

**TEKNOFEST**  
**HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ**

**HYPERLOOP GELİŞTİRME YARIŞMASI**  
**TEKNİK TASARIM RAPORU**

**HYPERSONİC**

**224736**

**TEKNOFEST**  
**HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ**

## İÇİNDEKİLER

1. Kapsül Tasarımı, Analizleri ve Üretim Aşamaları.....	4
2. Kapsül Güç Tüketimi ve Enerji Kaynakları .....	21
3. Kapsül Navigasyon Sistemi ve Sensör Bilgileri.....	27
4. Kapsül Levitasyon Sistemi.....	32
5. Kapsül İtki ve Stabilite Sistemi.....	38
6. Kapsül Fren Sistemi ve Öngörülen Kapsül Hız Profili.....	42
7. Kapsülün Isı Dağılım, Aerodinamik ve Vakum Analizleri.....	47
8. Kapsül Güvenlik Ekipmanları ve Devreye Girme Prosedürleri.....	58
9. Haberleşme ve Görüntü Aktarımı.....	61
10. Hyperloop Teknolojisi ile Ulaşılabilecek Teorik Maksimum Hız Hesabı .....	66
11. Bütçe Tablosu.....	67



## Takım Üyelerinin ve Danışmanların Bilgisini İçeren Güncel Liste

No	İsim-Soyisim	Üniversite ve Bölüm	Sınıf	Üye Rolü
1	Zafer Yavuz Aksöz	İstanbul Bilgi Üniversitesi		Danışman
2	Elif Şarman	İstanbul Bilgi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	2.	Kaptan
3	Muhammed Ömer Durmuş	İstanbul Bilgi Üniversitesi Makine Mühendisliği	1.	Üye
4	Cihan Armağan Güner	İstanbul Bilgi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği ve Enerji Sistemleri Mühendisliği	4.	Üye
5	Melike Durmuşoğlu	İstanbul Bilgi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	2.	Üye
6	Berat Hündürel	İstanbul Bilgi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	2.	Üye
7	Sude Ateşoğlu	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	1.	Üye
8	Eray Alp	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	1.	Üye
9	Ertuğrul Taç	İstanbul Bilgi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	3.	Üye
10	Yağız Ertem	İstanbul Bilgi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği	4.	Üye
11	Melisa İskurt	İstanbul Bilgi Üniversitesi Makine Mühendisliği	3.	Üye
12	Sude Yaren Kaçar	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilişim Sistemleri	3.	Üye
13	Hajar Faiyad	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	4.	Üye
14	Buğra Karabacak	İstanbul Bilgi Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	4.	Üye
15	Onur Çalışkan	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	3.	Üye
16	Ahmet Batuhan Özkaner	İstanbul Bilgi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği	2.	Üye
17	Emine Esin Yılmaz	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	3.	Üye
18	Zehra Çavdar	İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	1.	Üye
19	Özer Ayhan	İstanbul Bilgi Üniversitesi Enerji Sistemleri	4.	Üye

## 1. Kapsül Tasarımı, Analizleri ve Üretim Aşamaları

### 1.1 Araç özellikleri özet tablosu

Özellik	Birim	Açıklama
Uzunluk	mm	1355
Genişlik	mm	720
Yükseklik	mm	360
Kapsül Ağırlığı	kg	106~
Şasi & Kabuk Malzeme	Malzeme tipi	Karbon Çeliği, Çelik & Karbonfiber, Epoksi Levha
Fren Pabucu Sertlik	HRC	65 HRC
İtme Sistemi	Lineer Motor, Basınçlı Tüp, diğer	Lineer Motor
Elektrik Motor	Tipi	BLDC
Elektrik Motor Gücü	kW	10.6 kW (BLDC) 1.2 kW (Levitasyon)
Basınçlı Tüp Sayısı, Tipi	Adet	0
Batarya Nominal Voltajı	V	72V
Batarya Nominal Gücü	Wh	2160 Wh
Haberleşme Tipi	Ethernet	H05V-K NYAF & Shielded Cat6 Ethernet Kablosu

## 1.2 Detaylı Tasarım Özeti

Ürettiğimiz aracın tasarımında bileşenlerin bir hız yuvarı inşa etme ve yüksek hızla hareket halinde olma sürecine göre temellendirilmesi esas alınmıştır. Üzerine yoğunlaştığımız nokta sistemlerin bir bütünü oluşturması yani ortak hareket edecek mikrodenetleyici ve sensörler ile oluşturulabilecek en tutarlı verilerin sunulması ve bu veriler ışığında en mantıklı kararların verilmesidir. Bu sebeple kullandığımız bilişsel sistemler olan navigasyon sistemi, itki sistemi, levitasyon sistemi, mekanik basınç sistemi, fren sistemi ve sıvı soğutma sistemini kapalı ve açık sistemler olmak üzere iki kola ayrılmış ve ortak iki kanalda birleştirilmiştir.

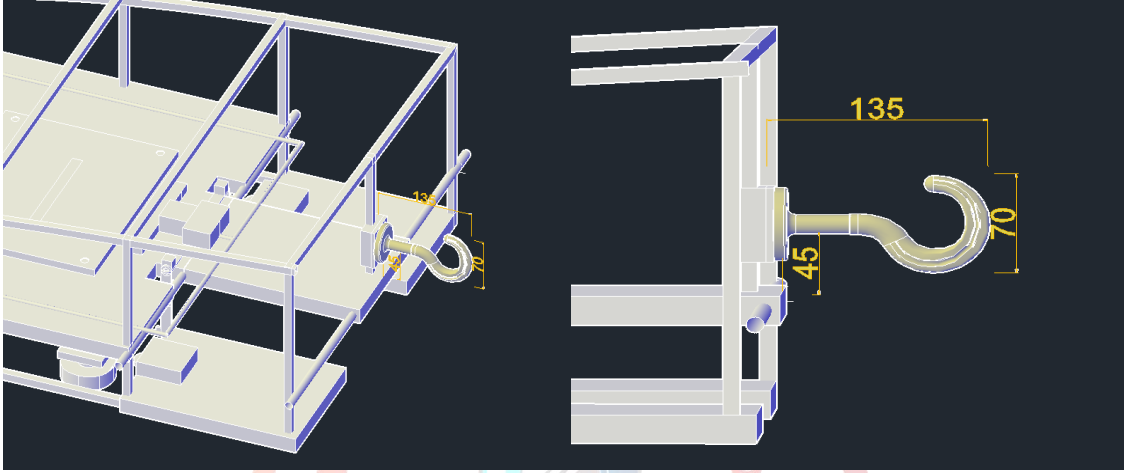
Navigasyon sisteminde belirtildiği üzere denetleme sürecinde, kalan mesafe hesabı, hız hesabı, renk algılayıcı sensör, oluşturulan manyetik alan hesabı, ivme ve sarsım hesabı gibi birçok farklı veriden oluşmuş bir veri havuzu yardımıyla sürdürülecek, aracın mümkün olan en stabil tepkileri göstermesi amaçlanacaktır.



**Şekil 1: Kapsül, şasi ve alt sistemlerin yerleşim planı**

### 1.2.1 Bağlantı Aparatı Yerleşim Planı

Yarışma şartnamesine uygun olarak üretilmiş bağlantı aparatı basit bir kanca görünümündedir. Simetrik iki adet vida yardımıyla monte edilir.



**Şekil 2: Bağlantı aparatının teknik ölçüleri ve şasi üzerindeki konumu**

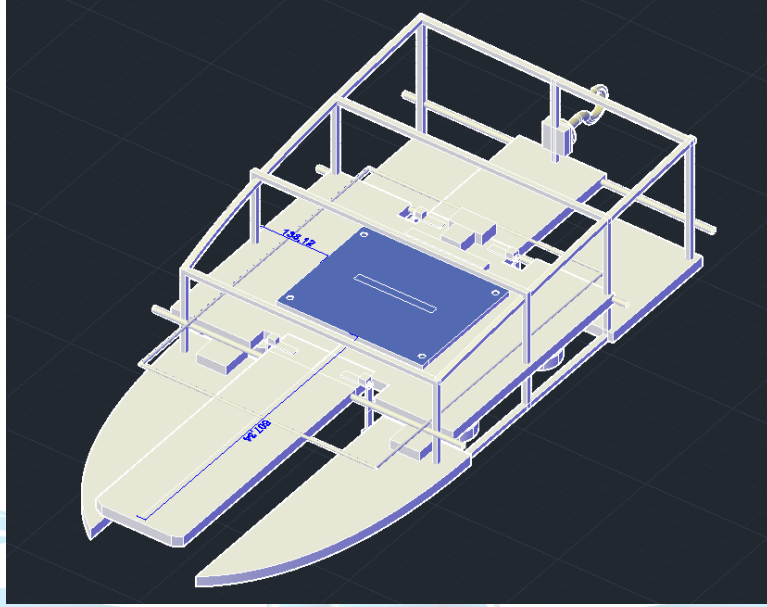
Boyu 132 santimetre, eni ve genişliği 70 santimetre olan bu bağlantı aparatı basit ve kullanışlıdır. Aracın kapsülün içinde kaldığı herhangi bir arıza durumunda kapsül bu aparat yardımı ile çekilecektir.



**Şekil 3: Bağlantı aparatının kapsül üzerindeki görüntüsü**

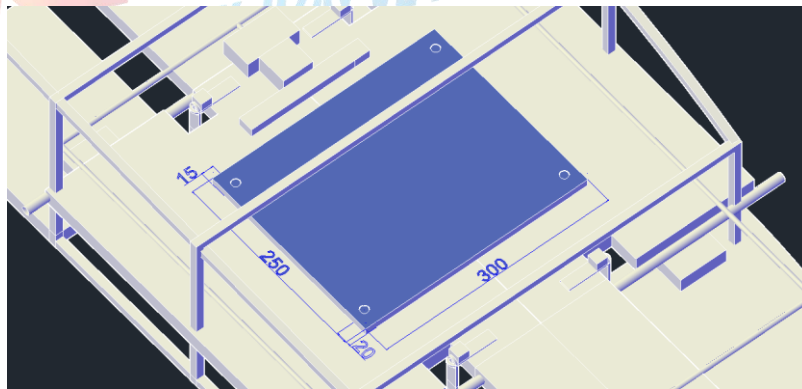
### 1.2.2 Ağ Erişim Modülünün Yerleşim Planı

Teknofest tarafından yarışmacılara ulaştırılacak ağ erişim modülü aracın burnunun yaklaşık 607 santim uzağında ve yan şasiden yaklaşık 138'er santim içeridedir.



**Şekil 4: Ağ Erişim Modülünün şasi üzerindeki yerleşim planı**

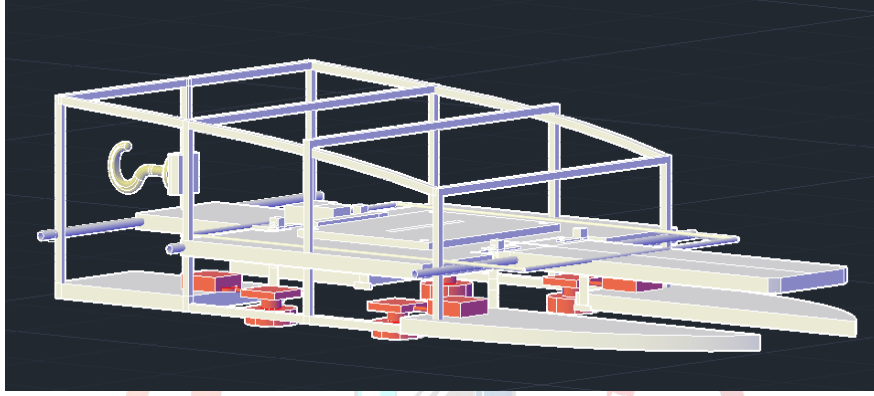
Ağ erişim modülünün yerleşim planında üzerine bağlanacak tüm bilişsel aksanların yakınında olması ve sıvı soğutma sisteminin içinde bulunması göz önüne alınmıştır. Yetkili merciler tarafından oluşturulmuş Şartname raporuna göre teknik çizimleri yapılmış ve vida delikleri modele uygun olarak yerleştirilmiştir.



