

DIKEY KALKIŞ DIKEY İNİŞ UZAY ARACI GELİŞTİRME ÜZERİNE YAPILAN GÜNCEL ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

Yiğithan Köse¹, Buğra Kerim Şahin²,
Yiğithan Mehmet Köse³ ve Murat Çelik⁴
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Boğaziçi Üniversitesi Uzay Teknolojileri Laboratuvarı (BUSTLab) bünyesinde Ay gibi göksel cisimlerin yüzeylerine yumuşak iniş yapabilme kabiliyetine sahip dikey kalkış ve dikey iniş yapabilecek roket motorlu platformlar geliştirilmektedir. BUSTLab bünyesinde yapılmakta olan bu çalışmalara ışık tutması adına dünyada yapılan benzer çalışmalar detaylı şekilde incelenmektedir. Bu bildiri kapsamında dünyada roket motoru ile dikey kalkış ve dikey iniş konularında Amerika Birleşik Devletleri'nde bir startup olarak çalışmalar yapan Masten Uzay Sistemleri, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) bünyesinde yürütülen Morpheus Projesi, Altair İniş Aracı Projesi ve Mighty Eagle Projesi, ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin roket çalışmaları yapan ilk özel şirketi olan LinkSpace Havacılık'ın çalışmaları incelenmiştir. BUSTLab bünyesinde roket motorlu platformun alt sistemlerinin tasarımı, analizi, üretimi ve test çalışmalarına devam edilmektedir. Bu bildiri çerçevesinde yapılmış olan çalışmalar BUSTLab bünyesindeki ve diğer laboratuvarlardaki benzer dikey kalkış - dikey iniş platformlarının geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

GİRİŞ

Dünyada dikey kalkış - dikey iniş uzay araçlarının geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapan birçok kurum ve şirket bulunmaktadır. Bu çalışmada, bu geliştirme çalışmalarından Masten Uzay Sistemleri'nin çalışmaları, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) bünyesinde yürütülen Morpheus Projesi, Altair İniş Aracı Projesi ve Mighty Eagle Projesi, ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin roket çalışmaları yapan ilk özel şirketi olan LinkSpace Havacılık'ın çalışmaları hakkında araştırmalar ve değerlendirmeler bulunmaktadır.

¹ Yiğithan Köse, Lisans Öğrencisi, E-posta: yigithan.kose@boun.edu.tr

² Buğra Kerim Şahin, Lisans Öğrencisi, E-posta: bugra.kerim.sahin@boun.edu.tr

³ Yiğithan Mehmet Köse, Lisans Öğrencisi, E-posta: yigithan.kose1@boun.edu.tr

⁴ Doç. Dr. Murat Çelik, Makine Müh. Böl., E-posta: murat.celik@boun.edu.tr

MASTEN SPACE SYSTEMS

Masten Space Systems, 2004 yılında kurulmuş bir uzay-havacılık girişim şirkettir. Çalışmalarına Santa Clara, California'da başlayan şirket daha sonra Mojave, California'ya taşınarak çalışmalarına devam etmiştir. Şirketin kuruluş amacı Dikey Kalkış - Dikey İniş uzay araçları geliştirmek olarak belirtilebilir. Başlangıçta mürettebatsız araştırma yörünge altı uzay uçuşları üzerine çalışmalar yürüten şirket ilerleme kaydettikçe robotik yörünge uzay uçuşu fırlatmalarını destekleyecek teknolojiler üzerinde de çalışmalar yapmıştır.

Masten, Dikey Kalkış - Dikey İniş teknolojisini, bu konsepti tanınır hale getiren SpaceX ve Blue Origin gibi büyük şirketlerden çok daha önce geliştirmeyi başarmıştır. Bu alandaki öncü çalışmaları 2009'da Masten'a, metnin ilerleyen kısmında daha detaylı bahsedilecek olan NASA Centennial Northrop Grumman Lunar Lander X-Prize Challenge'ı kazandırdı. Bu tarihten günümüze kadar olan süreçte çalışmalarını çeşitlendirerek geliştiren Masten, Dikey Kalkış - Dikey İniş alanında son 10 yılda geliştirdiği çeşitli araçlarla California'da 600'den fazla test uçuşu gerçekleştirmiştir. 2020'de bilimsel araştırma yüklerini Ay'ın Güney Kutbu'na indirmesi için NASA tarafından Ticari Ay Yük Hizmetleri sözleşmesiyle görevlendirilerek ödüllendirildi. Bu inişin 2023'ün sonlarında gerçekleşmesi planlanmaktadır [Foust, 2021, Messier, 2017, NASA, 2009].

Tarihsel Gelişim

Masten'ın ilk yıllarında ortaya koyduğu ürünleri inceleyecek olursak, özellikle 2009'da iki farklı ödül kazandıran Xombie ve Xoie uzay araçları ile 2011'de geliştirilen Xaero uzay araçlarının ön plana çıktığını söyleyebiliriz.

Xombie: Masten, geliştirdiği Xombie uzay aracıyla 7 Ekim 2009 tarihinde Lunar Lander Yarışması İkinciliği'ni kazanarak 150.000 \$ değerindeki ödülün sahibi olmuştur [NASA, 2009]. Yarışmada ödülü 16 santimetre (6.3 inch) ortalama iniş doğruluğu ile yakalayan Masten'ın kuruluşundan sonra dikkatleri üzerine çekmeyi bu yarışma ile başardığını söyleyebiliriz. Başlangıçta 4 kN itki sağlayan 4 motorla geliştirilen Xombie, yapılan geliştirmelerle 2009 baharında 3 kN'luk tek bir motora sahip bir formata getirilmiştir. Xombie uzay aracını geliştirirken Masten'ın temel amacının kendi geliştirdikleri Masten'de Güdüm, Navigasyon ve Kontrol Sistemi yardımıyla stabil ve kontrol altında bir uçuş gerçekleştirmek olduğunu söyleyebiliriz [Goff, 2009, Mealling, 2009].



Şekil 1: Masten Xombie [Atkinson, 2012]

Xoie: Xoie, 2009 Lunar Lander Challenge Seviye İki yarışmasında getirdiği 1.000.000 \$'lık ödülle Masten için adeta bir dönüm noktası olmuştur. İki ayrı iniş olarak gerçekleştirilen yarışmada

Masten, en büyük rakipleri Armadillo Aerospace'i toplamda 610 mm'ye (24 inç) yakın bir iniş doğruluğu ile geçmeyi başararak ödüle ulaşmışlardır. Xoie'nin bu yarışmadaki ortalama iniş doğruluğu ise 190 mm (7.5 inç) civarındadır [Paur, 2009].

Alüminyum bir çerçeveye sahip olan Xoie, Xombie'de kullanılan 3 kN'luk itme motorunun geliştirilmiş bir versiyonuna sahiptir [Xprize, 2009].



Şekil 2: Masten Xoie [Mudspike, 2016]

Xaero: Xaero Masten tarafından 2010-2011 yıllarında geliştirilen, yeniden kullanılabilir Dikey Kalkış - Dikey İniş uzay aracıdır. Geliştirilmesinden sonra Masten tarafından NASA'ya, NASA'nın Uçuş Fırsatları Programı (başlangıçta Ticari Yeniden Kullanılabilir Suborbital Araştırma / CRuSR programı ismiyle bilinen) kapsamında araştırma yüklerini taşımak için potansiyel bir yörünge altı yeniden kullanılabilir fırlatma aracı olarak önerilmiştir. İlk uçuşlarda 10 kilogram (22 lb) araştırma yükü taşıırken toplamda 5-6 dakikalık sürede 30 kilometre (19 mil) irtifa öngörülmüştür. Xaero, izopropil alkol ve sıvı oksijen yakan 5.1 kN itki sağlayabilen Cyclops-AL-3 roket motorunu kullanmaktadır [Paur, 2012, Norris, 2012].

Xodiac: 2016'da tanıtılan Xodiac, basınçla beslenen LOX / IPA itici gaz ve rejeneratif olarak soğutulmuş bir motora sahiptir. Xodiac, Ay'a veya Mars'a iniş simülasyonu yapılması için tasarlanmıştır [SpaceRef, 2016, Callaghan, 2016, Masten Space Systems, 2016].

Yeni Misyon

2009 yılından itibaren ardarda başarılı prototipler ortaya koyan Masten, ilerleyen yıllarda Dikey Kalkış - Dikey İniş alanındaki başarısını şirketin yeni edindiği misyon doğrultusunda geliştirmeye yönelmiştir. Masten'in yeni nesil çalışmalarının temel amacı Ay, Mars ve ötesindeki uzay ekosistemlerinin keşfedilmesini hızlandırmak olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ekosistemler, yeni ticari uygulamalara ve bilimsel keşiflere kapı açan uzay altyapısını ve gelişimini içermektedir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında Masten'in çözüm getirmek istediği problemi ise Masten'in araştırma ve geliştirmeden sorumlu başkan yardımcısı Matthew Kuhns'un "Dünya'dan farklı olarak, Ay GPS ile donatılmadığından, Ay'daki uzay araçları ve yörüngesel varlıklar esasen karanlıkta çalışıyor" şeklindeki açıklamasından anlayabiliriz. Bu soruna çözüm olarak ise Kuhns, "Ay'da ortak bir navigasyon ağı kurarak, uzay aracı maliyetlerini milyonlarca dolar azaltabilir, yük kapasitesini artırabilir ve aydaki en zengin kaynaklara sahip konumların yakınlarına iniş doğruluğunu iyileştirebiliriz" ifadelerini kullanmıştır [Masten Space Systems, 2022].

