiği ile taşıyor. Bunun nedeni, bazı ek donanımlar bulunan Columbia'nın, NASA'nın diğer dört mekiği içinde uzayda en uzun süre (15-17 gün) kalabilen araç olması. Diğer üç uzay aracı, Discovery, Atlantis ve Endeavour, genelde 8-10 günlük uçuşlar gerçekleştiriyorlar.

20 Ekim - 5 Kasım 1996 tarihleri arasında Columbia'nın USML-2 (Birleşik Devletler İkinci Mikroçekim Laboratuvarı) olarak adlandırılan STS-73 numaralı uçuşunda 7 astronot görev aldı. Astronotlar, Kırmızı ve Mavi vardiya olarak adlandırılan 12'şer saatlik 2 vardiyada yaklaşık 16 gün boyunca bilimsel deneyler yaptılar. Kırmızı vardiyada Kent Rominger, Kathryn Thornton ve Albert Sacco Jr.; mavi vardiyada ise Michael Lopez-Alegria, Catherine Coleman ve Fred Leslie görevliydi. Uçuşun komutası ise Kenneth D. Bowersox'ta idi.

## USML-2 Deneyleri

İkinci Mikroçekim Laboratuvarı'nda yer alan deneylerin önemli bir bölümü akışkanlar fiziği, yeni malzemeler, biyoteknoloji ve yanma alanlarındaydı. Akışkanların ve kristallerin uzayın yerçekimsiz ortamında, yani yeryüzünde alıştığımız fiziksel kural-

ların bazılarının geçersiz olduğu koşullardan nasıl etkilendiği araştırılıyordu. Örneğin, sıvılar mikroçekimli ortamda herhangi bir kaba gerek kalmaksızın kendi yüzey gerilimleri ile bir "küre" halinde havada asılı kalır ya da küçük bir etki ile uçarlar. Hidrostatik basıncın, doğal konveksiyon akımlarının bulunmadığı ve çökme nin gerçekleşmediği mikroçekim ortamında, sıvılar içinde oluşturulan kristaller, sıvı içerisinde asılı kalır ve büyümeye devam ederler. Bu şekilde, yeryüzünde üretilebilen kristallere oranla daha iri ve kusursuz yapıda ürünler elde edilebilir. İri ve kusursuz kristaller ise, yeni tanımlama deneyleri ile yeni teknolojilere kapı açıyor.

USML-2 uçuşunda yer alan deneylerden bazıları ve bu deneylerin amaçları kısaca şöyle özetlenebilir.

Damlacık Fiziği Modülü (Drop Physics Module; DPM): Bu deney, mikroçekim ortamında sıvı damlacıklarının dinamiğinin incelenmesini amaçlıyordu. Yüzey gerilimleri ve yoğunlukları değişik çeşitli sıvıların oluşturdukları damlacıkların dinamiği akustik etki altında incelendi. Bu deneylerle elde edilen bulgular, "containerless processing" adı verilen "kapsız işleme" yöntemleriyle damlacıkların birleştirilerek yeni reaksiyon türleri ve yöntemlerinin araştırılmasına olanak sağlamıştır. Bu araştırmaların uygulama alanları arasında, canlı hücrelerin polimerlerde tutuklanması, mikroçekimli ortamda polimer membran oluşturulması yer alıyor. Modüldeki

deneye katkıda bulunan araştırmacılar NASA'dan A. Croonquist ve E. Trinh (STS-50, USML-1 uçuşunda görevli astronot-bilim adamı; 1992) ile Vanderbilt Üniversitesi'nden T. Wang idi.

Ticari Kristal Büyütme Deneyi (Commercial Protein Crystal Growth): Mikroçekimli ortamda üretilen iri ve kusursuz yapıdaki protein kristalleri, bu tür ürünlerin daha iyi tanımlanmalarını sağlar. Uzayda üretilen protein kristallerinden elde edilen bilgi birikimiyle yeni ilaç formülasyonları yapılabilir. Bu çalışmaların bir ürünü olarak geliştirilen yeni bir antiviral ilacın ABD'nde piyasa sürülebilmesi için gerekli izin işlemleri sürmektedir. Protein Kristal Büyütme Deneyinin geliştirilmesine katkıda bulunan araştırmacılar arasında NASA Marshall Uzay Uçuş Merkezi'nden D. Carter ve Alabama Üniversitesi'nden Larry DeLucas (STS-50, USML-1 uçuşunda görevli astronot-bilim adamı; 1992) bulunmaktadır.

