

SIVI YAKITLI ROKET MOTORU TAHRİKLİ DİKEY KALKIŞ, DİKEY İNİŞ PLATFORMU TASARIMI VE ANALİZLERİ

Buğra Kerim Şahin¹ ve Murat Çelik²
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Geçtiğimiz yıllarda insanlık için tekrar bir hedef haline gelen Ay'a veya farklı gök cisimlerine yumuşak iniş yapma ve canlı ulaştırma konusu Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de gündeme gelmiş bulunmaktadır. Dikey iniş-kalkış yapabilen ve sıvı yakıtlı roket motoru ile itki üreten araç tasarım ve yapım çalışmaları Boğaziçi Üniversitesi Uzay Teknolojileri Laboratuvarı (BUSTLab) bünyesinde de halihazırda araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bu çalışmalarda, dikey iniş ve dikey kalkış yapabilen araç kavramının araştırılması, dünya genelinde ortaya konmuş çalışmaların incelenmesi ve raporlanması, BUSTLab bünyesinde bir yumuşak iniş aracı tasarlanması, prototip bir aracın üretilmesi ve test edilmesi hedeflenmektedir. Tasarlanmakta olan aracın her alt bölümü kendi içinde geliştirilmekte olup bu bölümler: İskelet, Yakıt ve Oksitleyici Tankları, Basınçlandırma Tankları, İniş Takımı ve Motor aktüatörleri olarak ayrılabilir. Yapılan çalışma; tasarım, analiz ve üretim olarak 3 aşamada planlanmaktadır. Tasarım ve analiz aşamasında halihazırda yol kat edilmiş olup üretim aşaması için malzeme ve imalat yöntemleri araştırması devam etmektedir. Raporunda tasarlanan araç, yumuşak iniş aracı kavramı ve bu tipteki araçların ihtiyaç duyduğu özellikler üzerinden aktarılacaktır.

GİRİŞ

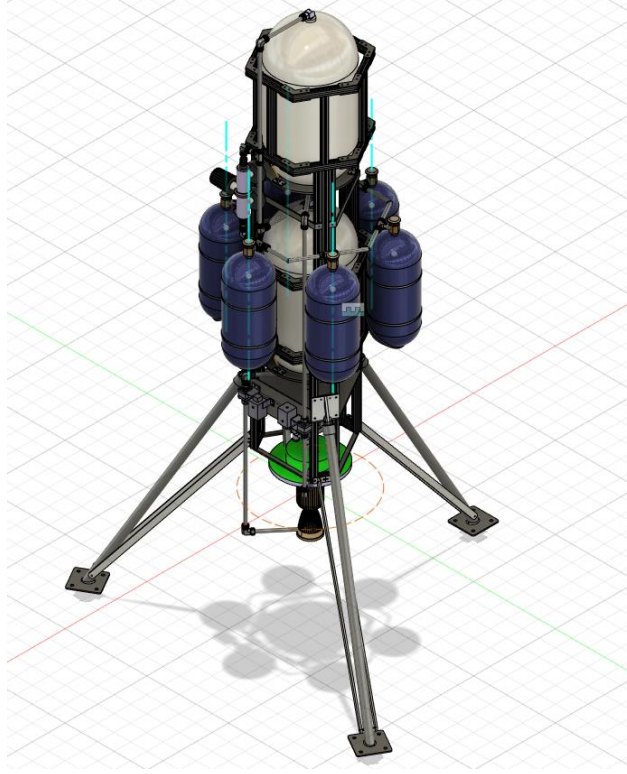
Dikey iniş-kalkış yapabilen araçlar (VTVL), 20. Yüzyılın ortalarında uzay yarışının başlaması ile dünya dışındaki gök cisimlerine güvenli ve yumuşak iniş yapma problemine bir çözüm önerisi olarak ortaya çıkmıştır. Dünya'ya en yakın gök cismi olarak içerisinde barındırdığı değerli madenler ve uzun vadede değerlendirilebilecek yüzölçümü ile Ay, yumuşak iniş yapılması hedeflenen ilk gökcismidir [Mann, 2020]. 50'lerin sonu ve 60'ların başında Ay'a yumuşak iniş konsepti üzerine birçok fikir atılmıştır, bu fikirlerin içinde paraşüt sistemleri, giyilebilir roket sistemleri vb. gibi birçok fikir bulunmaktaydı [Hussein, Khalifa, Saeed & Selim, 2021]. Güvenlik kriterinin çok önemli olduğu Dünya dışı görevlerde giyilebilir itki sistemleri gibi araçlar, oluşturduğu riskler sebebi ile kullanılması mümkün değildi, Ay'da bulunan atmosferin yok denecek kadar zayıf olması sebebi ile paraşüt sistemlerinin de göreve uygun olmadığı anlaşıldı, VTVL araç konsepti bu tarihlere "Apollo Lunar Lander" aracı ile bir çerçeve içine yerleştirildi, tarihte büyük başarıya ulaşmış ilk VTVL araç olarak görevini gerçekleştirdi [Lethbridge, 2019].