Bu hedefleri doğrultusunda Masten, uzay araçlarını başta NASA olmak üzere çeşitli kuruluşların Ay ve Mars'a göndermek istedikleri bilimsel araştırma ve teknoloji yüklerini uzaya taşıyabilecek şekilde geliştirmeye başlamıştır. Yazımızın başında da belirttiğimiz gibi bu çalışmaları NASA'nın 2023'te

Ay'ın güney kutbuna göndereceği ekipmanları için Masten'ı seçmesiyle ödüllendirilmiştir. Masten'ın bu hedefleri doğrultusunda yaptığı geliştirmeler arasında Xeus ve Ay'a iniş görevinde kullanacağı XL-1 uzay araçları, ve ayrıca Ay ve Mars yüzeyine daha sağlıklı iniş gerçekleştirebilmek için geliştirdikleri FAST İniş Pedleri sistemi ön plana çıkmaktadır.

Xeus: Xeus, Masten'ın ağır kargo yüklerini taşıyabilmek için yüksek itki sağlayacak şekilde geliştirdiği, daha önceki uzay araçlarının aksine taşınan yüklerin iniş kolaylığı için yüzeye yakın olması amacıyla yatay iniş yapacak şekilde tasarladığı uzay aracıdır. Xeus, Dört Katana dikey iticinin eklendiği RL-10 ana motorlu bir Centaur üst kademesinden (United Launch Alliance'dan) oluşmaktadır. Xeus'un, harcanabilir versiyonu kullanırken 14 tona kadar (10 tona revize edilmiş) taşıma yüküyle, yeniden kullanılabilir versiyonu kullanırken ise 5 ton taşıma yüküyle Ay'a iniş yapabileceği tahmin ediliyor [Scotkin, Masten, Powers, O'Konek, Kutter, Stopnitzky, 2013]



Şekil 3: Masten Xeus [Masten Space Systems, 2022]

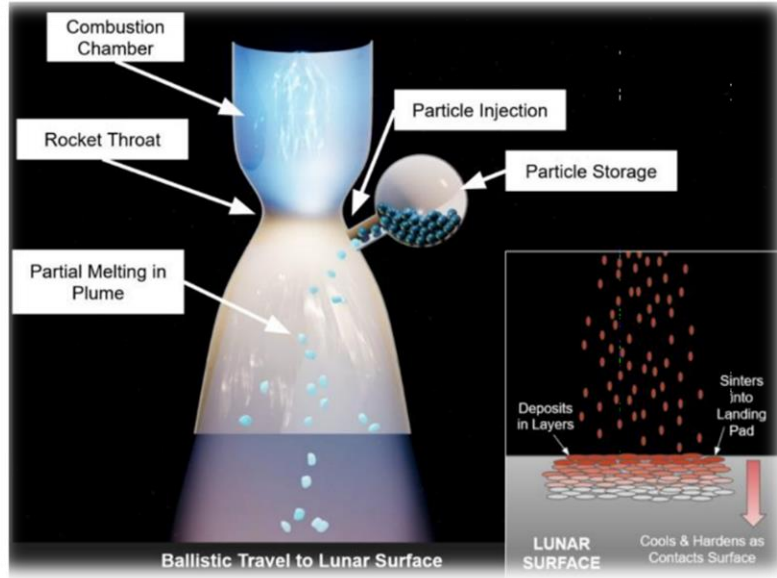
Bir Xeus iniş aracında kullanılan Katanaların her birinin, yatay bir iniş gerçekleştirirken 16 kN itki üretebilme kapasitesi vardır. Aralık 2012'de Masten, tamamen alüminyum 2.800 pound-kuvvet (12 kN) rejeneratif soğutmalı motorunu, KA6A'yı tanıtmıştır. Aralık 2015'te, United Launch Alliance, taşınabilir yükte önemli bir ölçüde artış sağlayabilmek için Xeus'un ana gövdesini bir Centaur Üst Aşamasından şu anda geliştirmekte oldukları Gelişmiş Kriyojenik Evolved Aşamasına (ACES) yükseltmeyi planlıyordu ancak Masten'ın Xeus projesi 2018 yılında askıya alındı [Scotkin, Masten, Powers, O'Konek, Kutter, Stopnitzky, 2013, Lindsey, 2012].

FAST İniş Pedleri: FAST İniş Pedleri Masten'ın Ay ve Mars gibi yüzeylere iniş esnasında genel olarak toz formunda olan zararlı yüzey materyallerinden kaynaklanabilecek hasarları azaltarak sağlıklı ve yüksek doğrulukta iniş gerçekleştirebilmek için geliştirdiği bir teknolojidir.

Ay tozu, göktaşı çarpmalarıyla oluşan ve etkili bir şekilde cam ve mineral parçaları oluşturan küçük ezilmiş kaya tanelerinden oluşur. Ay vb. yüzeylere iniş esnasında daima bir sorun olarak karşımıza çıkan bu durumun (Bu ay tozunun, Apollo astronotlarının uzay giysilerine de zarar verdiği bilinmektedir.) gelecek görevler için zorluk seviyesinin daha da artacağı tahmin edilmektedir. Bunun sebebi ise günümüzün insan görevleri için önerilen ay iniş araçlarının önemli ölçüde daha büyük, daha ağır ve daha güçlü motorlara sahip olmasıdır.

Basitçe FAST İniş Pedleri bahsettiğimiz toz hasarını azaltmak için her görevden önce bir iniş pisti inşa edilmesini sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanabilir. FAST sisteminde, iniş yapan bir uzay aracı ay yüzeyine inerken ay regoliti üzerinde bir kaplama oluşturmak için roket bulutuna enjekte edilen seramik parçacıklardan yararlanır. Parçacıklar yüzeye çarpar ve sert bir iniş pisti oluşturmak için katılır.

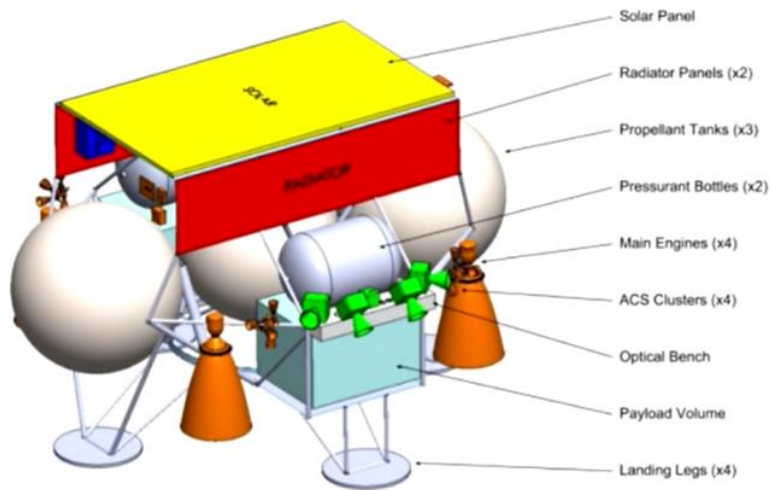
Bu sayede derin krater oluşumu önemli ölçüde azaltılmış olur ve zararlı ay tozunun çevredeki ortamı etkilemesi önlenmiş olur. Uzay aracı, iniş yapmak için ayrı bir öncü ped inşa görevine ihtiyaç duymadan Ay'ın herhangi bir yerine güvenli bir şekilde inebilir [Masten Space Systems].



Şekil 4: FAST İniş Pedleri Çalışma Prensibi [Masten Space Systems, 2022]

XL-1: XL-1, Masten'in Lunar CATALYST programının bir parçası olarak geliştirmekte olduğu küçük bir kargo aya iniş aracıdır. Yakıt olarak Masten'in geliştirdiği MXP-351 ile güçlendirildiğinde XL-1, Ay'ın yüzeyine 100 kilogram (220 lb) yük indirecek şekilde tasarlanmıştır [NASA, 2014].

Masten Space, XL-1'in XL-1T'de prototipi yapılan 4 ana motora, 4'lü gruplar halinde konumlandırılan 16 adet Reaksiyon Kontrol Sistemi motoruna, 675 kilogram kuru, 2675 kilogram ıslak kütleye sahip olduğunu belirtmiştir. Hafif alüminyum gövdeye sahip olacak XL-1'in çalışması için gereken güç bataryalar ve üzerine konumlandırılan güneş panellerinden alacağı öngörülmektedir.



Şekil 5: Masten XL-1 3-D Tasarımı [Nasa, 2019]

Masten'in XL-1'de yakıt olarak kullanacağı MXP-351, Masten Space'in, Ay'a küçük iniş gemilerini beslemek için geliştirdiği, kendiliğinden tutuşan bir iki yakıtlı yakıt kombinasyonunun dahili adıdır. Geleneksel NTO/MMH bipropellant'ın aksine, MXP-351'deki iki itici kimyasalın kullanımı daha

MORPHEUS PROJESİ

Morpheus Projesi, NASA tarafından 2010-2014 yılları arasında yürüttüğü bir Dikey-Kalkış Dikey-İniş uzay aracı geliştirme projesidir. Morpheus uzay aracı, NASA tarafından yürütülen, ay yüzeyine iniş yapabilecek insanlı bir uzay aracının 1000 günde tasarlanması, geliştirilmesi ve başarılı bir iniş yapabilmesi amacıyla başlattığı bir diğer proje olan Project M için üretilen deneysel iniş aracından esinlenilerek ve Armadillo Aerospace şirketinin yardımlarıyla geliştirilmiştir. 1100 pound (500kg) kargo yükü ile beraber ay yüzeyine iniş yapabilecek şekilde prototip üretimine başlanan Morpheus'un, tamamen otonom iniş ve kalkış yapabilme kabiliyeti, yine otonom bir tehlike algılama sistemi ve yeni ve toksik olmayan Metan-Oksijen yakıtını tanıması hedeflenmiştir. Ayrıca Morpheus'un bu yakıtını sadece Dünya'da değil, Yerinde Kaynak Kullanımı yöntemiyle Ay ve Mars'ta da üretebilecek şekilde tasarlanması öngörülmüştür [Munday; Mitchell; Baine, 2012, Bergin, 2015].

Projenin başladığı 2010 yılından itibaren Aralık 2014'teki son test uçuşuna kadar projeye yaklaşık 14 Milyon Dolar harcanmıştır. Bu miktar, NASA'nın diğer programlarına kıyasla düşük maliyetli sayılabilecek bir miktar olarak göze çarpmaktadır. 4 yıllık süreç boyunca ortalama 40 kişinin çalıştığı proje 2014 yılında daha fazla fonlanmayacağına açıklanmasıyla beraber sonlanmıştır. Her ne kadar tamamlanmadan yarıda bırakılmış gibi görünse de proje sonlandırıldıktan sonra paylaşılan tüm geliştirme süreçleri ile ilgili çeşitli doküman, makale ve veriler gelecek yıllarda yapılacak yeni birçok proje için ciddi bir kaynak olmuştur [Bergin, 2015, NASA, 2011].



Şekil 6: Morpheus uzay aracı prototipi [Gerondidakis, 2012]

ALHAT (Autonomous Landing Hazard Avoidance Technology) Sistemi

ALHAT (Autonomous Landing Hazard Avoidance Technology) Sistemi NASA tarafından geliştirilen ve çeşitli ay yüzeylerine iniş esnasında operatör tarafından gerçekleştirilen belirli fonksiyonların otonom bir şekilde gerçekleştirilerek hasarlardan kaçınmayı ve yüksek doğrulukta iniş yapabilmeyi hedefleyen bir teknolojidir. 5 dereceden fazla eğimli yüzeyler veya 30 cm'den büyük kayalar gibi çeşitli tehlikelerden kaçabilme özelliğine sahip olan ALHAT Sistemi aktif sensörler, bir lazer altimetre, bir lidar Doppler hız ölçer ve bir flaş LIDAR içerir. Morpheus Projesi, NASA'nın ALHAT sisteminin Morpheus araçlarına entegre edilerek testler yapılabilmesine proje ile birlikte geliştirilmesine olanak sağladığı için ayrıca bir öneme sahiptir [Huertas,; Johnson,; Werner,; Montgomery, 2011, NASA, 2012].

Prototipler ve Teknik Özellikler

NASA Morpheus için Morpheus A, Morpheus B ve Morpheus C isimli üç ana prototip geliştirmiştir. Morpheus Projesi'nin ilk prototipi olan Morpheus#1 Unit A aracı ilk uçuşunu 2011 yılında gerçekleştirmiştir. 9 Ağustos 2012'de Kennedy Uzay Merkezi'ndeki (Kennedy Space Center)

serbest uçuş testi sırasında başarısız olarak düşen Morpheus A tekrar kullanılmayacak kadar çok hasar aldığı için Morpheus B ve C prototiplerinin yapımına başlanmıştır. 2013 yılının Şubat ayında Morpheus B ve Morpheus C prototiplerinin tamamlandığı duyurulmuştur [Venere, 2020].

Morpheus A: Morpheus A, Project Morpheus kapsamında Teksas'ta NASA'nın Johnson Uzay Merkezi ve Armadillo Aerospace Yerleşkesi'nde üretilen ilk prototip uzay aracıdır. Yakıt olarak Metan-Oksijen kullanan Alpha prototipi, basınçlandırma için Helyum kullanmaktadır. Morpheus HD4 isimli motoru kullanan araç bu motorla 4200 pound (19kN) itiş gücüne sahiptir. 48 inch (1200 mm) çapında 4 adet küresel yakıt tankı bulunan Morpheus A'nın bu tanklarının 2 tanesinde Metan, 2 tanesinde ise Sıvı Oksijen depolamaktadır. 4 deposunda toplam 2900 kg (6400 pound) yakıt depolayabilme kapasitesine sahiptir. Ana motoru ile birlikte yatay hareketlenmeyi kontrol edebilmek için sahip olduğu Reaksiyon Kontrol Sistemi'nde bulunan her bir motor 5-15 pound (22-67 N) aralığında itiş sağlayabilmektedir. Tıpkı ana motor gibi, Reaksiyon Kontrol Sistemi motorları da bu tanklardaki Metan-Oksijen yakıttan beslenmektedir. Araçta ayrıca yedek Reaksiyon Kontrol Sistemi de bulunmaktadır. Normal Reaksiyon Kontrol Sistemi motorlarının aksine yedek sistemdeki iticiler Helyum kullanmaktadır. Boyutları yaklaşık olarak 3.7m x 3.7m x 3.7m olarak belirtilen Alpha prototipi yaklaşık 1100 kg (2400 pound) kuru kütleye sahiptir [Munday; Mitchell; Baine, 2012, NASA, 2014].

2012 yılının yaz aylarında serbest uçuş testleri için Alpha prototipinin Morpheus Lander V1.5 Unit A isimli versiyonu Florida'daki Kennedy Uzay Merkezi'ne taşınmıştır. Burada yapılan testlerde dikkat çeken noktalardan birisi ALHAT Sistemi'nin test edilmesi için hazırlanan, uzaydaki zararlı madde içeren ay yüzeylerine benzetilmeye çalışılan, 100m x 100m boyutlarında bir "Tehlike Alanı" oluşturulmasıdır. Ay'ın Güney Kutbu'nu taklit eden 24 krater, 311 farklı kaya yapılanması ve 5 farklı potansiyel iniş alanı barındıran Tehlike Alanı'nda çeşitli testler yapılmıştır [NASA, 2014].

Ağustos ayında Kennedy Uzay Merkezi'ndeki serbest uçuş testlerinde düşerek çok ciddi hasar alan Alpha prototipinin onarılamayacağını anlaşılmaya üzerine B ve C prototiplerinin üretimine başlanmıştır. Ayrıca 2012 yılının ikinci yarısından itibaren Morpheus Projesi ve ALHAT ekipleri bir araya gelerek çalışmalarına devam etmişlerdir.

Morpheus B: Morpheus B (Bravo), Morpheus Projesi kapsamında Alpha prototipinin 2012 yılında geçirdiği kaza sonrası inşa edilen devam prototipidir. Bu araç, Morpheus Projesi kapsamında gerçekleştirilen ilk başarılı serbest uçuş testini gerçekleştiren araç olarak ön plana çıkmaktadır. Genel olarak Morpheus #1.5 A prototipi ile aynı tasarım kullanılan Bravo aracında çeşitli kısımlarda 70 farklı güncelleme uygulanmıştır [Moskowitz, 2012].



Şekil 7: Morpheus B prototipi ile gerçekleştirilen ilk başarılı uçuş [Project Morpheus, 2013]

Morpheus B uzay aracı, Morpheus HD4 ve sonradan üretilen Morpheus HD5 motorlarının 5400 pound (24000 N) ile daha fazla itiş sağlayabilen yeni versiyonlarını kullanmaktadır. Aynı anda 3 ila 4 insanı aya götürebilecek şekilde tasarlanan Bravo aracı ayrıca hızlı bir şekilde tekrar kullanılabilme özelliği ile aynı günde birden fazla kez uçuş gerçekleştirebilme imkânı da sunmaktadır. Morpheus B'nin dikkat çeken bir diğer yeniliği ise kalkış esnasında vibroakustik etkilerden kaynaklanan sorunları azaltmak için aracın yerden yüksekliğinin yaklaşık 4.6 m (15 feet) olacak şekilde güncellenmesidir [Cowing, 2013; Moskowitz, 2012].