**Şekil 5: Ağ Erişim Modülünün yerleşeceği aparatın şasi üzerindeki CAD çizimi**

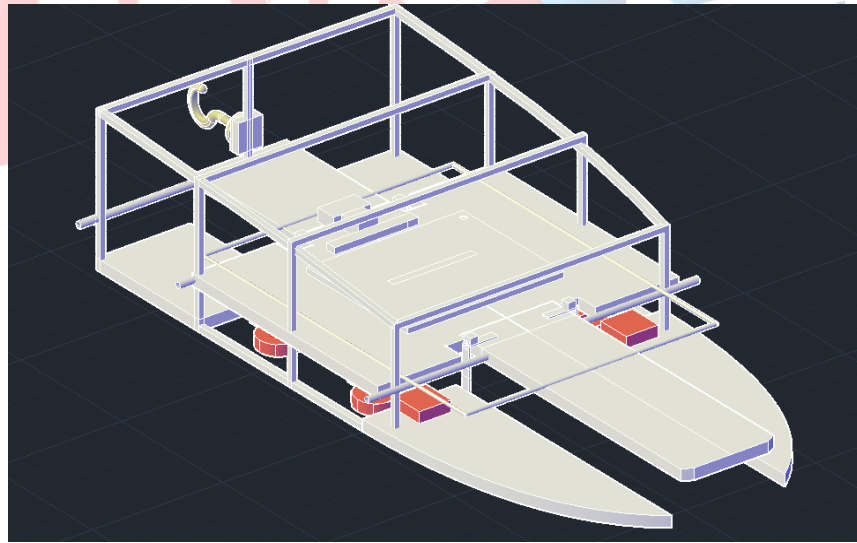
### 1.2.3. Levitasyon Sistemi

Aracımızda bulunacak manyetik levitasyon sistemi basitçe bir dizi levitron ve levitron içinde bulunan bir elektromıknatis ile çalışan Maglev Sistemi olarak adlandırılan bir tür kaldırma sistemidir.



**Şekil 6: Levitasyon sisteminin konumlandırılması**

Levitasyon sistemi basitçe orta geri konumda konumlandırılmış ağırlık merkezine ve modüle yakın tutulmuştur. Şasinin alt bölümüne monte edilmiştir ve sıvı soğutma sisteminin altında konumlandırılmıştır.

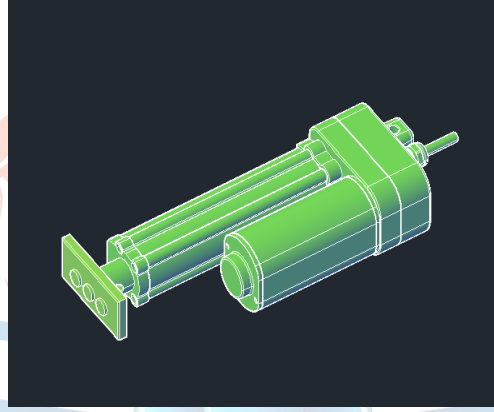


**Şekil 7: Levitasyon sisteminin şasi üzerindeki görünümü**



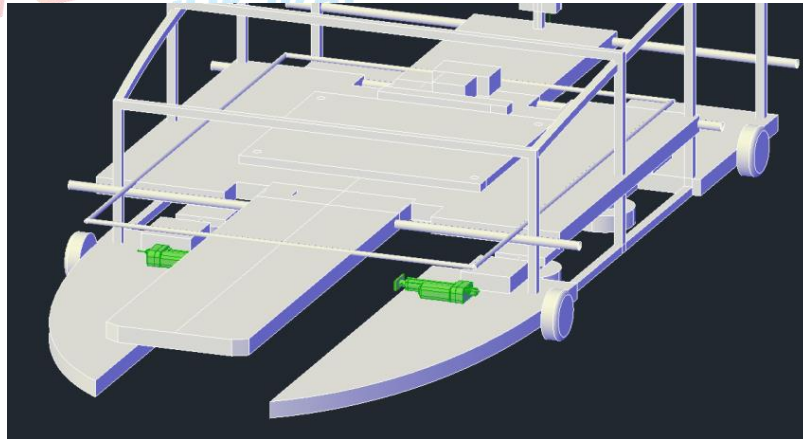
### 1.2.4 Fren Sistemi

Fren sistemi, rayı sağ ve soldan simetrik bir biçimde ve şartname tarafından sınırlandırılmış bir alanda sıkıştırmak üzerine kurulmuştur. Basitçe 2 adet alüminyum kol, kolları çeviren iki adet torku yüksek servo motor ve alüminyum kolun ucunda bulunan iki adet fren podundan oluşan fren sistemi servo motorun kolu çevirmesi ve rayı sıkıştırması üzerine kurulmuş basit bir sistemdir. Yüksek ısıya karşı olan dayanıklılığı ve frenleme sırasında daha düşük ısı ürettiği göz önüne alınarak seramik karbon tipi bir fren pabucu kullanılmasına karar verilmiştir.



**Şekil 8: Fren sistemine ait tek bir kolun çalışma prensibi**

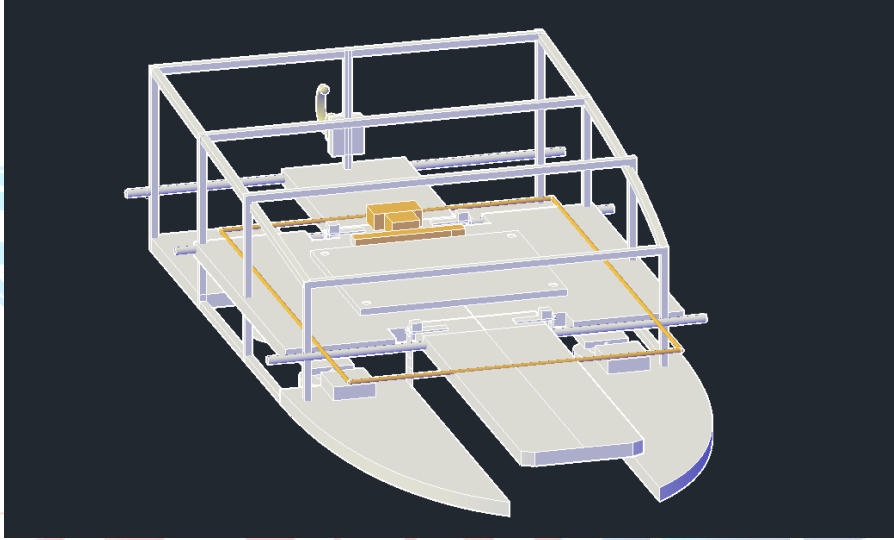
Fren sistemi üst şasiye, sıvı soğutma sisteminin ortasına, levitasyon sisteminin yanıl eksenine ve ağırlık merkezine simetrik olarak uzanmış iki parça üzerinde konumlandırılmıştır. Bu konumlandırmada maksimum verim ile aracı durdurmak hedeflenmiştir.



**Şekil 9: Fren sisteminin şasi üzerindeki konumu**

### 1.2.5 Sıvı Soğutma Sistemi

Sıvı soğutma sistemi levitasyon ve itki sisteminin üreteceği kuvvetin sürüklenme, sarsım ve sürtünme gibi kuvvetler ile karşılaştığında oluşturacağı ısının sensörlerin ve onlara bağlı sistemlerin oluşan bu ısıdan etkilenmemesi ve stabil bir şekilde çalışmaya devam edebilmesi için oluşturulmuştur. Bu sebeple itki, fren, levitasyon sistemlerini ve ağ erişim modülünü içine alacak şekilde şasiyi sarmıştır. Bir su deposu, dc su pompası, radyatör ve tüplerden oluşan bu sistem ısı sensörümüz SH-35 ile birlikte hareket etmektedir.



**Şekil 10: Sıvı soğutma sisteminin araç üzerinde konumlandırılması**

### 1.3 Şase ve Kabuk ile İlgili Yapılan Çalışmalar

#### 1.3.4 Kabuk Tasarımı

Her bileşende olduğu gibi gövde de kendi sınıfına ait geometrik parametrelendirme sürecinde önceki çalışmaların deneyim ve sonuçlarından oluşmuş bir temel geometri ölçeklendirmesine tâbi tutulur. Bizim aracımızda tercih ettiğimiz referans geometri ise tren aerodinamiği camiasında büyük çapta kabul görmüş, ikinci seri Alman hızlı trenlerinden olan 808 sınıf ICE-2'nin genelleştirilmiş bir modeli olan Aerodinamik Tren Modeli (ATM)'dir. Bu modelde ana amaçlardan biri tüm optimal adayları silindirik bir gövdeye bağlayarak tren gövdesinin enine kesitini tüm geometriler için sabit tutmaktır. Referans aldığımız geometri ile temel farkımız ise kapsülümüzde herhangi bir kuyruk buldurmamamızdır. Ana parametreler referans geometri doğrultusunda şekillense de ürettiğimiz kabuk tasarımı tamamı ile özgündür ve bize aittir.



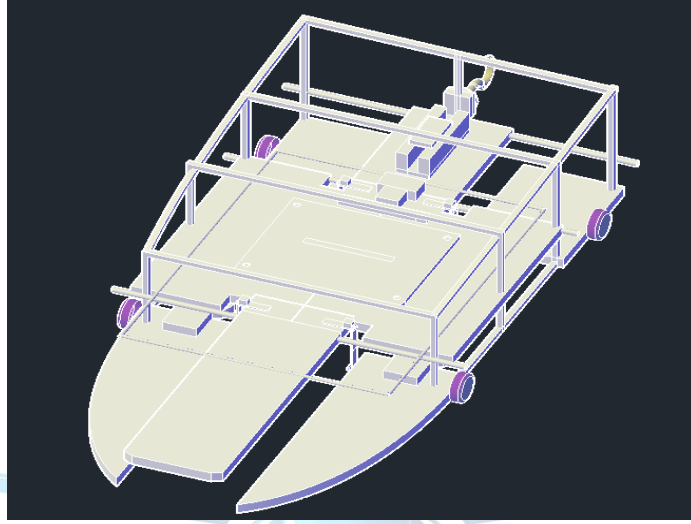
**Şekil 11: Kabuğun çok yüzlü geometrik tasarımı**

#### 1.3.4 Burun Parametrelendirilmesi

Ön rüzgâr dikkate alındığında sürüklenme katsayısında önemli farklılıkların gözlemlenebileceği burun uzunluğunun maksimum değeri, tren genişliğinin iki katıyla sınırlandırılmıştır. ATM geometrisinin temel özelliği sahip olduğu karakteristik burun ve silindirik gövdesidir. Tasarımı oluştururken bu gövde tipini referans almamızın ana nedeni ise teknik aksam için sunduğu geniş alan ve yarışma standartlarına uygun boyutlandırmaya olan yatkınlığıdır. Burun parametrelendirilmesinde **Bézier Kıvrımları** kullanılmıştır.

### 1.3.5 Kapsülün Çalışmadığı Durumlarda Hareketliliği

Kapsülümüz alt şasisine bağlı 4 adet teker içerir ve bu tekerler levitasyon sisteminin çalışmadığı durumlarda da hareket edebilir özelliğe sahiptir.