Bugün VTVL araç konsepti hala aynı temeller üzerine kuruludur. VTVL araçlar, itkinin yönünün ve büyüklüğünün kontrol edilebildiği (genellikle sıvı yakıtlı) ve tekrar kullanılabilir halde olması hedeflenen itki üniteleri ile kontrol edilmektedir [Arun, Bysani, & Karpur, 2019]. Temelde prensip olarak, normal şartlarda serbest düşme halinde olacak bir aracın yönü ve büyüklüğü düzenlenebilen bir itki desteği ile dengesinin ve hızının kontrol edilerek hedeflenen bölgeye güvenli iniş yapılmasını hedeflemektedir. VTVL araçlar, zarar görmeye açık yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilmek için belirli gereksinimlere ihtiyaç duymaktadır. Üretilen maksimum itki aracın toplam ağırlığından fazla olmalıdır, itki belirli açılarda vektör değiştirebilme özelliğine sahip olmalıdır aynı zamanda üretilen bu itkinin büyüklüğü kontrol edilebilir hale getirilmelidir. Aviyonik sistemler aracın konumu ve denge durumunu doğru şekilde hesaplamalı ve itki sistemi ile arasında doğru bağlantıları kurabilecek durumda olmalıdır [Maahs & Ponnusamy, 2012]. Testlerin genellikle Dünya şartlarındaki ortamlarda yapılması durumuna rağmen Dünya dışı gök cisimlerinde kullanılabilir olması en önemli kriterlerdendir. Bu sistemlerin yanı sıra iniş ayakları, uygun atmosfer koşullarında paraşüt sistemleri,

¹ Öğrenci, Makina Müh. Böl., E-posta: bugra.sahin@boun.edu.tr

² Doç. Dr., Makina Müh. Böl., E-posta: murat.celik@boun.edu.tr

kanatçıkları gibi destekleyici alt sistemler de kullanılmaktadır. Genel kaniya uygun olarak ağırlık kriteri araç ve alt sistemlerin tasarımında temel rol oynamaktadır. Farklı alt sistemleri tasarlarken ağırlık ve geometrinin dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 1: VTVL aracının çizimi

VTVL araçlarda her bir alt sistemin kendine ait çalışma prensipleri bulunmaktadır, tasarımı yapılan aracın her bir alt bölümü genel konsept üzerinden raporda tekrar açıklanacaktır. Türkiye’de VTVL araç tasarımı üretimi ve uygulanabilirliği üzerinde durmakta olan bu çalışma hala geliştirilmeye devam etmektedir. BUSTLab bünyesinde geliştirilen VTVL araç konseptinde itki üretimi için sıvı yakıtlı roket motoru kullanılması, yakıt olarak etanol-su karışımı, oksitleyici olarak da sıvı oksijen (LOX) kullanılarak itki elde edilmesi planlanmaktadır.

Dikey iniş-kalkış aracının prototip düzeydeki tasarım aşamasında geline nokta, yakıt ve oksitleyici tankları, iskelet yapısı, iniş takımı ve motor aktüatörleri üzerinde çalışmalar yapılmış olup, Fusion360 CAD yazılımı desteği ile görselleştirilmiştir. Kullanılacak motorun tasarımı ve itki hesaplamaları farklı bir çalışmanın konusudur, bu çalışma aracın tasarımı ve üretimi üzerinedir. Aracın toplam uzunluğu 3210mm’dir. Sistemin toplam kuru kütlesi 250 kg mertebesindedir.