Morpheus C: Morpheus C uzay aracı, Morpheus B aracı ile birlikte 2012 yazındaki test kazası sonrası üretilen diğer prototip versiyondur. Morpheus B aracı ile aynı güncellemelere sahip olan bu araç hiç uçuş gerçekleştiremeden proje sonlandırılmıştır [Moskowitz, 2012].

ALTAIR LUNAR LANDER

Altair uzay aracı, NASA'nın 2004-2010 yılları arasında yürüttüğü Constellation Program (Takımyıldız Programı) kapsamında geliştirerek üretmeyi planladığı, ay ve benzeri yüzeylere iniş için tasarlanan uzay aracıdır. 4 kişilik mürettebat ile birlikte uçuş yapacak şekilde tasarlanan Altair, Constellation Program kapsamında Ay'a kısa süreli insanlı uçuşların yapılacağı "Crewed Sortie Mode" görevleri, Ay'a çeşitli yerleşkeler kurularak kalıcı veya yarı kalıcı insanlı uçuşların yapılmasının planlandığı "Crewed Outpost Mode" görevleri ve 15 metrik tona kadar kargo yüklerinin insansız uçuşlarla ay yüzeyine taşınabileceği "Uncrewed Cargo Mode" görevleri gibi çeşitli amaçlarda kullanılması planlanmıştır [irconnect, 2007, NASA, 2009].

Constellation Program

Constellation Program (Takımyıldız Programı), NASA'nın 2004 yılında yaklaşık 230 Milyar \$ bütçe ayırmayı planlayarak başlattığı mürettebatlı uzay uçuşu gerçekleştirme programıdır. Programın temel amacı ilk aşamada Uluslararası Uzay İstasyonu'nun tamamlanması ve Ay'a 2020 yılından önce başarılı bir mürettebatlı uçuş gerçekleştirilmesi olarak belirtilmiş, en büyük hedef olarak ise Mars'a mürettebatlı bir uçuşun yapılması olarak işaret edilmiştir. Bununla beraber Constellation Program alçak Dünya yörüngesinde önemli seviyede astronotluk tecrübesi sağlama ve uzay ve ay seyahatleri için birçok yeni teknolojinin geliştirilmesi potansiyellerini taşıdığı için de oldukça önemli bir proje olarak dikkat çekmiştir [Connoly, 2006].



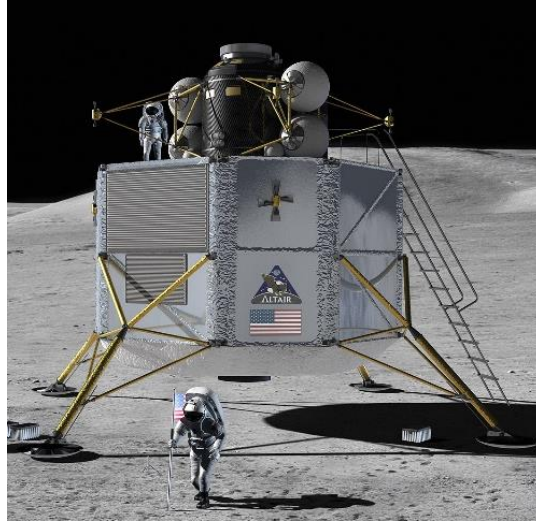
Şekil 8: Constellation Program uzay araçlarının bir arada illüstrasyonu [Pinterest, 2022]

Constellation Program kapsamında üretilmesi ve kullanılması planlanan araçlar genel olarak uzayda seyahat etmeyi mümkün kılacak çeşitli uzay araçları ve bu araçların Dünya yüzeyinden kalkışlarında görev alacak destek araçlarından oluşmaktadır. Bu plan doğrultusunda Dünya yörüngesine ayrı kalkışlarla yerleştirilip burada kenetlenerek Ay yörüngesine ulaşmak üzere hareket edecek Orion ve Altair uzay araçları ve bu araçların Dünya'dan fırlatılması aşamasında görev alması için ise Ares I ve Ares V destekleyici uzay araçları tasarlanmıştır. Ares V'e kıyasla daha küçük olan Ares I astronotların uzay görevinde konaklayacağı kısmı oluşturan Orion uzay aracını fırlatmak üzere planlanırken, daha büyük yükleri fırlatma kapasitesine sahip olan Ares V ise Ay ve Mars yüzeylerine ulaşım ve iniş aşamalarında kullanılacak olan Altair uzay aracının Dünya'dan kalkışı için tasarlanmıştır [Connoly, 2006].

1 Şubat 2010 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri Başkanı Barack Obama'nın, Constellation Program'ın ilerlemesinin çok daha büyük bütçeler gerektireceğinin fark edilmesiyle birlikte, 2011 yılı bütçelendirmesini de göz önüne alarak programın tekrar gözden geçirilmesini teklif etmesi üzerine Constellation Program, Orion uzay aracı ile ilgili yapılan çalışmalar haricinde sonlandırılmıştır [National Aeronautics and Space Administration, 2011].

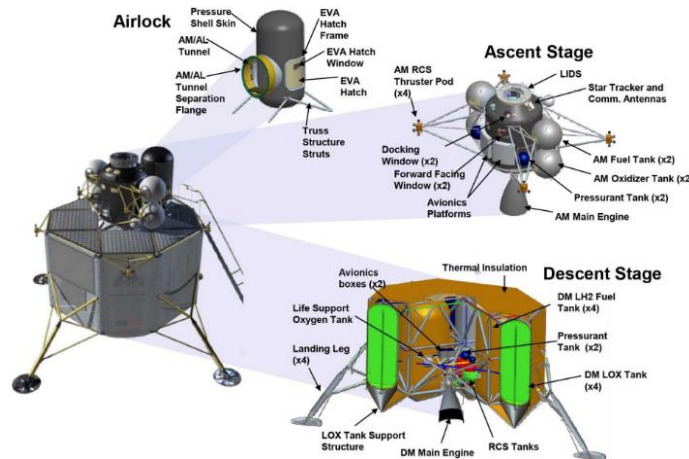
Altair Uzay Aracı Teknik Özellikleri

Constellation Program kapsamında ana ulaşım aracı olan tasarlanan Altair uzay aracının boyutları, aynı görevi kendisinden önce gerçekleştirmiş Apollo aracına kıyasla çok daha büyük olmasıyla dikkat çekmektedir. Yaklaşık 6.7 m³ hacim kaplayan sefeli Apollo'nun, 32 m³lük hacmi ile neredeyse 5 katı hacim kaplayan Altair 9.8 metrelik yüksekliğe, 8.8 metrelik tank genişliğine ve uzay aracının en geniş aralığı olan iniş takımlarının genişliği dikkate alındığında ise 14.9 metrelik bir genişliğe sahiptir. 45,864 kilogramlık kalkış kütlesine sahip olan Altair uzay aracı, mürettebatlı Crewed Sortie Mode görevlerinde 4 kişilik mürettebata ek olarak 500 kilograama kadar yük taşıyabilme kapasitesine sahipken, insansız yük taşımacılığının yapıldığı Uncrewed Cargo Mode uçuşlarında ise 15,000 kilogramlık yük taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır [Collect Space, 2008, NASA, 2009].



Şekil 9: Altair uzay aracının Ay yüzeyi üzerindeki illüstrasyonu [NASA, 2009]

Temel olarak Altair uzay aracının 3 farklı ana kısımdan oluştuğu söylenebilir. Bu bölümler Decent Module (İniş Modülü), Ascend Module (Yükseliş Modülü) ve Airlock olarak isimlendirilmektedir. Donanım ve yükleri Ay yüzeyine götürmekle sorumlu olan Decent Module, iniş motoru ile gövde ve iniş takımlarının etrafında, uzay aracının alt kısmında yer almaktadır. Crewed Sortie görevlerinde kullanılacak olan mürettebat kabini çevresinde inşa edilen Ascend Module ise Orion uzay aracı ve Airlock bölümüne ulaşımı sağlamak ve yükseliş sırasında görev almakla sorumludur. Airlock kısmı ise Crewed Sortie görevlerinde Altair uzay aracının Ascend Module kısmına giriş ve çıkışların gerçekleştirileceği bölümdür. Özellikle ay yüzeyinden alınacak örneklerin uzay aracına taşınması aşamasında Airlock bölümünün önemli bir rolü olduğunu söyleyebiliriz [FlightGlobal, 2006, FlightGlobal, 2007, NASA, 2008].