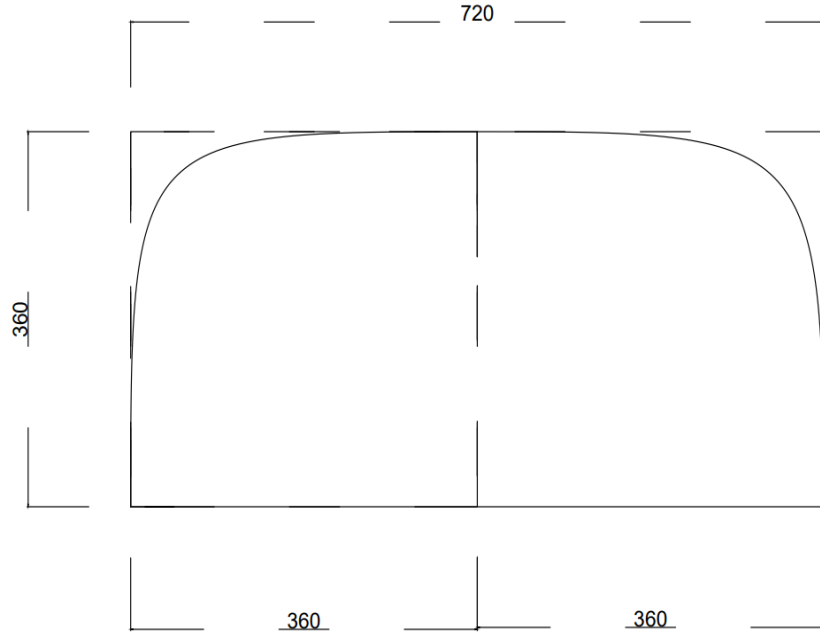
**Şekil 12: Tekerlerin şasi üzerindeki konumlandırılması**



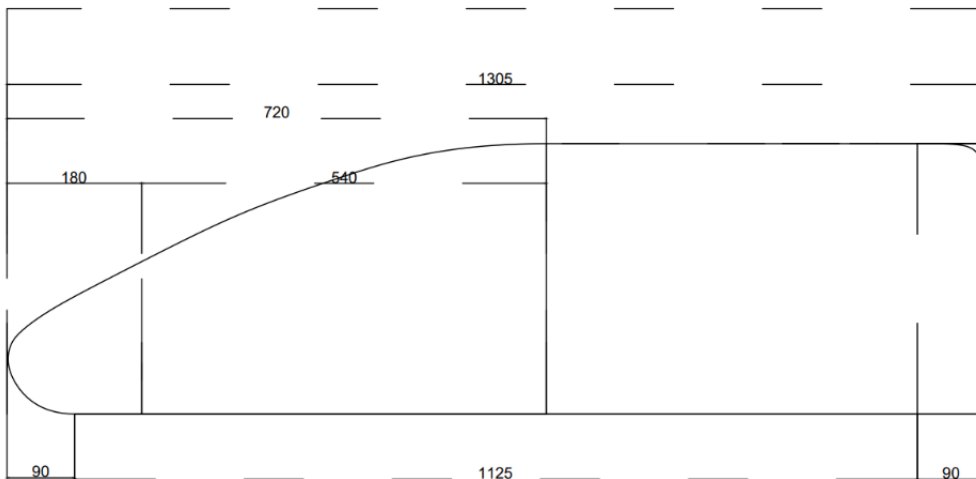
## 1.4 Kapsül Boyutları

### 1.4.1 Kapsül Boyutlarının Teknik Olarak Gösterimi

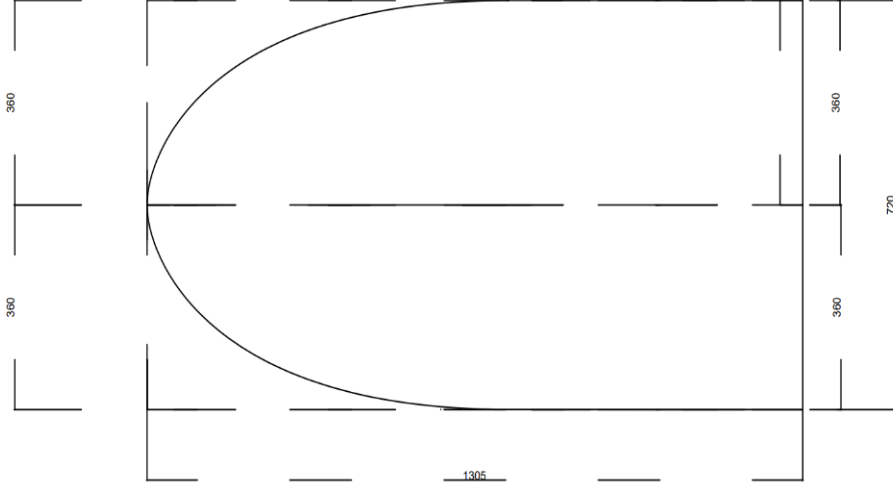
Kapsülümüz 1355 mm uzunluğa, 720 mm genişliğe ve 360 yüksekliğe sahiptir ve teknik çizimleri şu şekildedir:



**Şekil 13: Kapsülün ön profilinin CAD çizimleri**



**Şekil 14: Kapsülün yan profilinin CAD çizimleri**



**Şekil 15: Kapsülün üst profilinin CAD çizimleri**



#### 1.4.2 Kapsülün Tünel İçinde Konumlandırılması

Aracımıza ait kapsül tünel duvarlarından 64.2, yasaklı bölgeden ise 24.2 mm uzakta bulunmaktadır.

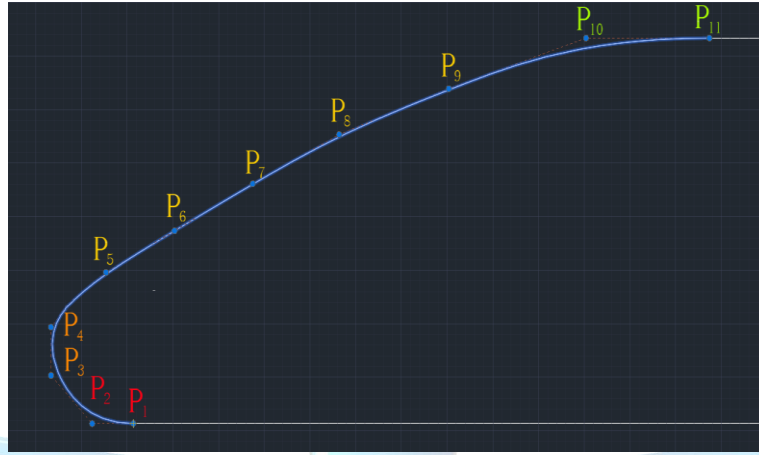


**Şekil 16: Kapsülün tünel içinde konumlandırılması**

**Şekil 17: Kapsülün yasaklı bölge ile olan gösterimi**

## 1.5 Kapsül Geometrisinin Aerodinamik Yapısı

Dışbükey eğrileri için kullanılan Bézier kontrol poligonu ATM geometrisi temelinde olduğu gibi karakteristik bir burun elde etmek için kullanılmıştır. Basitçe 11 noktadan oluşan ve burnun yan profilinin parametrelendirilmesi için kullanılan bu kontrol poligonu 11 noktadan oluşur.



**Şekil 18: Yan profil için kullanılmış 11'li kontrol poligonu**

Profil gözüktüğü üzere 3 adet (kırmızı, turuncu ve yeşil ile gösterilen bölge) düzlemsel kontrol bölgesi ve bir adet bükülme bölgesinden oluşur.

İlk kısım (kırmızı ile gösterilen bölge) gövde altını zemin ile birleştirmek için oluşturulmuş iki adet ( $p_1$ ,  $p_2$ ) noktadan oluşan alt gövde düzlemsel gövde bölgesidir. Bu bölge burun ile silindirik gövdenin bütünlüğünü korumaktadır.

İkinci kısım (turuncu ile gösterilen bölge) ise düşey iki noktadan ( $p_3$ ,  $p_4$ ) oluşmuş ve sürüklenme katsayısını düşürmek için eklenmiş burun kontrol bölgesidir. Bu bölgenin varlığı yan profilin keskin yapısını kırarak sürüklenme katsayısını düşürmeyi amaçlamıştır.

Üçüncü kısım (sarı ile gösterilen bölge) ise burnun karakteristik görünümünü oluşturan 5 noktadan ( $p_5$ ,  $p_6$ ,  $p_7$ ,  $p_8$ ,  $p_9$ ) oluşmuş ve bu kısım ile sürüklenme katsayısını düşürme, burnun silindirik gövde ile bağlantısını ve gövdenin aerodinamik yapısını güçlendirme amaçlanmıştır.

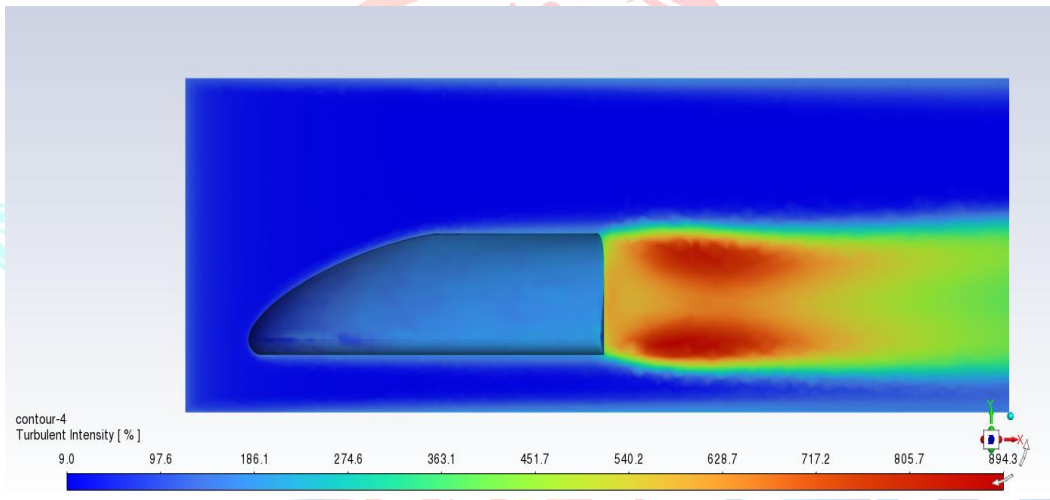
Dördüncü ve son kısım (yeşil ile gösterilen kısım) ise burnu tıpkı ilk profilde olduğu gibi üst gövde ile birleştirmek için oluşturulmuş iki adet noktadan ( $p_{10}$ ,  $p_{11}$ ) oluşmuş, burun ile silindirik gövdenin bütünlüğünü korumayı amaçlamış düzlemsel bölgedir.



### 1.5.1 Türbülans Modeli

Hyperloop Geliştirme Yarışmasında aracın hızı incelenirken, yüksek hızda hava akışının etkilerini dikkate almasını gerektirir. Bu nedenle Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) MODELİ seçtiğimiz türbülans modelidir.

Bu modeli kullanırken ona yardımcı olarak kullandığımız parametre ise türbülans yoğunluğu ve viskozite oranıdır (IVR). IVR türbülansın viskozite etkileriyle nasıl etkileştiğini ölçen bir parametredir ve hava akışının hız değişimleri ile viskozite etkileri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılır. Ayrıca bu parametre, hava akışının türbülans özelliklerini tanımlamak için kullanılan bizim kullandığımız model RANS gibi diğer modellerle birlikte de kullanılabilir.



şekil 19: IVR analizi

### 1.5.2 Sürüklenme ve Kaldırma Kuvveti

Aracımız k-Omega( $\Omega$ ) SST modeline göre tünel içi baz alınarak 100 km/h koşulunda birçok CFD analize sokulmuş, sürüklenme ve kaldırma kuvveti bu testler sonucunda hesaplanmıştır.

drag	
	Cd
hypersonic	101.72209
force	
	Force [N]
hypersonic	62.304781

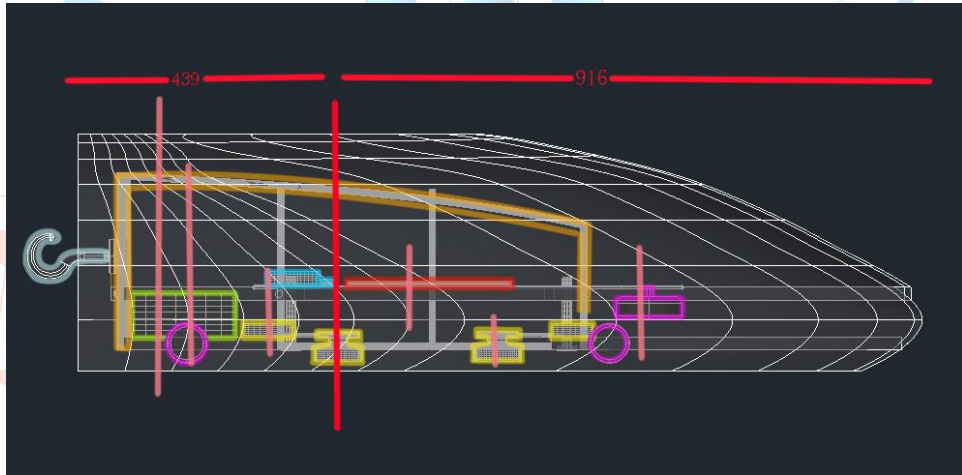
şekil 20: CFD analizler sonucu hesaplanan sürüklenme ve kaldırma kuvveti

## 1.6 Kapsül Ağırlığı

Sistemler	Ağırlık
Kabuk	9 kg
Şasi	12 kg
Levitasyon Sistemi	12 kg
İtki Sistemi	16 kg
Fren Sistemi	16 kg
Sıvı Soğutma Sistemi	8 kg
Batarya	25 kg
Devre Elemanları ve Kablaj	8 kg
Toplam	106 kg

### 1.6.1 Kapsül Ağırlık Merkezi

Aracımızın geometrik yöntem kullanılarak hesaplanmış tahmini ağırlık merkezi sistemlerin simetrik olmasından kaynaklı olarak yatay merkez üzerinde, yan yüz üzerinde ise bileşen ağırlığı ile yapılan çizgi metodu hesaba göre burundan yaklaşık 916 mm uzakta yer almaktadır.



**Şekil 21: Tahmini ağırlık merkezi**

Tahmini ağırlık merkezinin levitasyon sistemi ve itki sisteminin ağırlık merkezlerine yakın olması ayrıca itki sistemine bağlı olan tekerlerin ortasında kalması aracın dengesi ve performansı açısından büyük bir avantajdır. Silindirik gövde kısmında bulunması da yerleşim planını olumlu etkilemektedir.

## 1.7 Kapsül Malzemeleri

Aracımız için kabukta karbon fiber ve epoksi levha, şaside çelik ve karbon çeliğini tercih etmemizin sebebi bu materyallerin yüksek mukavemet, düşük ağırlık, yüksek dayanıklılık ve diğer avantajlara sahip olmasıdır.

### 1.7.1 Kabuk İçin Kullanılacak Olan Malzemeler

Karbon fiber, aracımız için en uygun maddelerden biridir. Çünkü yüksek mukavemetli ve aynı zamanda hafif olması sayesinde, trenin hızını arttırmak için daha az güç gerektirir. Ayrıca, korozyona dayanıklılık ve uzun ömürlülük de diğer avantajları arasındadır. Bu malzeme özellikle aracımızın güvenliğini arttırmak için de kullanılır çünkü yüksek mukavemetli bir yapıya sahip olması nedeniyle aracın yüksek stres altında da şeklini koruyabilmesini sağlar.

Epoksi levha, süper hızlı trenler için de idealdir çünkü yüksek mukavemetli ve aynı zamanda dayanıklı olduğu için, trenin hızına maruz kalan yerlere uygulandığında, trenin güvenliğini arttırmak için daha az güç gerekir. Ayrıca, suya ve çeşitli ortam koşullarına dayanıklılık ve uzun ömürlülük de diğer avantajları arasındadır. Bu malzeme özellikle trenin güvenliğini arttırmak için kullanılır çünkü güçlü bir yapıya sahip olması nedeniyle, trenin hızına maruz kalan yerlere uygulandığında, trenin güvenliğini arttırmak için daha az güç gerekir.

### 1.7.2 Şasi İçin Kullanılacak Malzemeler

Çelik, aracımızın şasisi için tercih ettiğimiz iki malzemeden biridir çünkü yüksek mukavemetli ve dayanıklı olması nedeniyle, trenin hızına maruz kalan yerlere uygulandığında, trenin güvenliğini arttırmak için daha az güç gerekir. Ayrıca, üretim maliyeti düşük ve ulaşılabilir olması nedeniyle, maliyet açısından da avantajlıdır.

Karbon çelik, süper hızlı trenler için tercih edilir çünkü yüksek mukavemetli ve dayanıklı olması nedeniyle, trenin hızına maruz kalan yerlere uygulandığında, trenin güvenliğini arttırmak için daha az güç gerekir. Ayrıca, düşük ağırlığı nedeniyle, trenin hızını arttırmak için daha az enerji gerekir. Bu malzeme özellikle yüksek hızda hareket eden trenler için önerilir çünkü yüksek hızda hareket eden trenler için gerekli olan yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı sağlar.

Ayrıca, karbon çelik malzeme üretim maliyeti düşüktür ve üretiminde çevre dostudur. Bu malzeme, korozyona ve çeşitli ortam koşullarına dayanıklı olduğu için uzun ömürlülük de sağlar.

## 1.8 Yapısal Analizler

Daha önce de belirtildiği üzere Aracımız k-Omega( $\Omega$ ) SST türbülans modeline göre tünel içi baz alınarak 100 km/h koşulunda birçok CFD analize sokulmuştur. Bu analizlerin tüm girdi çıktı değerleri analizlerin açıklandığı bölümde detayları ile birlikte verilecektir.



## 2. Kapsül Güç Tüketimi ve Enerji Kaynakları

### 2.1 Kapsül Güç Tüketimi

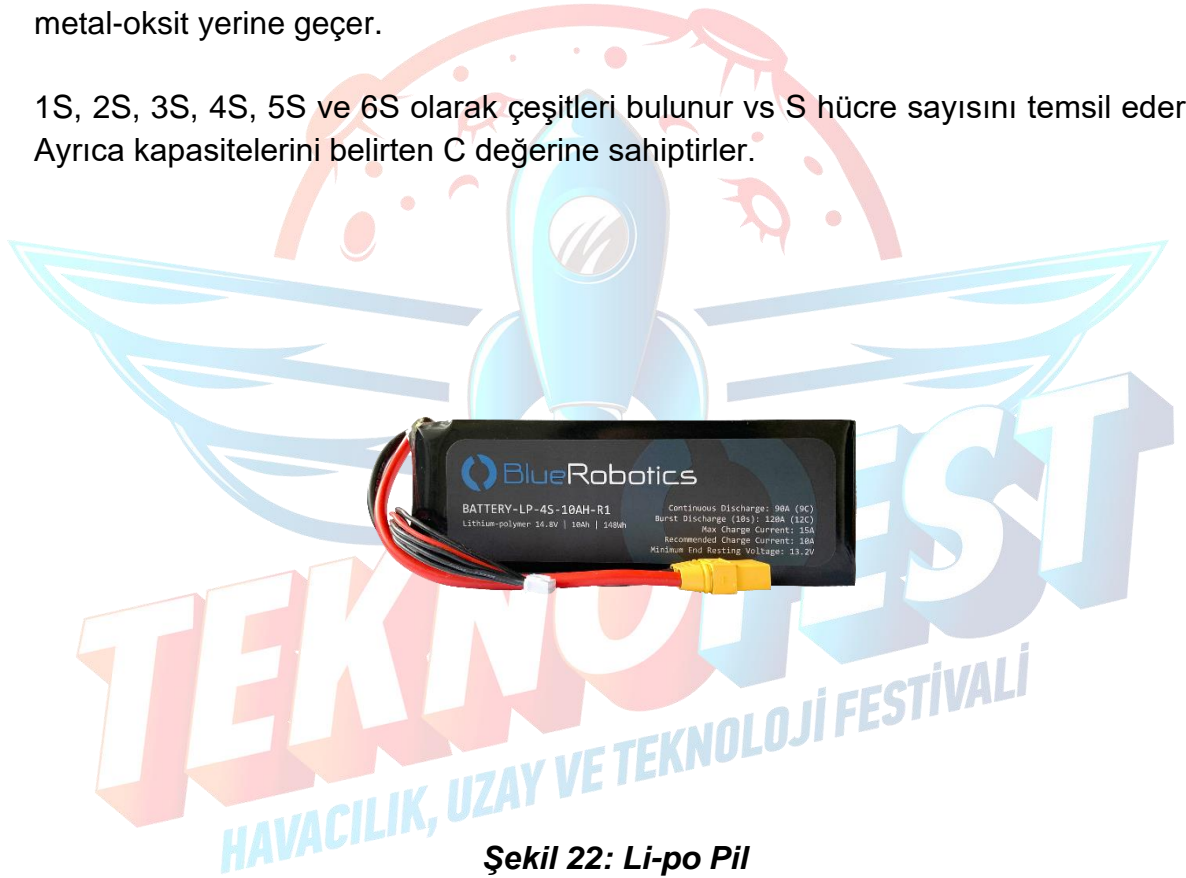
	Maksimum güç [W]	Ortalama güç [W]	Toplam enerji [Wh]
Fırçasız DC Motor	11000 W	9450 W	
STM32F407G – DISC1	0.5 W	0.3 W	
US1881 Hall Effect Sensörü <b>x6</b>	0.96 W	0.42 W	
10 DOF MEMS IMU Sensör	0.5 W	0.40 W	
APDS-9960 Hareket ve Renk Sensörü <b>x2</b>	0.5 W	0.45 W	
TF03 LIDAR Sensörü	0.9 W	< 0.9 W	
SHT35 Sıcaklık ve Nem Sensörü	0.5 W	0.35 W	
Raspberry Pi 4 – 4 GB	15 W	< 15 W	
Arduino Mega 2560 – R3 Klon	1.25 W	$\cong$ 0.5 W	
MCP2515 CANBUS-SPI Modülü <b>x4</b>	0.4 W	0.4 W	
<b>Toplam</b>	11020.51 W	9468.72	

**HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALI**

Kapsül için kullanılacak olan enerji kaynağı tamamen Lityum Polimer pillerden oluşmaktadır.

Li-Po piller hücrelerden oluşurlar, buna bağlı olarak; tipik bir hücrenin dört ana bileşeni vardır: pozitif elektrot, negatif elektrot, ayırıcı ve elektrolit. Ayırıcının kendisi, polietilen (PE) veya polipropilen (PP) gibi mikro gözenekli bir film gibi bir polimer olabilir; Bu nedenle, hücrenin sıvı elektroliti bulunduğu zaman bile, yine de bir "polimer" bileşeni ihtiva edecektir. Buna ek olarak, pozitif elektrot üç bölüm halinde daha ayrışabilir: lityum-geçiş-metal-oksid ( $\text{LiCoO}_2$  veya  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  gibi), iletken bir katkı maddesi ve poli (viniliden florid) (PVdF) bir polimer bağlayıcısı. Negatif elektrot malzemesi aynı üç parçaya sahip olabilir, ancak karbon lityum-metal-oksid yerine geçer.

1S, 2S, 3S, 4S, 5S ve 6S olarak çeşitleri bulunur vs S hücre sayısını temsil eder. Ayrıca kapasitelerini belirten C değerine sahiptirler.



**Şekil 22: Li-po Pil**

Aşağıda gösterilen özellikler li-po ortalama kullanılan li-po pillerin performansını ortaya koymaktadır:

S/N	İncelenen başlık	Standard Hal	Test Aşaması
1	Yüksek sıcaklık	Herhangi bir deformasyon, pas veya aşınma, alev alma veya patlama yok; Deşarj süresi $\geq 100$ dk, 0.5C <sub>5</sub> A'lık deşarj ile	Bataryayı tam bir dolum ardından $55 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik bir çevrede 2 saat boyunca tutunuz, ardından 0.5C <sub>5</sub> A'lık bir akım ile kesim voltajına kadar kullanınız.
2	Düşük sıcaklık	Herhangi bir deformasyon, pas veya aşınma, alev alma veya patlama yok; Deşarj süresi $\geq 3$ saat, $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık altında 0.2C <sub>5</sub> A'lık bir akım ile	Bataryayı tam bir dolum ardından, $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik bir çevrede 16-24 saat boyunca tutunuz, ardından 0.2C <sub>5</sub> A'lık akım ile kesim voltajına kadar boşaltınız. Ardından bataryayı $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik bir ortamda 2 saat kadar inceleyiniz.
		Herhangi bir deformasyon, pas veya aşınma, alev alma veya patlama yok; Deşarj süresi $\geq 3.5$ saat, 0.2C <sub>5</sub> A akım ve $-10 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık altında	Bataryayı tam bir dolum ardından, $-10 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik bir çevrede 16-24 saat boyunca tutunuz, ardından 0.2C <sub>5</sub> A'lık akım ile kesim voltajına kadar boşaltınız. Ardından bataryayı $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik bir ortamda 2 saat kadar inceleyiniz.
3	Kapasite tutma	Deşarj süresi $\geq 4.25$ sa	Bataryayı tam bir dolum ardından, $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de 28 gün boyunca saklayınız, ardından 0.5C <sub>5</sub> A'lık bir akım ile kesim voltajına kadar kullanınız



4	Stabil nem ve ısı	Herhangi bir deformasyon, aşınma, alev alma, duman veya patlama yok. Deşarj süresi $\geq 36$ dk	Tamamen şarj olduktan sonra, pili 48 saat boyunca $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve %90 - %95 Bağıl nem ortamına yerleştirin, ardından 2 saat boyunca $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de tutun, daha sonra voltajı kesmek için 1C5A ile boşaltın.
5	Vibrasyon	Herhangi bir deformasyon, aşınma, duman veya patlama yok. Pil gerilimi $\geq 3.6\text{V}$	Piller, 0,38 mm (10~55 Hz) genlik ve dakikada 1 okt tarama aralığı ile X, Y, Z'nin karşılıklı üç dik yönünde 30 dakika titreştirilir.
6	Şok	Herhangi bir deformasyon, duman veya patlama yok. Pil gerilimi $\geq 3.6\text{V}$	Titreşim testi sona erdiğinde, pili karşılıklı olarak üç dikey eksen olan X.Y.Z yönlerine yerleştirin ve darbe tepe ivmesini $100\text{m/s}^2$ olarak ayarlayın. Ardından pili dakikada 40 ~ 80 frekansla şoklayın. Darbe süresi 16ms, Şok süreleri: $2000 \pm 10$ .
7	Serbest düşüş	Herhangi bir alev alma, patlama veya sızıntı yok, ancak küçük deformeler söz konusu. Deşarj süresi $\geq 100\text{dk}$ , 0.5C <sub>5</sub> A kullanımda	Şok testinden sonra piller 2000 mm yükseklikten 18-20 mm sert ağaç üzerine X, Y, Z pozitif ve negatif 6 yönüne göre düşürülür. Her yön birer kez düşmelidir. Testten sonra, piller en az üç döngü boyunca şarj edilebilir ve boşaltılabilir.
8	Aşırı gerilime karşı koruma	Herhangi bir alev alma, patlama veya sızıntı yok.	Tamamen şarj olduktan sonra aküyü C.C/C.V kaynağı ile 8 saat şarj etmeye devam edin. Sabit voltaj kaynağı, nominal voltajın 2 katına ve sabit akım setlerine 2 C5A ayarlar.
9	Aşırı boşaltıma karşı koruma	Herhangi bir alev alma, duman, patlama veya sızıntı yok.	$20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de, akü deşarjını 0,2C5A ile kesme voltajına kadar boşaltın. Ardından aküyü 24 saat boyunca $30\Omega$ yük direnci ile sürekli olarak boşaltın.
10	Kısa devreye karşı koruma	Herhangi bir alev alma, duman, patlama veya sızıntı yok;  Bataryaların voltajı, ani yükleme sonrasında $N*3.6\text{V}$ 'dan daha düşük olmuyor.	Tamamen şarj olduktan sonra pozitif ve negatif elektrodu $0,1\Omega$ ile 1 saat süreyle kısa devre yapın. Pozitif ve negatif elektrodu kesin, ardından pili 5S için anında 0,5C 5A akım'da şarj edin.



11	Termal Şok	Herhangi bir alev veya patlama yok	Batarya, sirkülasyonlu bir hava fırınında dakikada $(5\pm 2)^{\circ}\text{C}$ hızla $130^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılıp ve ardından 30 dakika $130^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yerleştirilmelidir.
12	Aşırı yükleme	Herhangi bir alev veya patlama yok	Aküye bağlı termokupl'u havalandırmalı bir kabine yerleştirin, pozitif ve negatif CC/CV kaynağına bağlayın ve sabit akımı $3\text{C}_5\text{A}$ 'ya ve sabit voltajı $\text{N}^*10\text{V}$ 'a ayarlayın. Pili $\text{N}^*10\text{V}$ olarak şarj edin ve 0 A akım verin. Ardından sıcaklık değişikliklerini izleyin. Pilin sıcaklığı ise maksimumdan yaklaşık $10^{\circ}\text{C}$ daha düşer.
13	Kısa devre	Herhangi bir alev veya patlama yok. Bataryanın dış sıcaklığı $130^{\circ}\text{C}$ 'dan düşük değil.	Aküye bağlı termokupl'u havalandırmalı bir kabine yerleştirin, artı ve eksiye kısa devre yapın, ardından sıcaklık değişikliklerini izleyin. Eğer pilin sıcaklığı maksimum sıcaklığın yaklaşık $10^{\circ}\text{C}$ altına düşer, test bitmiş olur.
14	Çivileme	Herhangi bir alev veya patlama yok	Bataryayı çivileme test platformu üzerine yerleştirin. Ardından, 8mm'lik bird emir ucunu kullanarak bataryada delik açın. Son olarak, ağır bir çekiç kullanarak bataryada bir darbe uygulayın.
15	Devir ömrü	Devir ömrü $\geq 300$	$20\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık altında, bataryayı $0.5\ \text{C}_5\text{A}$ akım ve 4.2V gerilim ile, ardından ise tekrar sabit bir gerilim ile yükleyiniz, 20mA akımı geçmemelidir. Yükleme durdurunuz ve 0.5~1 saat kadar inceleyiniz. Ardından kesim voltajına kadar $1\ \text{C}_5\text{A}$ akım ile boşaltınız. 0.5~1 saat kadar inceleyiniz, ardından yük - boşalt döngüsünü devam ettiriniz. Sürekli 2 devir boşaltım süresi 48 dk olana kadar da durunuz.
16	Depolama	3 ay boyunca stokta kaldıktan sonra, tamamen yükleyin, ardından $0.2\ \text{C}_5\text{A}$ 'lık bir akım ile çalıştırın. Kullanım süresi 4 saatten aşağı olmamalıdır.	Pil depolama testi için seçilecek bataryanın, üretim tarihi ile testin olacağı tarih arasındaki zamanın 3 aydan düşük olması gerek. Depolamadan önce, pilin Kapasitesi %40 ile %50 civarında dolu dolu olmalı, ortam sıcaklığı $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nem ise 45%-85% aralığında olmalıdır. Depolama süresinin bitiminin ardından , pil tekrardan yüklenmeli ve boşaltılmalıdır.

Lityum polimer pillerin özellikle seçilmesinde:

- Uzun ömürlü olmaları [Yaklaşık olarak 5 yıllık ömürleri vardır, her yıl %20 - %30 arasında kapasitede iniş görülür.]
- Yüksek ölçüde güç sahibi olmaları
- Ve hafif olmaları
- Yüksek amper verebilmesi

Bu ve buna benzer özellikler vardır. Li-Po piller yaygın olarak RC araçlar ve robotik uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Ayrıca akıllı telefonlarda, laptoplarda da aynı şekilde içermektedir.

Değişik güçlerde ve değişik sayıda bu pillerden kullanacağız. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- 4 adet POWER-XTRA 22.2V 6S1P 5000 mAh (40C) Li-Polymer Pil
- 3 adet POWER-XTRA 11.1V 3S1P 2700 mAh (20C) Li-Polymer Pil
- 1 adet POWER-XTRA 7.4V 2S1P 3300 mAh (55C) Li-Polymer Pil

Bataryaların kullanım şekli aşağıdaki gibidir:

- İtki sistemi için kullanılacak olan lineer indüksiyon motoru istenilen hızlarda 9.45 kWh enerji kullanmaktadır. 4 adet POWER-XTRA 22.2V 6S1P 5000 mAh (40C) li-Polymer pili seri bağlayarak 88.8V 5000mAh pil elde edeceğiz.

$$9450 \text{ W} = 88.8\text{V} * (106.42\text{A})$$

Lineer indüksiyon motoru, yaklaşık olarak 106.4 A çekmektedir. Buda pilin yaklaşık 3 dakika boyunca çalışacağını gösterir.

$$5\text{Ah}/106.42\text{A} = 0.0470\text{h}$$

$$0.0470 \text{ saat} = 169.14 \text{ saniye}$$

- Levitasyon sistemi için kullanılacak olan drone motorları istenilen hızlarda 11.1V 17A çekmektedir. 4 adet motor olduğu için toplamda 68A çekecektir. 3 adet POWER-XTRA 11.1V 3S1P 2700 mAh (20C) li-Polymer pili paralel bağlayarak 11.1V 8100mAh pil elde edeceğiz.

$$8.1\text{Ah}/68\text{A} = 0.11911764705\text{h}$$

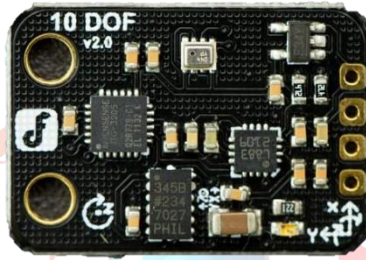
$$0.11911764705 \text{ saat} = 428.8 \text{ saniye}$$

Piller yaklaşık olarak 7 dakika boyunca çalışabilecektir.

- Trenin içinde bulunacak olan diğer elektronik parçalar için 1 adet POWER-XTRA 7.4V 2S1P 3300 mAh (55C) li-Polymer pil kullanmayı uygun bulduk. Bu parçalar kayda değer bir elektrik tüketimi yapmadığı için bu pil yarışma boyunca bu ekipmanları besleyebilir

### 3. Kapsül Navigasyon Sistemi ve Sensör Bilgileri

Navigasyon sistemi için iki farklı yöntem kullanarak takip etmeye çalışacağız. Bu iki farklı strateji için iki tür sensör kullanacağız: bir IMU sensörü ve bir Renk sensörü. Birincisi, atalet ölçüm birimi anlamına gelen IMU sensörü, bir aracın hızını, yönünü ve yerçekimi kuvvetlerini ölçmek ve raporlamak için ivmeölçerler, jiroskoplar ve manyetometrelerin bir kombinasyonunu kullanan elektronik bir cihazdır.



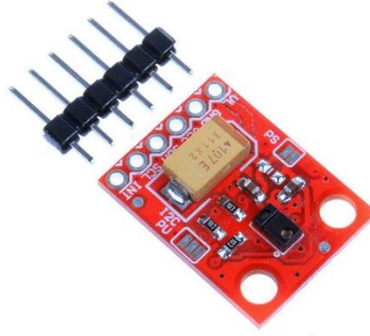
**Şekil 23: 10 DOF Mems IMU Sensörü**

DFRobot'un 10 DOF Mems IMU sensörü, kompakt ve uygun maliyetli bir IMU'dur. BMP280 barometrik basınç sensörü, ITG-3205 çayro, HMC5883L manyetometre ve ADXL345 ivmeölçeri entegre eder. Kontrol sistemlerinin çoğu, küçük boyutundan dolayı onu kullanabilir. Bağlantı delikleri, son derece hassas ve güvenilir sensör verilerinin iletilmesini sağlar. Çeşitli giriş gücü sağlamak için düşük gürültülü bir LDO regülatörü içerir.

10 DOF Mems IMU sensörün başlıca özellikleri şunlardır:

- Çalışma gerilimi: 3 ile 8 volt arasında geniş güç girişi aralığı
- Arduino ile kullanılabilir: 10 DOF Mems IMU, Arduino ile eşleştirildiğinde hareket ve hızı ölçmek için kullanılabilir.
- Küçük boyut: Kompakt boyutlu tasarım sahiptir ve kullanımı kolaydır.
- Sıcaklık ölçüm hassasiyeti: 0.01 ° C
- Barometre ölçüm aralığı: 300 - 1100hPa (-500m ila +9000m rakım arası ölçüm imkanı)
- Manyetometre çözünürlüğü: 14-Bit veya 16-Bit
- Manyetometre ölçüm aralığı:  $\pm 4800\mu T$
- İvmeölçer çözünürlüğü: 16-Bit
- İvmeölçer aralığı:  $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16g$

İkincisi, hareketleri tanıyabilen, ortam ışığını ve rengini ölçebilen ve yakınlığı algılayabilen bütünleşmiş APDS-9960 sensörüne sahip kompakt bir ara kartı olan RGB Renkli-Işık-Hareket Algılama modülü. Kullanıcılar bu RGB ve Hareket Sensörü ile bir bilgisayar, mikrodenetleyiciyi, robotu ve daha fazlasını çalıştırabilir. Yerleşik UV ve IR engelleme filtreleri, farklı yönlere duyarlı dört ayrı diyot ve I2C uyumlu bir arayüz ile APDS-9960, dikkate değer küçük bir donanım parçasıdır. Modül, her devreye kolayca entegre edilebilen kompakt boyutları sayesinde mikrodenetleyici, robotik projelerinizi ve Arduino projelerinizi el hareketleri ve yakınlık kullanarak çalıştırmak için mükemmel bir seçenek sunar.



**Şekil 24,,: APDS-9960 Renk Sensörü**

Bu sensör birçok niteliğe sahip olmasına ve veri toplayıp çeşitli şekillerde kullanabilmesine rağmen, yakınlık algılama özelliği ile ilgileniyoruz.

Sensör, yansıyan IR'yi kullanarak bir nesneye göreli mesafeyi ölçer. Küçük siyah kap hem fotodiyot dedektörlerini hem de IR verici LED'ini tutar. Yüzeye bağlı olarak, maksimum algılama aralığı yaklaşık 15,24 cm ve minimum algılama aralığı yaklaşık 2,54 cm'dir. Algılanan öge olmadığında sensör 255 veya buna çok yakın bir sayı döndürür. Bir öge tespit edildiğinde, okuma sensörden sıfıra (veya 2,54 cm) ulaşana kadar azalacaktır.

Bu sensör, arabanın veya robotun yolu takip etmesi için gerekli bilgileri sağlar ve aynı zamanda yolun durumunu da ölçer. Belirtilen yol ve duvar üzerindeki kırmızı ve sarı çizgileri algılar ve bu bilgiyi navigasyon sistemine iletir. Navigasyon sistemi bu bilgilere göre aracımızın konumunu belirlemek için kullanılmaktadır.

APDS-9960 Renk sensörün başlıca özellikleri şunlardır:

- Çalışma sıcaklığı: -30°C ile 85°C arası
- Çalışma gerilimi: 2.4 ile 3.6 volt arasında geniş güç girişi aralığı
- Küçük boyut: Kompakt boyutlu tasarım sahiptir ve kullanımı kolaydır.
- Algılama Mesafesi: 100mm
- İletişim Protokolü: I2C

APDS-9960 renk sensörünün durduğu veya bir süre çalışmadığı durumlarda ve hız ve konum tespiti için ivmeölçer özellikli 10 DOF Mems IMU sensörleri üzerinden mesafe hesaplamalarında sorun yaşandığında TF03 (ToF) Lazer Mesafesi İleride bahsedilecek olan sensör, navigasyon sisteminin kararlı bir şekilde çalışması için gereklidir ve gerekli verilerin elde edilmesinde kullanılıyor.

Navigasyon sisteminde kullanılan bir adet 10 DOF Mems IMU Sensörü ve iki adet APDS-9960 Renk Sensörü dışında, aracımızda altı adet US1881 Hall Effect Sensörü, dört adet Sht35 Sıcaklık Sensörü ve bir adet TF03 LIDAR Sensörü kullanıyoruz.

### 3.1.1 US1881 Hall Effect Sensörü

Hall Effect sensörü, manyetik alanın yönünü ve gücünü algılamak için kullanılan bir sensördür. Bu sensör, bir manyetik alanın yarı iletken bir malzemede indüklediği elektrik alanı izleyerek manyetik alanın varlığını ve yönünü belirlemesine olanak tanır. Arduino ile birlikte kullanılarak manyetik alanın varlığını ve yönünü hassas bir şekilde ölçmek için kullanılabilir, böylece manyetik alanın etkisini tespit eder.



**Şekil 25: US1881 Hall Effect Sensörü**

US1881 Hall Effect sensörün başlıca özellikleri şunlardır:

- Çalışma sıcaklığı: -40°C ile 150°C arası
- Çalışma gerilimi: 3.5 ile 24 volt arasında geniş güç girişi aralığı
- Küçük boyut: küçük bir boyuta sahiptir ve kullanımı kolaydır.
- Akım değeri: <5mA

### 3.1.2 SHT35 Sıcaklık Sensörü

SHT35 sıcaklık ve nem sensörü hem sıcaklığı hem de nemi ölçer. Nemi izlemek için SHT35 sensörü tarafından neme duyarlı bir polimer levha kullanılırken, sıcaklığı ölçmek için termistör tabanlı bir teknik kullanılır. Hava durumunu izlemek, evleri otomatikleştirmek ve nemli ortamlarda öğeleri kontrol etmek gibi çeşitli kullanımları vardır.



**Şekil 26: SHT35 Sıcaklık ve Nem Sensörü**

SHT35 Sıcaklık ve Nem sensörün başlıca özellikleri şunlardır:

- Nem ölçüm aralığı: %0 ~ 100 RH
- Nem ölçüm hassasiyeti:  $\pm$  %1 RH
- Çalışma sıcaklığı: -40°C ile 125°C arası
- Sıcaklık ölçüm hassasiyeti: SHT30 SHT31  $\pm$  0,3 °C SHT35  $\pm$  0,2 °C
- Çalışma gerilimi: 2.4 ile 5.5 volt arasında geniş güç girişi aralığı

### 3.1.3 TF03 LiDAR Sensörü

Benewake'in TF03 LiDAR sensörü, su geçirmez bir lazer tarayıcıdır. Bu sensör, mesafeleri lazer ışınlarıyla ölçer ve bu mesafeyi bir eşik değerine göre sınıflandırır. Benewake TF03 LIDAR sensörü, otomatik park etme, otomatik sürüş, navigasyon ve küresel konumlandırma sistemi dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için son derece işlevseldir. Ayrıca TF03 LiDER Lazer mesafe sensörü, endüstriyel güvenlik uyarısı, otonom ulaşım, araba çarpışmasını önleme ve drone arazi takibi için kullanılabilir. Hava şartlarına dayanıklılığı sayesinde açık havada da kullanılabilir.



**Şekil 27: Benewake TF03 (ToF) Lazer Mesafe Sensörü**

TF03 LiDAR sensörün başlıca özellikleri şunlardır:

- Ölçüm aralığı: 20 cm ile 50 m arası
- Ölçüm hassasiyeti: 2 mm
- Ölçüm hızı: 20000 tarama/saniye
- Ölçüm açısı: 360 derece
- Çalışma sıcaklığı: -20°C ile 60°C arası
- Güç tüketimi: 5 W
- Çalışma gerilimi: 5 V DC



## 4. Kapsül Levitasyon Sistemi

### 4.1 Sisteme Gelen Toplam Ağırlık

Sisteme gelen yük tablo da belirtildiği üzere şöyledir:

Sistemler	Ağırlık
Kabuk	9 kg
Şasi	12 kg
Levitasyon Sistemi	12 kg
İtki Sistemi	16 kg
Fren Sistemi	16 kg
Sıvı Soğutma Sistemi	8 kg
Batarya	25 kg
Devre Elemanları ve Kablo	8 kg
<b>Toplam</b>	<b>106 kg</b>

**Tablo 1: Sisteme ait bileşenlerin toplam ağırlık**

Sisteme gelecek toplam ağırlığın büyük bir kısmı batarya ve motorlardan oluşmaktadır.

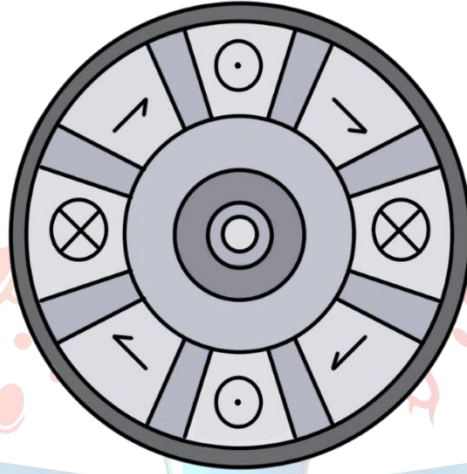
### 4.2 Seçilen Askılama Sistemi

Aracımızın levitasyon sistemi için seçilen askılama sistemi Dönen Halbach dizileridir. Döner halbach dizilerini seçmemizin başlıca nedenleri şu şekildedir:

- **Yüksek kaldırma kuvveti:** Halbach dizileri, bir tarafta diğerine kıyasla daha güçlü bir manyetik alan üretebilen benzersiz bir mıknatıs konfigürasyonuna sahiptir. Bu, yüksek hızlarda gitmesini planladığımız aracımız için önemli olan daha yüksek bir kaldırma kuvvetine izin verir.
- **Düşük güç tüketimi:** Halbach dizileri, geleneksel doğrusal dizilerden daha verimlidir ve daha az güç kullanarak aynı kaldırma kuvvetini üretebilirler.
- **Yüksek kararlılık:** Halbach dizileri, yüksek hızlarda bile istikrarlı bir kaldırma kuvveti üretebilir; bu, tutarlı bir kaldırma yüksekliğini koruması gereken aracımız için oldukça önemlidir.
- **Kompakt tasarımı:** Halbach dizileri, geleneksel doğrusal dizilerden daha kompakt olacak şekilde tasarlanabilir, bu da yerden tasarruf etmeye ve aracımızın genel boyutunu azaltmaya yardımcı olabilir.

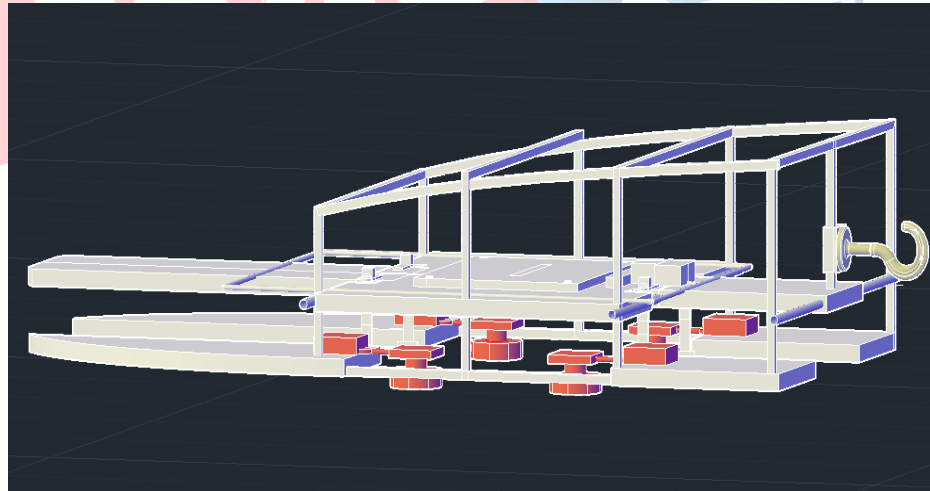


Bir döner halbacht dizisinde bulunan mıknatısların konumlandırılmasının ise birden fazla yolu vardır. Farklı dizim ve şekillerde konumlandırılabilen halbacht dizilerinde bizim seçtiğimiz dizim çemberseldir. Her dizimin manyetik alanı farklı konumla farklı şekillerde yönlendirdiği bu diziler içinden bizim seçtiğimiz dizi ise oluşturduğumuz şematikte görüldüğü üzere kvadrupol yapıdadır.



**Şekil 27: Mıknatısın kvadrupol yapısı**

Bu tip mıknatıslardan 4 adet bulunacak ve gövdenin arka orta kısmına yani ağırlık merkezine eş uzaklıklara dizilecektir.



**Şekil 28: Halbacht dizisinin konumlandırılması**

#### 4.3 Askılama Sisteminin Boyutlandırılması

Aracımız için tasarladığımız levitasyon sisteminde toplam kaldırma kuvveti ve kaldırma yüksekliği gibi nicelikler basitçe şöyle hesaplanabilir:

- Manyetik levitasyonda toplam kaldırma kuvveti, manyetik alan gücü ile yüzey alanı arasındaki çarpımı verir. Matematiksel olarak, toplam kaldırma kuvveti:

$$F = \frac{B^2 \times A \times \mu}{2\pi}$$

*F - Manyetik alanın oluşturacağı kaldırma kuvvetidir.*

*B - Dizinin oluşturacağı manyetik alandır.*

*A - Levitasyon yüzey alanıdır.*

*$\mu$  - Boşluk içi manyetik alan sabitidir ve 0.5 gauss olarak uygulanmıştır.*

- Kaldırma yüksekliği ise, levite edilen cismin ağırlığının kaldırma kuvveti tarafından karşılandığı yüksekliktir. Matematiksel olarak, kaldırma yüksekliği:

$$h = \frac{F}{m}$$

*h - Kaldırma yüksekliği.*

*F - Manyetik alanın oluşturacağı kaldırma kuvveti.*

*m - Levite edilecek cismin ağırlığı*

Döner Halbach dizilerinin oluşturduğu manyetik alan ise daha önce belirtildiği gibi Biot-savart yasasına göre hesaplanmış olup bu kanun ile ilgili faydalanılan iki eşitlik şu şekildedir:

$$B = \frac{F}{q \times V}$$

*B - Dizinin oluşturacağı manyetik alandır.*

*F - Manyetik alanın oluşturacağı kaldırma kuvvetidir.*

*q – Manyetik alana neden olan taneciğin kütesidir ve bu tanecik halbach dizilerinde elektron olup  $-1.602 \times 10^{-19}$  Coulombs sabit olarak alınır.*

*V – Döner halbach dizilerine ait hız.*

$$dB = \frac{\mu}{4\pi} \times \frac{(dI \times r)}{r^3}$$

*dB - Dizinin oluşturacağı diferansiyel manyetik alandır.*

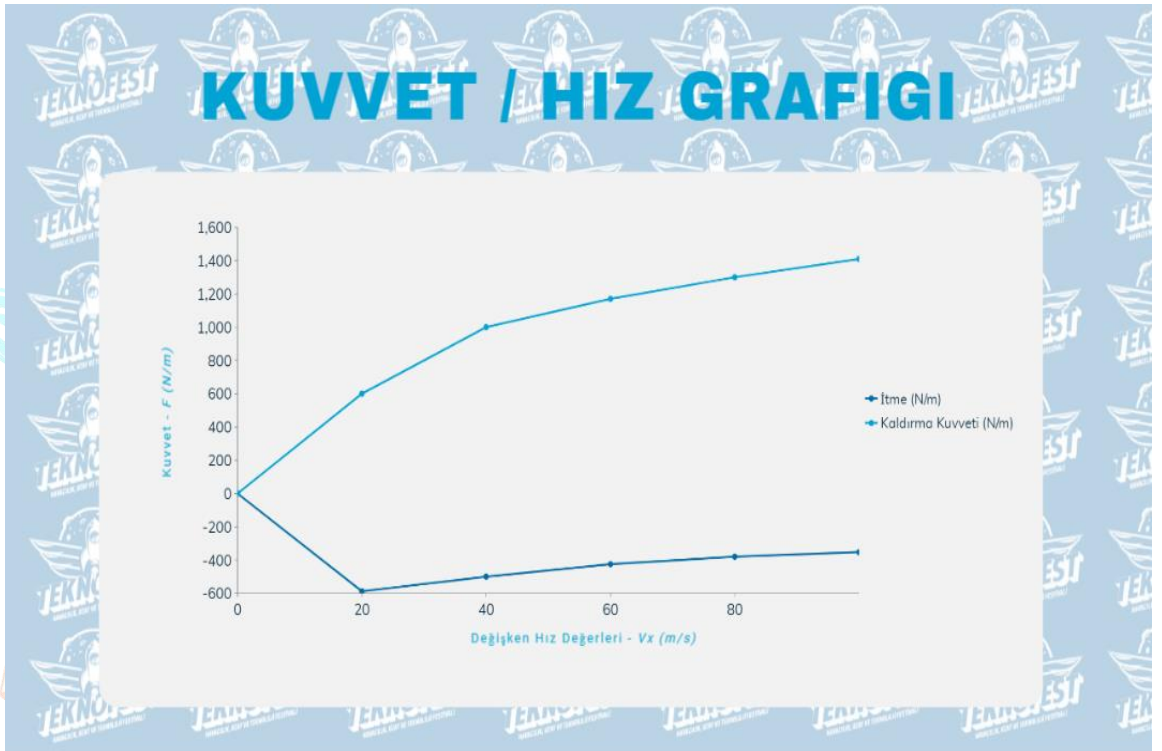
*dI - Sonsuz küçük akım elemanı, diferansiyel miktarda akım.*

*r – Halbach dizisinin yerleştiği kapsülün yarıçapı.*

*$\mu$  - Manyetik sabit veya vakum geçirgenliği,  $4\pi \times 10^{-7}$  Tm/A değerine sahip temel bir fiziksel sabit.*

Bizim kapsülümüzün tahmini ağırlığı 106 kilogramdır ve yerçekimi ivmesi olan 9.81 ile çarpıldığında yaklaşık 1042,86 N ağırlığındadır. Bu da kapsülü yerden kaldırmak için 4'lü döner halbach mıknatıslarının sadece birinin uygulaması gereken kuvvetin en az 260.715 N olduğunu gösterir. Aracı 6 cm yerden kaldırmak içinse ihtiyacımız olan kuvvet ise denklemde yerine koyduğumuzda 1055.82 N olarak belirlenmiştir.

Bu bilgiler ışığında döner halbach dizininin devir başına üreteceği kaldırma kuvveti hesaplanmış ve 1600 devir (80m/s) de üreteceği gücün yaklaşık 1410 N olduğu gözlemlenmiştir. Bu göre üretilen itme ve kaldırma kuvveti çizelgesi şu şekildedir:

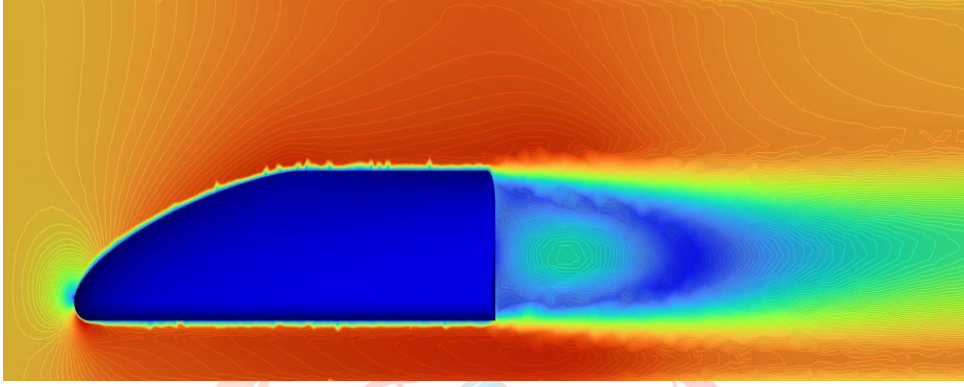


**Grafik 1: İtme ve kaldırma kuvvetinin hıza oranla ürettiği kuvvet**

Kullandığımız her dört döner halbach dizisinde 6 adet 20 x 20 x 20 mm uzunluğuna sahip küp şeklinde neodyum mıknatıslar kullanılmıştır. Yüksek çekim gücü dolayısıyla nikel kaplama mıknatıslar tercih edilmiştir ayrıca her mıknatıs yaklaşık 80 celcius sıcaklığa dayanıklıdır.

#### 4.4 Hesaplama ve Analizler

Sistemin basınçlı hava altındaki hareketleri, Navier-Stokes denklemleri gibi oldukça karmaşık olan ve sistem hakkında daha ayrıntılı bilgi gerektiren akışkanlar dinamiği denklemleri kullanılarak açıklanabilir.



**Şekil 29: Kapsüle ait RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) modeli analizi**

Halbach dizilerinin dönüşüyle yaratılan hava direnci ve türbülans, sistemin davranışını tahmin etmek için dikkate alınmalıdır.

120 kg kaldırma kapasitesine sahip dört adet dönen Halbach dizisine sahip bir manyetik kaldırma sistemi tasarlamak, kullanılan malzemelerin, güç kaynağının ve kontrol sisteminin ayrıntılı bir analizini gerektiren karmaşık bir işidir.

Sistem tarafından yayılan ısı, bobinlerin direnci, manyetik alanın gücü ve dizilerin dönmesini sağlamak için kullanılan güç miktarı gibi faktörlere bağlı olacaktır. Isıyı hesaplamak için bobinlerdeki akım ve voltajın yanı sıra kullanılan malzemelerin termal özelliklerini de hesaba katmak gerekir.

Sistemin toplam hızı, dizilerin dönme hızına, manyetik alanın gücüne ve havaya kaldırılan nesnenin kütlesine bağlı olacaktır. Hızı hesaplamak için kullanılan denklemler, elektromanyetik kuvvetleri, sistemdeki torku ve açısal momentumun korunumunu içerecektir.

Dönen Halbach dizilerine sahip bir manyetik kaldırma sistemi tarafından yayılan ısı, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$Q = I^2 \times R \times t$$

Q: Sistem tarafından üretilen ısı miktarı.

I: Dirençten geçen akım.

R: Sistemin direnci.

t: Akımın dirençten aktığı süre.

Sistemin toplam hızını hesaplamak için, havaya kaldırılan nesneye etki eden kuvvetleri dikkate almamız gerekir. Manyetik alan nedeniyle nesneye etki eden kuvvet, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$F = B \times I \times L$$

F: İletkenin maruz kaldığı kuvvet

B: Dizinin oluşturacağı manyetik alandır.

I: İletkenden geçen akım

L: İletkenin manyetik alana dik olan uzunluğu.

Halbach dizilerinin dönüşünü hesaba katmak için dizilerin açısal hızının manyetik alan üzerindeki etkisini dikkate almamız gerekir. Açısal hız aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$w = \frac{v}{r}$$

w: Döner halbach dizininin sahip olduğu açısal hız

v: Aracın sahip olduğu doğrusal hız

r: Dairesel dizinin yarıçapı

Açısal hız (w), açısal yer değiştirmenin değişim oranıdır ve doğrusal hızın (v) dairesel yolun yarıçapına (r) oranı olarak tanımlanır. Ayrıca  $w = 2\pi f$  ilişkisi ile birim zamandaki devir sayısı olan açısal frekans (f) ile de ilişkilidir.