Kristal Büyütme Fırını (Crystal Growth Furnace; CGF): Yüksek sıcaklıkta (600-1500°C) çalışabilen bu çok amaçlı fırında yarı-iletken malzemelerin mikroçekimli ortamda kristallenmesi amaçlanmıştır. CGF'de kristallendirilen malzemeler arasında, galyum arsenid (GaAs) yer almaktadır. Kusursuz GaAs kristallerinin entegre devrelerin hızını 10 kat artırması bekleniyor. Bu deney, Case Western Reserve Üniversite'sinden D. Matthiesen tarafından geliştirilmiştir. Fırın-

da ayrıca Rennselear Polytechnic Institute'dan H. Wiedemayer tarafından geliştirilen cıva-kadmiyum-tellurid (HgCdTe) yarı-iletkeninin buhar fazından kristallendirilmesi deneyi gerçekleştirilmiştir.

Fıtıl Üzerinde Yakıt Damlacıklarının Yanması (Fiber Supported Droplet Combustion; FSDC): Dünya'da yerçekimi nedeniyle, damlacıklar üzerinde yanma çalışmaları güçlüğüle yapılabilmektedir. Yerçekimi nedeniyle yoğunlukları fazla olan damlalar çökerken, yanma ürünleri konveksiyon nedeniyle yükselerek homojen olmayan bir yanma düzeni oluşur. Mikroçekim ortamında metanol damlacıklarının yanma özellikleri incelenerek bu olayın uzayda nasıl gerçekleştiği incelenmiştir. Bu deney California Üniversitesi'nden F.A. William tarafından hazırlanmıştır.

Zeolit Kristal Büyütme Deneyi (Zeolite Crystal Growth; ZCG): Kimyasal üretim sektöründe katalizör, ayırma ve saflaştırma işlemlerinde filtre malzemesi olarak kullanılan zeolit kristalleri, mikroçekimli ortamda elde edilmiştir. Astronot Prof. Albert Sacco ile birlikte yürüttüğümüz bu deneyle ilgili bazı bilgiler TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi'nin Haziran 1996 sayısında yer almıştı. Önemli ticari uygulamaları olan zeolitlerin dünyadaki pazarı yaklaşık 2 milyar dolara ulaşır.

## Zeolitlerin Uçuş Hikâyesi

Mekikte yapılacak deneylerde verilecek zeolit türleri ve bunların Worcester Polytechnic Enstitüsü (WPI)'ndeki laboratuvarımızda optimum koşullarda sentezleneceği bileşime ilişkin çalışmalar uçuştan yaklaşık 1 yıl önce başladı. Aynı anda, mekiğe yüklenecek olan bilgisayar kontrollü özel Zeolit Kristal Büyütme (ZCG) fırınının bakım ve işlev testleri yapılıyordu. Uçuşta kullanılacak fırının bir eşi de WPI'daki laboratuvarında bulunuyordu. Bu eş fırın, uçuş öncesi deneylerde olduğu kadar, uçuş sırasında mekiğe yüklenen çözeltilerin diğer yarısıyla aynı anda zeolit sentezinin gerçekleşti-

rilmesi için kullanıldı. Böylece uzayda ve yeryüzünde mikroçekim dışında aynı koşullarda elde edilen kristallerin karşılaştırılması yapılabildi. 19 adet ısıtıcı tüpten oluşan özel fırında, zeolit çözeltilerini taşıyan 38 adet "otoklav" bulunuyordu. Otoklavlar, içleri teflon kaplı titanyum veya alüminyum kaplardan oluşuyor ve bu kaplar, iki ana zeolit çözeltisi olan sili-ka ve alümina çözeltilerini uzayda karıştırabilecek biçimde tasarlanıp üretilmişlerdir. ZCG fırını çift merkezli işlemci birimi bulunan kontrol bölümü ile 19 ısıtıcının ayrı ayrı sıcaklık kontrolünü yapmakta ve 40 ayrı noktadaki sıcaklığı ölçerek verileri kaydedebiliyor. Tasarlanan tüm cihazlar "çift hata"ya rağmen, emniyetli çalışabilecek biçimde üretilmiştir.