TASARIM

Tasarım, hem uygun mekanik dayanımları olabildiğince az kütle ile elde etmek hem de kullanılabilir bir sistem tasarlamak için dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Belirli alt sistemlerin kullanımı, tasarımı ya da iptali gibi kritik düzeyde kararların doğru alınması için kar-zarar analizi ve hesaplamalarının gerçeğe uygunluğu da önemli bir husustur. Tasarım temelde iskelet geometrisi ve alt sistemlerin yapısı ve konumlarının belirlenmesi olarak açıklanabilir. Burada yapılan tasarımda, üretilmesi planan aracın görselleştirilerek üretime ve kullanıma uygun hale getirilmesi hedeflenmiştir. BUSTLab bünyesinde tasarlanan araçta geometri ve dayanıklılık hesaplamaları yapılmış, malzeme tercihi ve geometri üzerine belirli sonuçlar elde edilmiştir.

Araç temelde alüminyum temelli 30x30mm boyutta profiller ile altıgen geometriye sahip iskelet yapısı üzerine kuruludur, yakıt ve oksitleyici tankların paslanmaz çelik ve 209mm yarıçap ile özel olarak üretilmesi planlanmaktadır. Altıgen iskeletin 6 ayrı yüzeyinde 1’er tane olacak şekilde toplam 6 adet kompozit tank basınçlandırma görevi yapacaktır. İniş takımı altıgen iskelete bağlı 3 ana ayak ve her ana ayakta 2 adet destek ayağı olacak şekilde tasarlanmıştır.

İskelet

İskelet, araca mekanik dayanım sağlayan, bütün alt sistemleri taşıma ve mekanik darbelerle karşı dayanım sağlama görevlerine sahip olan temel yapıdır. Araçlar genellikle iskelet üzerine inşa edilmektedir, bu sebeple iskelet tasarımını yapabilmek için alt sistem gereksinimlerine önceden karar vermiş olmak, hedeflenen ağırlık ve itkinin farkında olarak bu parametrelere uygun tasarımların belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan araçta önce alt sistemler, boyutlar ve ağırlıklar hesaplanmıştır. İskelet bu parametrelere uygun olarak tasarlanmış ve tasarım son haline ulaşıktan sonra geri dönülerek tekrar hesaplamalar ve statik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2: VTVL iskeleti

Araç iskeletinde hafif olması sebebi ile 6061 alüminyum profiller baz alınmıştır. 30x30mm boyuttaki profiller ile altıgen geometri kullanılarak iskelet oluşturuldu. Kullanılan altıgenlerin iç kenar uzunluğu 255mm, dış kenar uzunluğu ise 290mm'dir. Altıgen yapıyı oluşturmak için profillerin her köşesinin üst ve alt kısımlarına yerleştirilmiş köşebentler kullanılmaktadır. İskelet 1. ve 2. kat olarak ayrılacak olursa, 2. kat kısmında yakıt tankı, 1. kat kısmının içinde oksitleyici tankı, dışında ise 6 adet basınçlandırma tankı bulunmaktadır. İskeletin toplam kütlesi (iniş takımı dahil değildir) 25.3 kg'dir.



Şekil 3: VTVL yakıt tankı çizimi

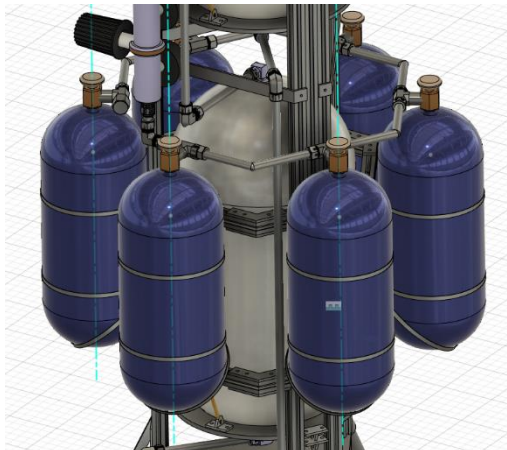
Oksitleyici ve Yakıt Tankları

İtki sistemi olarak sıvı yakıtlı roket motoru tercih edilmesi sebebi ile oksitleyici ve yakıt muhafazasını sağlamak ve iç basıncı korumak adına basınçlı tanklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bir oksitleyici, bir yakıt tankı olmak üzere iskeletin merkezinde aynı hizada yerleştirilmiş şekilde 2 adet yaklaşık olarak eş hacme ve kütleye sahip tank bulunmaktadır. Etanol-LOX karışımı ile ateşleme oluşturulacağı için iki tankın da muhafaza ettiği sıvıların özelliği, kaynama sıcaklıkları ve tankların ortam koşulları farklıdır. Sıvı oksijen, -183°C kaynama sıcaklığına sahip olması sebebi ile düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini kaybetmeyecek malzemelerin yardımı ile muhafaza edilmek zorundadır. Etanol ise $78,3^{\circ}\text{C}$ kaynama sıcaklığı ile normal şartlar altında muhafazası, sıvı oksijene göre oldukça kolay olan bir malzemedir [Zohuri, 2019]. Muhafazası için tercih edilecek materyaller açısından sıvı oksijen kadar kısıtlı bir yelpazeye sahip değildir. Yakıt ve Oksitleyici tankları gerek ihtiyaç duydukları mekanik özellikler gerekse iç hacimleri sebebi ile tasarlanan aracın en temel 2 kütle kalemını oluşturmaktadırlar, aracın kütle bütçesinin geliştirilmesi için bu konuda araştırmalar devam etmektedir.

Oksitleyici tankları tasarımında ekonomik gerekçeler sebebi ile piyasada bulunan ve ihtiyacı karşılayacak dayanım ve boyutlara sahip tanklar araştırılmıştır. Araştırma sonucunda karbon fiber CNG tanklarının uygun dayanım ve boyutlara sahip örneklerinin piyasada bulunduğu görülmüştür. 1. tercih CNG tankları kullanmak olmasına rağmen kompozit malzemelerin düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini kaybetmeleri sebebi ile özel üretim çelik tank kullanımı tercih edilmiştir. AISI316 çeliği ülkemizde tedariki mümkün ve düşük sıcaklıklar için ideal bir çelik türü olması sebebi ile oksitleyici ve yakıt tanklarının ana malzemesi olarak planlanmaktadır. Oksitleyici ve yakıt tanklarının tasarımlarının ve malzemelerinin aynı olması planlanmaktadır, 80L iç hacme ve 61kg kütleye sahiptirler. 1 gövde, 2 kubbeden oluşan tanklar toplamda 3 kaynak aşaması ile birleştirilecektir. Yukarıdan basınçlandırma tankına bağlı olan tanklar, alt kısımlarındaki borular ile motora bağlanmaktadır. İki tank için iki ayrı borulama hattı kullanılmaktadır. Tanklar, iskeletin ortasına pinler yardımı ile merkezlenmiş olan ortası boş flanşların üzerine oturtulduktan sonra kauçuk uçlu cıvataların desteği ile iskelete sabitlenecektir.

Basınçlandırma Tankları

Sıvı yakıtlı itki sistemlerinde doğru itkiyi elde edebilmek adına yanma odasına istenen miktarda yakıt ve oksijeni istenen basınçta göndermeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple itkinin miktarının yanı sıra itkinin kontrol edilebilirliği de oldukça önemli bir konudur. Yanma odasında oluşacak basıncı düzenlemenin belirli yolları vardır, kendi kendini basınçlandırabilen düzenekler kullanılabildiği gibi bu ihtiyacı dışarıdan basınçlandırma tankları yardımı ile ya da turbo pompalar aracılığı ile karşılamak da mümkündür. BUSTLab bünyesinde turbo pompalar üzerine araştırmalar yapılmakta olup bu projenin için yer almamaktadır. Kolay üretilebilir ve risksiz olması sebebi ile basınçlandırma tankları diğer seçeneklerin yerine tercih edilmiştir. 6 adet görece küçük tank, yüksek hacme sahip tek bir tanka tercih edilmiştir. Bu sistemin tercih sebebi, ağırlık açısından daha verimsiz olmasına karşın kütle merkezine daha yakın bir şekilde tasarlanabilmesi ve tasarımda sunacağı özgürlüktür.



Şekil 4: VTVL basınçlandırma tankları çizimi

Basınçlandırma tankları için yapılan araştırmalarda uygun ağırlık, boyut ve mekanik değerlerin bulunması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda görece küçük hacmi, ulaşılabilirliği ve mekanik isterleri karşılaması sebebi ile piyasada bulunan alüminyum dalış tüplerinin basınçlandırma tankı olarak kullanılması uygun görülmüştür. Bu tanklarda insan kullanımı için 20MPa iç basınç tercih edilse de insan faktörü bulunmadığı durumlarda 30MPa iç basınca kadar çıkılmasında herhangi bir sakınca ve risk bulunmamaktadır. Altıgen şeklindeki iskeletin 1. katında her kenarda bir adet olacak şekilde toplam altı adet basınçlandırma tankı kullanılması planlanmaktadır. Her tank toplamda üç adet metal sıkma kelepçesi ile hareket etmesi engellenecek şekilde iskelete bağlanacaktır. Tankların her biri 12 litre iç hacme ve 12.4kg kütleye sahiptir. 6 adet basınçlandırma tankının birbiri arasında bağlantı kurularak tek bir basınçlandırma tankı gibi işlevini sürdürmesi planlanmaktadır. Basınçlandırma tanklarının hepsi tek bir çıkışa bağlanmıştır, bu çıkışta yer alan regülatör yardımı ile yakıt ve oksitleyici tanklarının iç basıncı düzenlenmektedir.

İniş Takımı

İniş takımları, VTVL araç tasarımlarında iniş esnasında dengenin korunması, iniş sürecinin kolaylaştırılması, yere değme anında oluşan darbelerin sönmülenerak taşınan malzemelerin, canlıların ve aracın kendisinin zarar görmesinin engellenmesi gibi birçok göreve sahiptir. İniş takımında kullanılacak olan ayak sayısı, tarihte kullanılan birçok araçta değişiklik göstermiştir, örneğin "Apollo Lunar Lander" 4 iniş ayağına sahip iken, son yıllarda geliştirilmekte olan "Mighty Eagle" aracı 3 iniş ayağına sahiptir. İniş ayağı sayısı tercihinde birinci kıstas stabilitedir. Aracın kütlesi, iniş ayak tabanı yarıçapı, ağırlık merkezi gibi birçok parametrenin dikkate alınması gerekmektedir. Genellikle "Apollo Lunar Lander" gibi yüksek kütleye sahip araçlarda 4. Ayak stabilite marjini verimli bir şekilde etkilemektedir ancak (Aracın ismi) gibi görece düşük ağırlıkta olan bir araçta kütle bütçesinde oluşturacağı yük ve ek karmaşıklığın araç verimini düşüreceğine karar verilmiştir. Darbe sönmülleme mekanizması olarak yaylı amortisör sistemi ile doğru özelliklere sahip bir sistem hazırlanması adına araştırmalar devam etmektedir. Her ana ayakta 1 adet olmak üzere toplam 3 adet darbe sönmülleyici mekanizmanın iniş takımında yer alması planlanmaktadır.



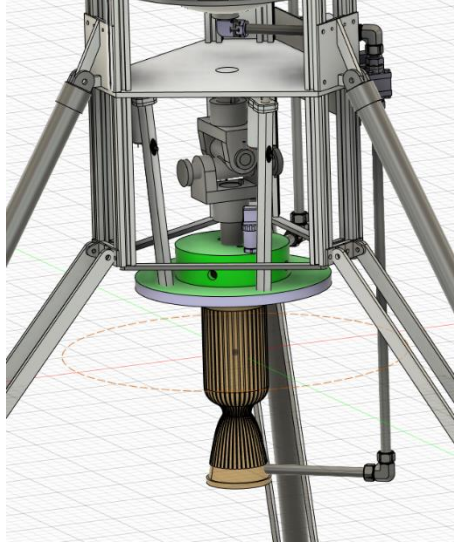
Şekil 5: VTVL aracı iniş takımı çizimi

İniş takımı olarak çembersel geometri oluşturacak şekilde 3 adet ana ayak, pin yardımı ile monte edilmiştir. Her ana ayağa yardımcı olarak ikişer adet destek ayağı ise ana ayağa ortak bir pim yardımı ile monte edilmiş olup iskelet ile ana ayak arasında bir destek bağlantısı oluşturmaktadır. Ana ayak paslanmaz çeliktir, 48.3mm dış çapa ve 3mm et kalınlığına sahiptir. Her ayak düzeneği, destek ayakları ile birlikte toplam 8kg kütleye sahiptir, yer ile arasında 60° açı bulunmaktadır. Destek ayakları alüminyum 6061 serisidir, 1100mm uzunluğa sahip olup 8mm kalınlığındadır. Ana ayakların

iskelete bağlantısını sağlayan montaj parçalarının CNC freze yardımı ile üretilmesi planlanmaktadır. İniş takımında sönümleyici ve şok engelleyici sistemlerin üzerinde çalışılmakta olup bu aşamada çizim üzerinde gösterilmemiştir.

Motor Aktüatörleri

VTVL araç konseptinde en kritik konulardan olan motor aktüatörleri ve gimbal sistemi yumuşak iniş kavramının gerçekleştirilebilmesi görevini üstlenmektedir. Sistem genel olarak itki vektör kontrolü ünitesi olarak düşünülebilir. İtkiyi oluşturacak olan sıvı yakıtlı roket motoru, iskeletin merkezinde bulunan ve itkiyi araca iletmek ile görevli olan motor tablasına monte edilmiştir. Gimbal sistemi motora hareket kabiliyetini kazandırmak ile görevlidir, genellikle Top montajı ya da 2 adet birbirine dik olarak hizalanmış pin bağlantısı kullanılır.

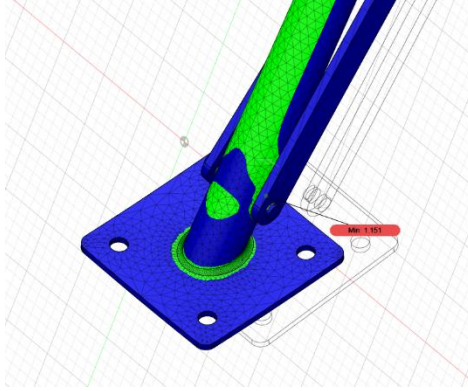


Şekil 6: VTVL motor bölümü

Rapor bünyesinde tasarlanan araçta İtki vektör düzeneği, bir ucu pin yardımı ile motor tablasına, diğer ucu motor flanşına monte edilmiş 2 adet lineer aktüatör yardımı ile çalışmaktadır. Motor, 2 adet çapraz pin sayesinde 2 dik eksen de hareket özgürlüğünü elde edecektir. İtki motordan iskelete motor tablası yardımı ile aktarılacaktır, motor doğrudan motor tablasına bağlanacaktır. Gerekli analizler yapılarak motor tablasının üzerinde oluşacak gerilim ve esneme değerleri hesaplanmıştır. Son halinde merkezde 3mm esnemeye sahip olan alüminyum tabla, ileride gerek duyulacak olursa destek yapısı ile güçlendirmeye tabi tutulacaktır.

YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

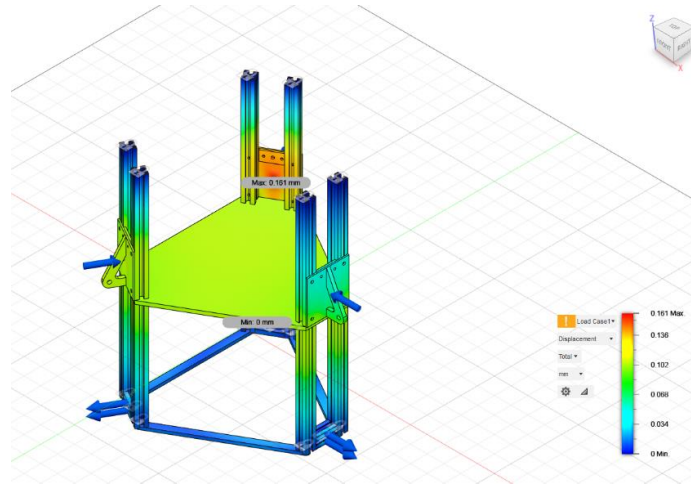
Ortaya konan tasarımın gerçeğe uygunluğu ve güvenilirliğinin test edilmesi adına kritik parçaların mekanik analizleri yapılmıştır. Bu kritik parçalar; motor tablası, iniş takımı, motor ara bağlantıları ve belirli pin bağlantı noktaları olarak sayılabilir. Analizlerde bu kritik bağlantı noktalarına öncelik verilmiştir, analiz sonucunda uygun şartlara dayanımın yanı sıra, riskli derecede yer değiştirme oluşmaması ve dayanımın güvenli bölgede kalması durumları aranmıştır. Analizlerde istenen sonuçların oluşmaması durumunda geri dönülerek tasarımda gerekli değişimler yapılmış ve söz konusu parçalar tekrar analize sokulmuştur.



Şekil 7: VTVL ayakları analizi

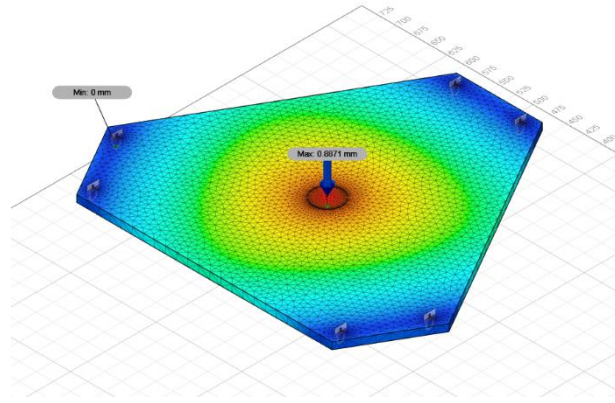
İniş takımı üzerinde yapılan analizler sonucunda, sistemin Dünya şartlarında 1 ton kütleye statik olarak dayanabilecek durumda olduğu görülmüştür. Dolu kütlesi 500kg civarında olan aracı taşıması hedeflenen iniş takımının gerçeğe uygun ve kullanımının risksiz olduğu sonucuna varılmıştır. Statik analiz "Fusion360" yazılımı yardımı ile yapılmıştır, ana ayaklar için 304 paslanmaz çelik, destek ayakları için 6061 alüminyum malzemesi atanmıştır.

İskeleti oluşturan 30x30 alüminyum profillerin ağırlığı dikey doğrultuda kolaylıkla taşıdığı gözlemlendi, ancak yatay doğrultuda gelecek kuvvetlere karşı kırılma, bükülme, kopma gibi başarısızlıkları yaşama ihtimaline karşın yatay kuvvetlerin iskelet üzerindeki etkileri test edildi. Özellikle iniş takımının bağlantı noktalarından doğrudan yatay kuvvete maruz kalacak bölgeler test edildi, yatay ekseninde 3 kenardan ayrı ayrı etki eden 3000N kuvvete karşı risksiz bir şekilde direnç gösterebildiği görüldü. Motor tablası etrafında bulunan iskeletin en çok yükü taşıyan elemanlara sahip olması sebebi ile bu bölgede yapılan mekanik analizler yeterli görüldü.



Şekil 8: VTVL iskelet yapısalı analizi

Motor tablası, motordan gelen itkiyi 6 adet m6 civata yardımı ile montajı yapılan iskelete aktarmak ile görevlidir. Yapılan analizler sonucunda 5000N değerinde itkiyi merkezde 0.887mm yer değiştirme ile, güvenli sınırlar içerisinde taşıyabildiği görülmüştür. Merkezde oluşan 1mm'ye yakın yer değiştirmeyi, tabla üzerinde tasarlanacak olan bir iskelet yapısı ile gidermenin mümkün olduğu gözlemlenmiştir ancak analiz aşamasında böyle bir iskelet yapısına ihtiyaç duyulmayacağı görülmüştür. Üretim sonrası yapılacak testlerde aksi durum gözlenmesi durumunda tasarımda değişikliğe gidilecektir.



Şekil 9: VTVL motor tablası analizi

SONUÇ

VTVL araç konseptinde BUSTLab bünyesinde ortaya konmuş bu aracın tasarım ve analizleri birinci aşamasını tamamlamış durumdadır. Yapılan gözlem ve kontroller sonucunda aracın gerçeğe uygun olduğu gözlemlenmiştir. Sadece VTVL araç olarak değil, aynı zamanda sıvı yakıtlı roket motoru için bir dikey test platformu olarak kullanılması mümkündür. Üretilmesi durumunda uzay ve havacılık dalında ülkemizde gelecekte yapılacak olan çalışmalarda yardımcı rol oynayacağına inanılmaktadır.

Kaynaklar

- Arun, N., Bysani, K. ve Karpur, A., «Verticle Landing Rockets,» *Proceedings of the 4th TMAL02 Expert Conference 2019*, Linköping, 2019
- Hussein, A., Khalifa, A., Saeed, A., Ve Selim, A., «Autonomous Drone Ships,» *Research Gate*, p. 12, 2021
- Lethbridge C., «Spaceline,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.spaceline.news/archives/2019-07.html/>. [Erişildi: 28 Ocak 2022].
- Maahs, G. ve Ponnusamy, D., «DEVELOPMENT AND TESTING OF LEG ASSEMBLIES FOR ROBOTIC LUNAR LANDER,» Baltimore, 201
- Mann, A., «The Apollo Program: How NASA sent astronauts to the moon,» 25 Haziran 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.space.com/>. [Erişildi: 15 Ocak 2022].
- Zohuri, B., «Cryogenics and Liquid Hydrogen Storage,» *Hydrogen Energy*, pp. 121-139, 2019.