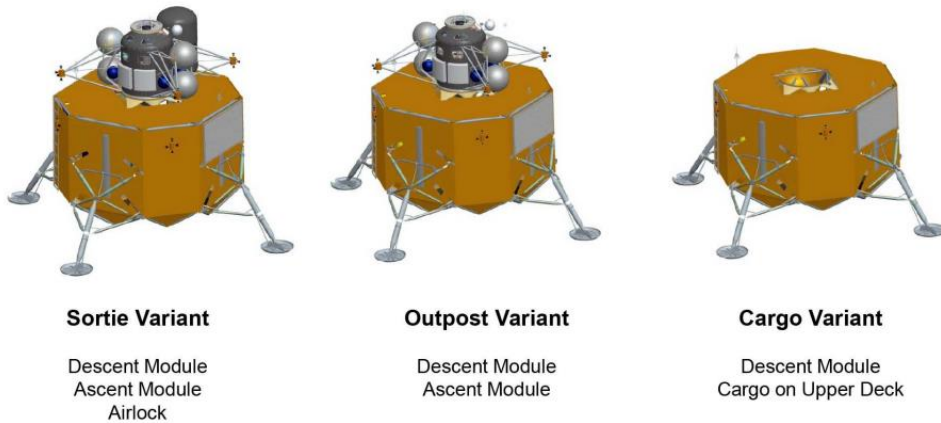
Şekil 10: Altair uzay aracı tasarım detayları [NASA, 2009]

Farklı bölümlerinde konumlandırılmış iniş ve çıkış kısımları için farklı motorlara sahip olan Altair uzay aracının iniş aşaması için NASA, Birleşik Devletler'de üretilen ilk sıvı hidrojen roket motoru olan, 83.0 kN (18,650 pound-force) itiş üretmesi öngörülen RL10 isimli motoru kullanmayı planlamıştır. Çıkış aşamasında ise 24.5 kN (5,500 pound-force) itiş sağlayacak ve yakıt olarak sıvı oksijen-metan karışımı kullanacak olan AJ10 isimli motorun kullanılması planlanmıştır. NASA, Altair için iniş aşamalarında kriyojenik, yükseliş aşamalarında ise hipergolik teknolojileri kullanmayı planlamıştır. Hem kriyojenik, hem de hipergolik sistemlerin basınçlandırılmasının yüksek basınçlı helyum hazı kullanılarak yapılması, böylelikle birçok uzay aracında kullanılan arıza yapma ihtimali yüksek pompa sisteminden kaçınılması planlanmıştır.

By the Numbers	Apollo Lunar Module	Altair Lunar Lander
Crew Size (max)	2	4
Surface Duration (max)	3 days	7 days (Sortie missions), Up to 210 days (Outpost missions)
Landing site capability	Near side, equatorial	Global
Stages	2	2
Overall height	7.04 m (23.1 ft.)	9.9 m (32.5 ft.)
Width at tanks	4.22 m (13.8 ft.)	8.8 m (28.9 ft.)
Width at footpads (diag.)	9.45 m (31 ft.)	14.9 m (48.9 ft.)
Crew module pressurized volume	6.65 m ³ (235 cu. ft.)	17.5 m ³ (618 cu. ft.) – crew module + airlock
Ascent Stage mass	4,805 kg (10,571 lbs.)	6141 kg (13,510 lbs.)
Ascent Stage engines	1 – UDMH-NTO	1 – MMH-NTO
Ascent engine thrust	15.6 Kn (3,500 lbf.)	24.5 Kn (5,500 lbf.)
Descent Stage mass	11,666 kg (25,665 lbs.)	37,045 kg (81,500 lbs.)
Descent Stage engines	1 – UDMH-NTO	1 – pump-fed, throttling, LOX/LH2
Descent engine thrust	44.1 Kn (9,900 lbf.)	83.0 Kn (18,650 lbf.)

Şekil 11: Apollo ile Altair araçlarının karşılaştırma tablosu [NASA, 2009]

Altair Versiyonları: NASA, Altair uzay aracı için Crewed Sortie, Crewed Outposts ve Uncrewed Cargo görevleri için üç farklı tasarım geliştirmiştir. Crewed Sortie yolculukları için Airlock, Descent Module ve Ascent Module kısımlarının tamamını içeren, Sortie Variant isimli bir prototip tasarlayan NASA, Crewed Outpost görevleri için Outpost Variant isimli bir prototip tasarladığı araçta ise Airlock bölümüne yer vermeyerek sadece Ascent ve Descent Module kısımlarını kullanmıştır. Bu iki varyant haricinde mürettebatsız uzay kargosu taşımacılığının yapılacağı Uncrewed Cargo uçuşlarında kullanılmak üzere, üst tarafına kargo yüklerinin yerleştirileceği bir şekilde sadece Descent Module kısmının olduğu, Cargo Variant isimli bir prototip daha tasarlanmıştır [NASA, 2008, FlightGlobal, 2006, FlightGlobal, 2007, NASA, 2008].



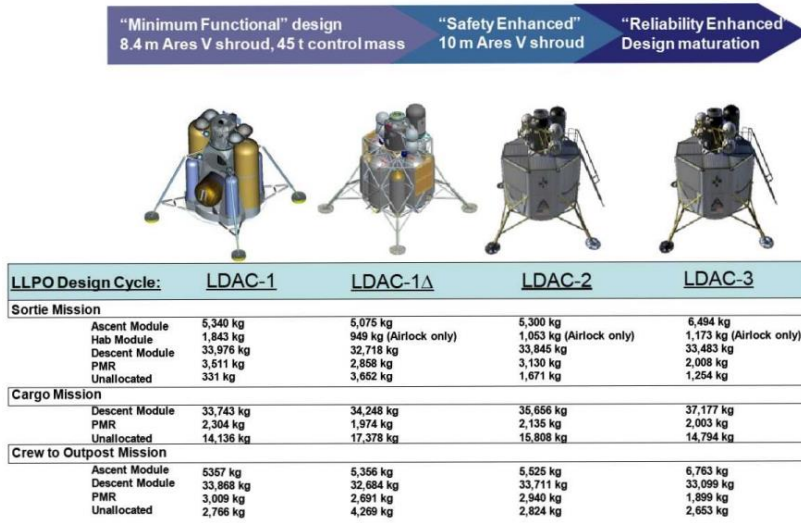
Şekil 12: Altair uzay aracı varyantları [NASA, 2009]

Risk Bilgili Tasarım (Risk Informed Design)

Altair uzay aracının tasarım ve geliştirme çalışmalarında dikkat çeken bir diğer nokta ise risk faktörünün aracın tasarlanma ve geliştirilme sürecine yüksek şekilde entegre edilmesi olmuştur. Büyük çaplı bir uzay uçuşu programında ilk kez astronotlar ve uçuş için geçerli olan risk faktörü, uzay aracının tasarımının tamamlanmasından sonra değerlendirilmek yerine, tasarımın her bir

aşamasında değerlendirilip geliştirme çalışmalarında ön plandaki faktörlerden birisi olmuştur. Bu şekilde uygulanan tasarım-geliştirme sistemine Altair ekibi Risk Bilgili Tasarım (Risk Informed Design) ismini vermiştir.

NASA'nın daha önceki insanlı uzay aracı projeleri de göz önüne alındığında ilk kez Altair uzay aracının geliştirilmesinde uyguladığı Risk Bilgili Tasarım süreci kapsamında ilk aşamada bir uzay aracı için en temel sayılabilecek sistem gereksinimleri ve fonksiyonların belirlenmesi yer almaktadır. Uzay aracının ilk tasarımı, sadece bu minimum gereksinimleri karşılayacak şekilde oluşturulur. Devam eden aşamalarda ise bu asgari tasarıma risk faktörü hesaba katılarak devamlı olarak yeni fonksiyonlar eklenir ve güncellemeler getirilir. Getirilen bu güncellemeler ile risk faktörü sürekli olarak tekrar değerlendirilir ve ideal uzay aracı tasarımı elde edilmeye çalışılır. Şekil x'te, Altair uzay aracının tasarım aşamalarında Risk Bilgili Tasarım sisteminin uygulanışı görülebilmektedir [NASA, 2008, FlightGlobal, 2006, FlightGlobal, 2007, NASA, 2008].



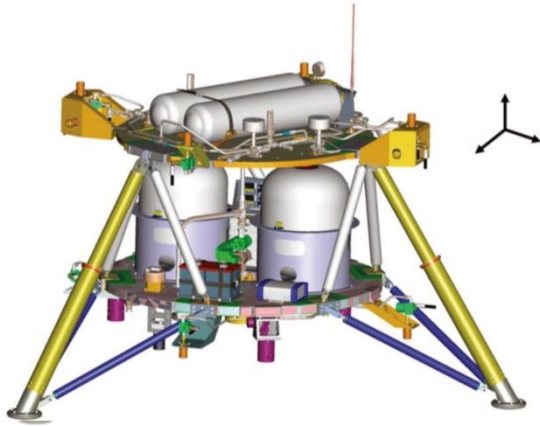
Şekil 13: Altair uzay aracının risk bilgili tasarım aşamalarına göre geliştirme aşamaları [NASA, 2009]

MIGHTY EAGLE PROJESİ

Mighty Eagle Projesi, NASA'nın 2009 yılının sonlarından itibaren Alabama'da bulunan Marshall Uzay Uçuş Merkezi'nde (Marshall Space Flight Center) yürüttüğü otonom Dikey-Kalkış-Dikey-İniş uzay aracı projesidir. Projenin temel amacı uzay araçları için donanım, yazılım ve sensörlerin test edilmesi olarak gösterilmektedir. 2011 yılının ocak ayında tasarım çalışmaları tamamlanan Mighty Eagle prototip aracı Marshall Uzay Uçuş Merkezi ile birlikte Bilim Uygulamaları Uluslararası Kurumu (Science Applications International Corporation) tarafından geliştirilmiştir.

Prototip

3 ayaklı bir tasarıma sahip olan Mighty Eagle prototipindeki her bir alüminyum ayak 2.13 metre uzunluğundadır. Bu ayaklarda ayrıca darbe emici sönümlenme sistemi bulunmaktadır. Tasarımında üst ve alt olmak üzere yine alüminyumdan iki ana platform bulunduran aracın bu platformları arasında 61 santimetrelilik bir açıklık vardır. Kuru ağırlığı 206 kilogram olan Mighty Eagle aracı 116 kilogramlık yakıt ve 7 kilogramlık basınçlandırıcı madde taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 14: Mighty Eagle uzay aracı 3-D tasarımı ve prototipi [McGee, Artis, Cole, Eng, Reed, Hannan, Chavers, Kennedy, Moore, Stemple, 2013]

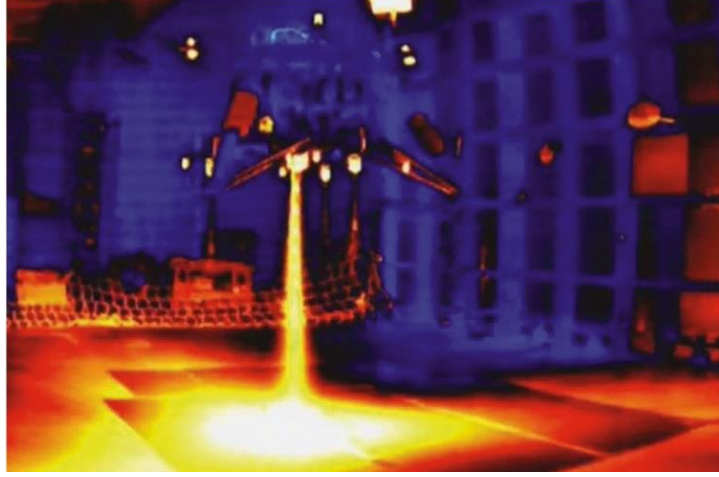
Ölçeklendirilebilir itiş sağlayan 3.114 kN'luk bir ana motora sahip olan Mighty Eagle prototipi ana motor ile beraber 267 N'luk itiş üretebilen 3 adet iniş motoruna ve 44.5 N'luk iniş sağlayan 12 adet yükseklik kontrol motoruna sahiptir. Tek yakıtlı üretilen prototip araç yakıt olarak tüm motorlarında 48 ile 55 bar (700-800 psi) aralığında yüksek saflıktaki nitrojen ile basınçlandırılan %90 saflıktaki hidrojen peroksiti kullanmaktadır. Katalizör olarak Gümüş elementinin kullanıldığı bir dizi ayrışma reaksiyonundan geçen hidrojen peroksitin yakıt olarak tercih edilme sebebi ise ayrışma reaksiyonlarının ürünü olan buhar ve oksijenin toksik olmaması ve hedeflenen uçuş süresi için yeterli enerji yoğunluğu sağlayabilmesidir. Prototip araç ile elde edilen maksimum uçuş süresi 45-50 saniye olarak kayıtlara geçmiştir [Cohen, 2012, NASA, 2012].

Test Çalışmaları

Uçuş Öncesi Testler: Prototipin komponentlerinin fiziksel dayanıklılığı için çeşitli düşüş testleri, itici sıvısının uçuş esnasında nasıl bir hareket gerçekleştireceğini görebilmek için hareket testleri, titreşim ve darbe sönümlenme testleri ve rüzgar tüneli testleri gibi birçok uçuş öncesi testi ile aracın uçuş testlerine hazırlığı ve uçuş testlerinde nasıl sonuçlar beklenmesi gerektiğine dair değerlendirmeler yapılmıştır.

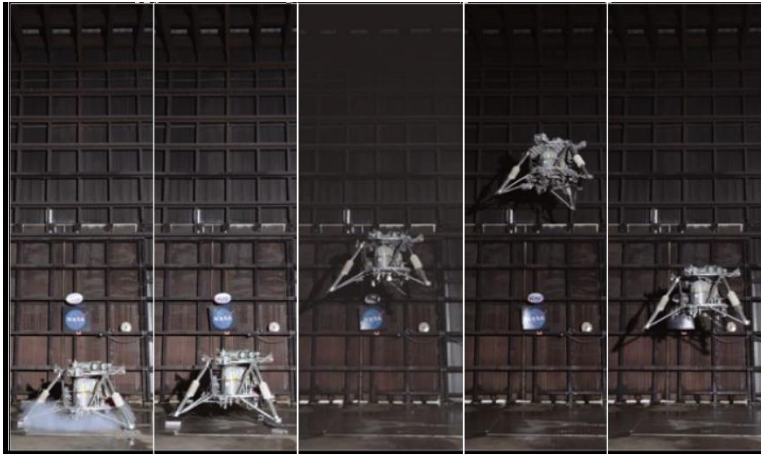
Kapalı Alan Uçuş Testleri: 2011 yazından itibaren kapalı alanda uçuş testlerine başlayan Mighty Eagle ekibi bu testlerin ilk aşamalarında stabil bir uçuşun elde edilebilmesi ve belirli dikey ve yatay manevraların gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır [NASA, 2012].

İlk üçlü test serisinde dikkat çeken sonuçlardan birisi uzay aracının başarılı bir kalkış gerçekleştirdikten sonra iniş esnasında yerden 10 santimetre yükseklikte iken, zemine olan kısa mesafeden dolayı dikey iticilerin performansındaki belirgin düşüş olmuştur. Bu olumsuz etkiden kurtulabilmek için takip eden testlerde kalkış esnasında aracın altında yükseltici alüminyum bloklar yerleştirilmiştir. Genel olarak kapalı alanda yapılan ilk uçuş testlerinin sonucunda dikey ekseninde 1.2 derecelik bir maksimum eğilme açısıyla oldukça tatmin edici bir sonuç elde edilmiştir. Ancak aynı testlerde navigasyon sistemindeki bazı problemler olduğunu gösteren bir dikey kaymanın yaşanması da ilk aşama kapalı alan testlerinin dikkat çekici sonuçlarından biri olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 15: Mighty Eagle kapalı alan test çalışmaları [NASA, 2012]

Takip eden ikinci üçlü test serisinde testlerin gerçekleştirildiği alanın sınırları içerisinde uçuş menzili artırılarak önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Dördüncü uçuş testinde daha yüksek itici yüklenmiş haldeki araç ile 33 saniyelik stabil ve kontrol altında başarılı bir uçuş gerçekleştiren Mighty Eagle ekibi bir sonraki test uçuşunda 4 metrelik bir yatay yer değiştirmeyi 0.5 m/s'lik bir hızda gerçekleştirerek ilk yatay manevrasını başarıyla tamamlamıştır. Altıncı kapalı alan uçuş testinde ise prototip 5 metrelik bir yüksekliğe başarıyla çıktıktan sonra, önce 1.7 m/s daha sonra 1.0 m/s olmak üzere iki farklı hız değeriyle inişini tamamlamıştır [Mohon, Stanfield, 2012].



Şekil 16: Mighty Eagle kapalı alan test çalışmaları [NASA, 2012]

Açık Alan Uçuş Testleri: 2011 yılının sonbahar aylarında açık alanda uçuş testlerine başlayan Mighty Eagle ekibi bu testlerde daha yüksek irtifalara, hızlara ve çevirme kapasitelerine erişmeyi amaçlamıştır. Bu testlerde ön plana çıkan bir diğer amaç ise optik hız belirleme sisteminin başarılı bir şekilde çalışmasıydı. Çeşitli ip ve halatların da kullanıldığı açık alan uçuş testlerinde en çok sorun yaşanan konulardan birisi itici performanslarında, peroksitin kademeli katalizör bozunmasından kaynaklı düşüş yaşanmasıydı [Mann, 2012, Kimberlin, 2013].

Açık alan test uçuşlarında bir diğer dikkat çeken olay, yüklü miktarda yakıtın doldurulduğu bir test uçuşunda itişin kalkış için yetersiz kalması olmuştur. Ayrıca iki farklı test uçuşu ise uçuş esnasında araçtan yüksek miktarda egzoz gazı çıkması sonucu uzay aracına olan görüşün kaybedilmesi sebebiyle tedbir amaçlı durdurulmuştur.

Açık alan test uçuşlarında ayrıca aracın otonom özellikleri ile ilgili de önemli sonuçlar elde edildi. Mighty Eagle uzay aracında kullanılması planlanan görüntü işleme fonksiyonu başarılı bir şekilde çalışarak navigasyon filtresi ile iletişim kurabildi. Ancak görüntü ile otonom hız ölçümlerinin yapılması işlemi, görüş alanına giren yüksek miktarda egzoz gazı olması sebebiyle sistem tarafından otonom olarak reddedildi. Bunlarla birlikte yakıt için kullanılan katalizörün yataklarının tekrar kontrol edilerek yenilenmesi işlemleri de açık alan uçuş testlerinde gerçekleştirilmiştir. Yenilenmeden sonra son iki test uçuşunda sistemin tekrar nominal performans ile çalıştığı gözlemlenmiştir [Mann, 2012, Kimberlin, 2013].



Şekil 17: Mighty Eagle açık alan test çalışmaları [NASA, 2012]

Açık alan uçuş testlerinde 50 metrelik maksimum uçuş yüksekliği ve 42 saniyelik bir uçuş süresi elde edilmiştir [NASA, 2012].

2013 yılının sonlarına kadar birçok teste tabi tutulan Mighty Eagle uzay aracı Aralık 2013'te NASA tarafından "organizasyon ve depolamaya" alınmıştır. Mighty Eagle projesinden elde edilen tüm veri ve bilgiler ise NASA'nın Lunar CATALYST projesiyle birleştirilmiştir [NASA, 2012].

LINKSPACE HAVACILIK TEKNOLOJİLERİ

LinkSpace Aerospace Technology Inc., 2014 yılının ocak ayında Güney Çin Teknoloji Üniversitesi mezunu Hu Zhenyu, Tsinghua Üniversitesi mezunu Yan Chengyi ve bir üretim uzmanı olan Wu Xiaofei tarafından kurulan, Çin'in roketler alanında çalışmalar yapmak üzere kurulmuş ilk özel şirkettir. Şirketin çalışma alanı genel olarak Dikey-Kalkış-Dikey-İniş roketlerinin, tekrar kullanılabilir uzay aracı teknolojilerinin ve düşük maliyetli, sürekli ve güvenilir roket kalkışlarının geliştirilmesi olarak tanımlanabilir. Genel merkezi ve Ar&Ge merkezi Pekin'de bulunan LinkSpace, çalışmalarını ayrıca Şandong'daki roket inşa ve test çalışmaları yerleşkesi ve Qinghai'deki yörünge altı fırlatma üssünde gerçekleştirmektedir [ANSA, 2014, Space Daily, 2014].

Şirketin misyonu "İnsanlığa üst seviyede ve sürekli bir uzay taşımacılığı sunulması" olarak dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda LinkSpace çalışmalarında çeşitli uçuş kontrolü algoritmalarının ve ayarlanabilir itiş gücüne sahip sıvı roket motorlarının geliştirilerek yeniden kullanılabilir bir roketin üretilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır [LinkSpace, 2022, The Space Journal, 2019].

Prototipler: LinkSpace'in prototip çalışmalarının şirketin kuruluşunun da öncesine dayandığını söyleyebiliriz. 2013 yılında henüz şirket resmi olarak kurulmamışken, şirketin kurucularından Hu Zhenyu ve ekibi "KC-SA-TOP" ismini verdikleri yörünge altı uzay aracı ile, rokete 50 kiloya (110 pound) kadar yüklerin yüklendiği çeşitli test çalışmaları gerçekleştirilmiştir [LinkSpace, 2022, ECNS, 2019].

Şirketin kuruluşundan itibaren birçok Dikey-Kalkış-Dikey-İniş prototipi üreten LinkSpace, geliştirdikleri tek motorlu prototip uzay aracı ile 2016 yılının temmuz ayına kadar havada asılı kalabilme hedefine ulaşmayı başarmıştır. Bu gelişmeden sonraki yaklaşık bir buçuk senelik bir süre içerisinde ise, Şandong'daki testlerde kullanılmak üzere üç tane daha roketin yapımı tamamlanmıştır.

Çalışmalarına ara vermeden devam eden LinkSpace son dört yılda 5 farklı prototip geliştirerek bu prototipler ile 300'den fazla test uçuşu gerçekleştirmiştir. Bu testler arasında en dikkat çeken başarılarından biri 2019 yılının nisan ayında, geliştirilen 5 adet prototipin sonuncusu olan "RLV-T5" isimli roket ile elde edilmiştir. "NewLine Baby" olarak da bilinen, beş adet sıvı motora sahip olan, 8.1 m (27 ft) uzunluğunda ve 1500 kg (1100 pound) ağırlığındaki RLV-T5 prototip test roketi 40 metre (131 feet) yüksekliğe 30 saniyelik başarılı bir uçuş ile çıktıktan sonra sorunsuz bir şekilde inişini gerçekleştirmiştir. Bu başarılı testten sadece birkaç ay sonra, 10 Ağustos 2019 tarihinde LinkSpace bir başka başarılı test uçuşunda 300 metrelik (984 feet) bir mesafeye çıkıldığını bildirmiştir [AstroWatch, 2017, LinkSpace, 2022, ECNS, 2019, Room, 2019].



Şekil 18: LinkSpace RLV T-5 prototip aracı test çalışmaları [LinkSpace, 2022]

Bu prototip çalışmalarını takip eden süreçte iki ana prototip daha geliştiren LinkSpace bu araçları SRV-1 ve NEWLINE-1 olarak adlandırmıştır.

SRV-1: SRV-1, LinkSpace'in RLV-T serisi prototip araçlarının devamında geliştirdiği çok amaçlı, tekrar kullanılabilir Dikey-Kalkış-Dikey-İniş uzay aracıdır. Yakıt olarak Sıvı Oksijen-Metan karışımı kullanan SRV-1 Çin'in ilk yörünge-altı yeniden kullanılabilir roketi olmasıyla dikkat çekmektedir. 1.2 metre çapında, 15 metre yüksekliğinde olan roketin kalkış ağırlığı 8.5 ton olarak belirtilmiştir. 100 kN (22480 pound-force) itiş üretebilen SRV-1 bu itiş gücünü %20 ile %100 arasında ölçeklendirebilmektedir. Açık çevrim motora sahip olan roketin özgül itici kuvvet değeri ise deniz seviyesinde 285 saniye olarak karşımıza çıkmaktadır [Lin, Singer, 2017, Smith, 2017].

Çeşitli alanlarda birçok amaç için kullanım şansı sunan SRV-1 Mikro Yerçekimi Araştırmaları, Atmosferik Araştırmalar, Uzay ve Havacılık Sensör Testleri, Yakın Uzay Aracı Testi, Biyolojik Uzay Aracı Yüğü Çalışmaları gibi alanlarda kullanılmaya uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Gövdeden ayrı olmayan kargo yükleri ile birlikte kalkış gerçekleştirildiğinde tekrar kullanılma özelliği olmayan Dikey-Kalkış-Dikey-İniş uzay araçlarına kıyasla kalkış maliyeti yaklaşık %90 daha az olarak karşımıza çıkmaktadır [LinkSpace, 2022, AstroWatch; 2017].

2020 yılının Ağustos ayında LinkSpace'in Twitter hesabından tanıtılan ve aynı yılın 3. çeyreğinde uçuşu planlanan SRV-1'in planlanan uçuşu gerçekleştirilememiştir.

NEWLINE-1: SRV-1 aracından sonra geliştirilen bir diğer araç olan NEWLINE-1, düşük maliyetlerle ticari amaçlı mikro-uydu ve nano-uydu taşıma amacıyla üretilen bir yörünge uzay aracıdır. İki aşamalı bir yörünge aracı olan NEWLINE-1'in birinci aşaması tekrar kullanılabilir olarak tasarlanmıştır. 1.8 metrelik çapa, 24 metre yüksekliğe sahip olan uzay aracı 500 kilogram yük taşıyabileceği öngörülmektedir. 42 tonluk bir kalkış ağırlığı olan roketin uçuş yörüngesi 250-500 kilometrelik Güneş-Senkron Yörüngesi olarak belirtilmiştir [Futurism, 2017, LinkSpace, 2022].

Sıvı Oksijen-Kerosen karışımı yakıt kullanan NEWLINE-1 roketinin motoru 500 kN'luk (112404 pound-force) itiş sağlamaktadır. İki aşamalı gerçekleştirilecek kalkışın ilk aşamasının tekrar kullanılabilir olmasının, yaklaşık 4.5 Milyon \$ olacağı tahmin edilen kalkış maliyetini 2.25 Milyon \$ seviyelerine düşüreceği öngörülmektedir [Wall Street Pit, 2017, Futurism, 2017].



Şekil 19: LinkSpace RLV-T5, RLV-T6 ve NEWLINE-1 uzay araçları [LinkSpace, 2022]

SONUÇ

Dünyada dikey kalkış - dikey iniş uzay araçlarının geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapan birçok kurum ve şirket bulunmaktadır. Bu çalışmada, bu geliştirme çalışmalarından Masten Uzay Sistemleri'nin çalışmaları, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) bünyesinde yürütülen Morpheus Projesi, Altair İniş Aracı Projesi ve Mighty Eagle Projesi, ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin roket çalışmaları yapan ilk özel şirketi olan LinkSpace Havacılık'ın çalışmaları araştırma ve geliştirme, test çalışmaları, prototip çeşitlendirmeleri, tasarım tercihleri gibi perspektiflerden inceleyerek başta Boğaziçi Üniversitesi Uzay Teknolojileri Laboratuvarı (BUSTLab) dikey kalkış – dikey iniş uzay aracı geliştirme çalışmalarına olmak üzere, ülkemizde bu alanda yapılan tüm çalışmalara katkıda bulunacak şekilde derlenerek bir araya getirilmiştir.

Kaynaklar

ANSA, 2014, "*LinkSpace successfully launches reusable rocket prototype*". Room, The Space Journal.

AStroWatch, 2017, "*In the Footsteps of SpaceX: Chinese Company Eyes Development of a Reusable Launch Vehicle*". AstroWatch.net

Atkinson, Nancy, 2012, "*Masten's Xombie Tests a Mars EDL-type Trajectory*"

Bergin, Chris, 2015, "*NASA dreams of future Morpheus project templates*". NASA Spaceflight.com.

Callaghan, Meaghan Lee, 2016, "*Masten Unveils Two New Reusable Rockets*", Popular Science

Cohen, Barbara A., 2012, "*EAS Lander talk*" (PDF). NASA's Robotic Lunar Lander Development Project.

Collect Space, 2008, "*NASA names next-gen lunar lander Altair*". collectspace.com

CollectSPACE, 2008, "*NASA names next-gen lunar lander Altair*"

Connolly, John F., 2006, "*Constellation Program Overview*" (PDF), Constellation Program Office

Cowing, Keith, 2013, "*Project Morpheus: Hard Lessons and Lean Engineering*" Space Ref.

Crawford, Meagan, 2020, "*SpaceX to Launch Masten Lunar Mission in 2022.*", Masten Press Release

Dean, Brandi, 2013, "*Project Morpheus Begins to Take Flight at NASA's Johnson Space Center, update dated 2nd May 2011*"

ECNS, 2019, "*China's LinkSpace successfully launches reusable rocket to a new height*". www.ecns.cn.

Eng, Renee, 2017, "*Masten Space Systems Wins NASA Contract*"

FlightGlobal, 2006, "*NASA to name moonlander after Greek goddess Artemis*"

FlightGlobal, 2007, "*NASA lunar lander design plans revealed*"

Futurism, 2017, "*China's Link Space Unveiled Design for a Reusable Rocket*"

Gerondidakis, Dimitri, 2012, "*Morpheus Lander in launch position*", NASA

Goff, Jonathan, 2009, "*Post Space Access Technical Update*"

Huertas, Andres; Johnson, Andrew E.; Werner, Robert A.; Montgomery, James F., 2011, "*Hazard Detection Software for Lunar Landing*". Tech Brief. NASA.

irconnect, 2007, "*Northrop Grumman Helps NASA Shape Plans for Affordable Lunar Lander*"

Kimberlin, Adam, (YouTube), 2013, "*Mighty Eagle Hazard Avoidance Flight*" Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4m2OehCM6Ng&t=290s>

Kimberlin, Adam, 2013, "*NASA Mighty Eagle Test Flight Video from UAV*". NASA and YouTube

- Lin, Jeffrey; Singer, P.W., 2017, *"China could become a major space power by 2050"*, Popular Science.
- Lindsay, Clark, 2012, *"Masten Space test fires new Katana engine"*, NewSpace Watch
- LinkSpace, 2022, Available: www.linkspace.com
- Maglothlin, Ron, Aaron Brogley, 2013, *"Lean Development with the Morpheus Simulation Software"*
- Mahoney, Erin, 2017, *"NASA Extends Agreements to Advance Commercial Lunar Landers"*, NASA.GOV
- Mann, Adam, 2012, *"NASA's Newest Autonomous Lander Passes Flight Test"*. Wired.
- Masten Aero, 2017, Available: www.masten.aero
- Masten Space Systems , 2017, *"XL1 / XL1T"*
- Masten Space Systems (YouTube), 2016, *"Katana KA6A Regen 2,800lbf Shakedown Test"*
- Masten Space Systems, 2022, Online, Available: ["https://masten.aero/"](https://masten.aero/)
- Masten Space Systems. 2016, *"Introducing Xodiac and XaeroB"*
- McNamara, Sara; Guy Schauerhammer; Darby Vicker; Kae Boyles, 2013, *"Aerodynamic Forces and Moments for the Morpheus Lander Using OVERFLOW"*
- Mealling, Michael, 2009, *"First Successful Free Flight"*.
- Messier, Doug, 2017, *"EXPACE Raises \$182 Million for Small Satellite Launchers"*. Parabolic Arc.
- Mohon, Lee, Stanfield, Jennifer, 2012, *"NASA's 'Mighty Eagle' Robotic Prototype Lander Takes 100-Foot Free Flight"*
- Morpheus Lander (YouTube), 2014, *"Project Morpheus Free Flight 8"*
- Moskowitz, Clara, 2012, *"NASA pushes ahead with new prototype of Moon lander"*. Space.com.
- Mudspike, 2016, Available: <https://forums.mudspike.com/t/masten-space-systems-thread/2513>
- Munday, R.; Mitchell, Jennifer D.; Baine, Michael, 2012, *"Morpheus: Advancing Technologies for Human Exploration"*
- NASA (Facebook), 2013, *"Mighty Eagle posts on Facebook in November 2013"*
- NASA, 2007, *"Lunar Orbit Insertion Targeting and Associated Outbound Mission Design for Lunar Sortie Missions"*
- NASA, 2007, *"NASA Chooses 'Altair' as Name for Astronauts' Lunar Lander"*
- NASA, 2008, *"Altair Lunar Lander – NASA"* (PDF), Available: https://www.nasa.gov/pdf/289914main_fs_altair_lunar_lander.pdf
- NASA, 2009, *"Constellation Accomplishments"*
- NASA, 2009, *"Constellation Accomplishments"*, NASA
- NASA, 2009, *"Masten Space Systems Qualifies for Level One Prize in Lunar Lander Challenge"*
- NASA, 2009, *"Constellation Program: America's Spacecraft for a New Generation of Explorers"*
- NASA, 2011, *"Morpheus Lander Website's Home Page"* Available: <https://morpheuslander.jsc.nasa.gov>
- NASA, 2011, *"NASA's Robotic Lander Performs Second Free-Flight Test"*
- NASA, 2012, *"Autonomous Landing and Hazard Avoidance Technology (ALHAT)"*
- NASA, 2012, *"NASA's 'Mighty Eagle' Robotic Prototype Lander Flies Again at Marshall"*
- NASA, 2012, *"NASA's Robotic Lander Takes Flight"*

- NASA, 2012, "*Robotic Lunar Lander Development Project*" (PDF)
- NASA, 2014, "*Equipped with New Sensors, Morpheus Preps to Tackle Landing on its Own*". NASA website
- NASA, 2014, "*RELEASE 14-126 NASA Selects Partners for U.S. Commercial Lander Capabilities*". NASA.GOV website
- NASA, 2017, "*Lunar CATALYST References*"
- Nasa, 2019, "*Masten Lunar Delivery Service Payload Users Guide Rev 1.0 2019*"
- National Aeronautics and Space Administration, 2011, "*Fiscal Year 2011 Budget Estimates*" (PDF). Nasa.gov.
- Norris, Guy, 2012, "*Masten Xaero Destroyed During Test Flight*". Aviation Week
- Paur, Jason, 2009, "*Xoie Claims \$1 Million Lunar Lander Prize*"
- Paur, Jason, 2012, "*Masten Space Systems Loses Rocket After Record Flight*". Wired Magazine
- Pinterest, 2022, "*Ares V*"
- Project Morpheus (Facebook), 2013, Available:
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=619537841440371>
- Scotkin, J., Masten, D., Powers, J., O'Konek, N., Kutter, B., Stopnitzky, B., 2013, "*Experimental Enhanced Upper Stage (XEUS): An affordable large lander system*". 2013 IEEE Aerospace Conference
- Smith, Rich, 2017, "*Is This Chinese Company the Next SpaceX?*". Motley Fool.
- Space Daily, 2014, "*China's first private rocket firm aims for market*"
- SpaceRef , 2016, "*Masten Space Systems Introduces Xodiac and XaeroB Next Generation Reusable Rockets*"
- The Altair Lunar Lander*"
- The Space Journal, 2019, "*LinkSpace successfully launches reusable rocket prototype*"
- Timothy G. McGee, David A. Artis, Timothy J. Cole, Douglas A. Eng, Cheryl L. B. Reed, Michael R. Hannan, D. Greg Chavers, Logan D. Kennedy, Joshua M. Moore, and Cynthia D. Stemple, 2013, "*Mighty Eagle: The Development and Flight Testing of an Autonomous Robotic Lander Test Bed*"
- Venere, Emil, 2020, "*Lunar-landing rocket research hits milestone with 'hot-fire' test*"
- Wall Street Pit, 2017, "*Breaking SpaceX: China's LinkSpace Reveals Rockets That Are Reusable*"
- Wall Street Pit, 2017, "*Breaking SpaceX: China's LinkSpace Reveals Rockets That Are Reusable*"
- Williams, Leslie; Webster, Guy; Anderson Gina, 2016, "*NASA Flight Program Tests Mars Lander Vision System*"
- Xprize, 2009, "*Masten Qualifies for \$1 Million Prize*"