USML-2 uçuşunun ilk planlanan fırlatılış tarihi 28 Eylül 1995'ti. 1995'in yaz aylarında çeşitli ön denemeler ve simülasyonlar için Florida'daki Kennedy Uzay Merkezi'ne gitmiştim. Simülasyonların bir bölümü Alabama'daki Marshall Uzay Merkezi'nde yapılmıştı. 12 Eylül 1995'ten itibaren, mekiğe yüklenecek fırının son testlerini denetlemek için Kennedy Uzay Merkezi'nde bize ayrılan iki laboratuvara yerleştim. 19 Eylül'de zeolit çözeltilerini hazırlamak ve otoklavlara yerleştirmek için laboratuvar ekibimiz KSC'ye gelmeye başladı. Bu ekipte, doktora sonrası araştırmacı Juliusz Warzywoda, Worcester'daki laboratuvarımızı büyük bir kamyonete yükleyerek, 3 günde Massachusetts'ten Florida'ya getirmişti. Laboratuvar çalışmaları uçuş tarihinden 1,5 gün öncesine kadar sürdü ve otoklavlar uçuştan 30 saat önce meki-

ğe yüklendi. ZCG otoklavları mekiğe en son yüklenen deneyler arasındaydı. 28 Eylül'de, uçuşa 6 saat kala mekiğeki hidrojen yakıt vanalarından birinde kaçak olduğu belirlenerek uçuş bir hafta ertelendi. Bu, laboratuvar ekibinin otoklavları mekiğten çıkarıp, çözeltileri ve teflon kılıfları yeniden hazırlaması anlamına geliyordu. 48 saatten daha uzun uçuş ertelemelerinde, taze çözeltilerle uçmak için çözeltileri ve teflon kılıfları yenileyeceğimiz önceden belirtilmişti. USML-2 uçuşu, bir ölçüde uçuş ertelemeleri ile anımsanacak; çünkü uçuş, 4'ü teknik arıza 2'si kötü hava koşulları nedeniyle tam 6 kez ertelendi. Laboratuvar ekibimiz ise, aynı işlemleri 4 kez yinelemek durumunda kaldı. Columbia'nın 20 Ekim 1995'te fırlatılışını seyretmek, tüm ekip için büyük bir zevk kaynağı oldu; onun yola koyulduğunu görmek, ertelemelerden kaynaklanan sıkıntılarımızı unutturmuştu. Fırlatılışın hemen ardından, laboratuvar ekibi, aynı deneyi WPI'da başlatmak üzere Massachusetts'e döndü. Ben ise, kontrol konsolunda bizim deney için ayrılan yeri aldım ve 16 günlük uçuş boyunca Albert Sacco'nun vardiyasına paralel olarak 12'şer saatlik kesitler halinde ses ve görüntü bağlantısı ile deneyi yürüttük; aynı anda uyuyup yemek yedik. Tüm deneyler, iniş saatinden 20 saat önce sonlandırıldı. 5 Kasım 1995 sabahı Florida'ya inen mekiği karşıladım ve iniştikten 3 saat sonra Albert Sacco ile görüşüp, birbirimizi kutladık. Çünkü ertelemeler sırasındaki konuşmalarımızda ara ara "7 milyon pound ağırlığındaki patlayıcı üzerinde oturacağım, umarım bir aksilik olmaz" diyordu.

Daha sonra otoklavları mekiğten teslim alıp, ilk uçakla WPI'daki laboratuvarımıza doğru yola çıktım.

USML-2 uçuşunda elde edilen ilk sonuçların olumlu olması nedeniyle 1999-2000 yılında montajı bitecek olan ALPHA-1 Uluslararası Uzay İstasyonunda (International Space Station- ISS) yer alacak ilk deney adayları arasında "Zeolit Kristal Büyütme" deneyi de bulunmaktadır.

Nurcan Bağ  
Prof. Dr. Worcester Polytechnic Institute  
ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü