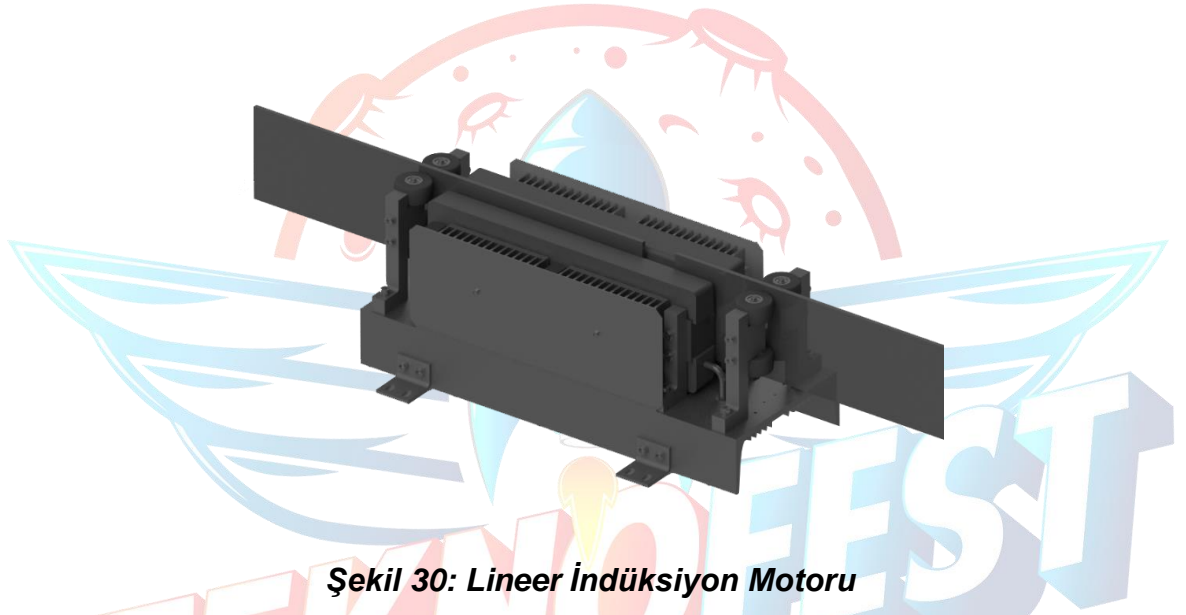
Bu formüller baz alındığında ve sıvı soğutma sistemimizin soğutma kapasitesi ile karşılaştırıldığında sistemin ortama vereceği ısı yaklaşık 2140 Joule'dür ve üzerinde bulunduğu şasinin orta plakasının yaklaşık 3 kg ve özgül ısısının 0.115 olduğu düşünülürse bu plakayı yaklaşık 6.2 celcius ısıtacağı anlamına gelmektedir. Kullanacağımız motorların ise verimi yaklaşık %84,4 olduğuna göre ısıya giden enerji kaybı ortamı yaklaşık 2.4 celcius ısıtıcaktır. Bu ise sıvı soğutma sistemi tarafından rahatlıkla tolere edilebilmektedir.

## 5. Kapsül İtki ve Stabilite Sistemi

İtki sisteminin temel amacı, manyetik levitasyon ile raylardan yükseltileen trenin belirli yöntemler kullanılarak ileri doğru ivmelendirme yapmasıdır.

### 5.1 Lineer indüksiyon motor ile itki sistemi

Açıklanan görevi en iyi şekilde yerine getirebilmek için kapsülümüzde 3 fazlı lineer indüksiyon motoru kullanılacaktır. Lineer indüksiyon motorlarında stator ve rotor kısımları düz bir hat üzerinde durmaktadır. Oluşan kuvvet de bu doğrultudadır ve rotor bu doğrultuda düz bir şekilde hareket eder.

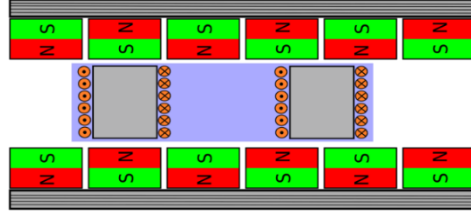


**Şekil 30: Lineer İndüksiyon Motoru**

Lineer motorların asıl amacı, akımın (I) manyetik akı yoğunluğu (B) ile etkileşime girerek kuvvet (F) oluşturmaktır. Bu prensip ise elektromanyetizmanın temel yasalarından biri olan Biot-Savart yasası ile açıklanır. Bu yasaya göre akım taşıyan bir iletken, akım yönüne dik manyetik alana yerleştirilirse, iletkene dikey yönde bir mekanik kuvvet uygulanmaktadır. Bu mekanik kuvvet ise aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F = I \times (L \times B)$$

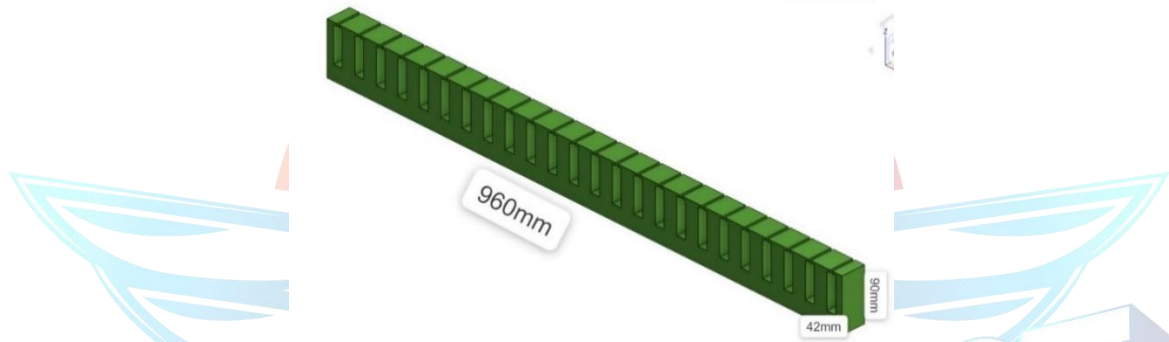
İndüksiyon tipi lineer motorlarda kuvvet, iletkenleri etkileyen hareketli doğrusal manyetik alan tarafından oluşturulur. Lenz Yasası'na göre de bu manyetik alana yerleştirilen bobinin, manyetik alanı yok etmek için karşıt manyetik alan üretmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, manyetik alana ters yönde etki etmesi için Eddy Akımları veya bir diğer ismiyle girdap akımları indüklenir böylece karşı manyetik alan yaratılacaktır. İki karşıt alan birbirini itecek ve bu şekilde itki sağlanacaktır.



**Şekil 31: Lineer İndüksiyon Motoru Çalışma Prensibi**

Hesaplanan doğrusal kuvvet 315 N ve kapsülün hız hedefi 30 m/s olduğundan, lineer indüksiyon motor için gerekli elektrik gücü aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$P = F \cdot V$$



**Şekil 3: Tasarlanan lineer indüksiyon motorunun teknik çizimi**

Lineer indüksiyon motorun ağırlığı 14 kilogram olarak hesaplanmıştır. Bu motoru besleyen bataryanın ağırlığı 4.7 kilogramdır. Böylece itki sisteminin toplam ağırlığı yaklaşık 18,7 kilogram olarak hesaplanmıştır.

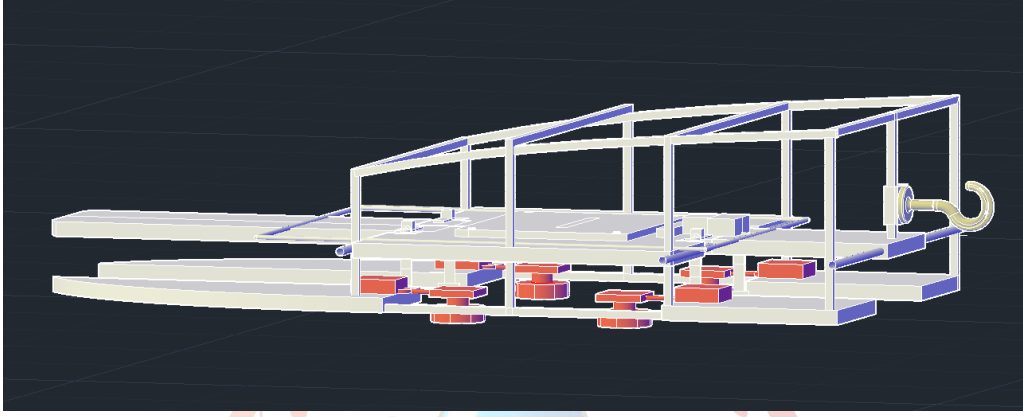
$$m = d \cdot V$$

ANSYS programı kullanılarak yapılan analizde hesaplanan ve elde edilen kuvvetlerde yaklaşık 40 N büyüklüğünde bir fark elde edilmiştir. Aradaki 40 N büyüklüğündeki fark ise ısıya dönüşmüştür.

Bu sebepten dolayı, lineer indüksiyon motorun çalışması esnasında motorun fazla ısınması ve kontrol edilmesi gereken bir durumda gerekli önlemler alınacaktır. Oluşabilecek bu durum için bir radyatör, su pompası, tüp sistemi ve ana soğutucu olarak gliserin kullanacağımız bir sıvı soğutma sistemi kullanılacaktır. Bunun sonucunda tahmini 8 derecelik bir soğutma sağlanmaktadır.

## 5.1 Manyetik levitasyon ile stabilite sistemi

Kapsülün stabilitesi için kullanılacak yöntemlerden biri manyetik levitasyondur. Manyetik levitasyonun kullanılacağı stabilite sisteminin tasarımı şekildeki gibidir. Manyetik levitasyon için ise döner bir Halbach dizisi kullanılacaktır.



**Şekil 32: Levitasyon sistemi ve Döner Halbach yapısı**

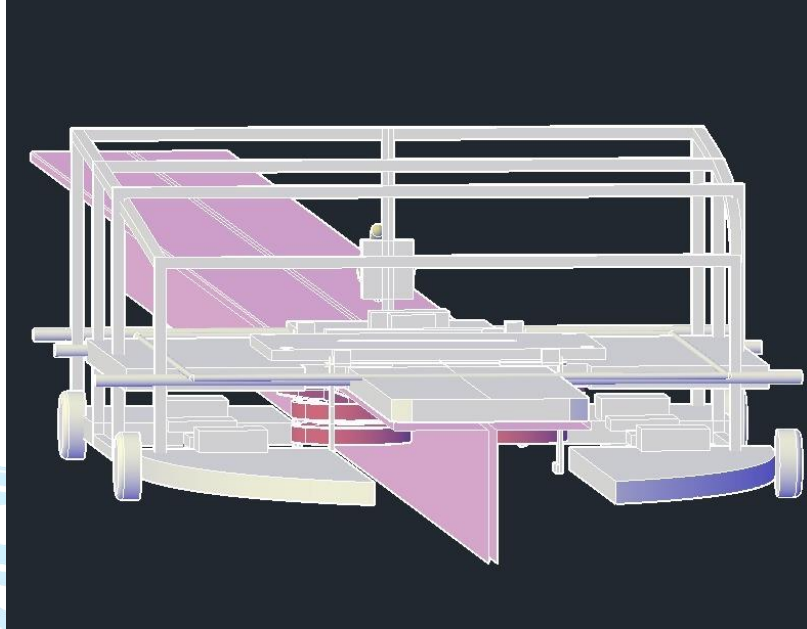
Döner bir Halbach dizisi, belirli bir yönde oldukça yoğun bir manyetik alan oluşturmak için kullanılabilen bir tür kalıcı mıknatıs konfigürasyonudur. Bu yapılandırmanın avantajları şunları içerir:

- Yüksek Manyetik Alan Yoğunluğu: Döner Halbach dizisi, geleneksel kalıcı mıknatıstan çok daha güçlü bir manyetik alan üretebilir.
- Yönlü Alan: Döner Halbach dizisi, manyetik alanı belirli bir yöne yönlendirebilir ve bu, manyetik kaldırma veya manyetik rezonans görüntüleme gibi uygulamalarda yararlı olabilir.
- Karşı Taraftaki Azaltılmış Alan: Döner Halbach dizisi, dizinin karşı tarafındaki manyetik alanı azaltabilir ve bu, bir tarafta güçlü bir manyetik alanın, ancak daha zayıf bir alanın gerekli olduğu manyetik rezonans görüntüleme gibi uygulamalarda faydalı olabilir.
- Düşük Bakım: Döner Halbach dizilerinde kullanılan kalıcı mıknatıslar bakım gerektirmez ve bir kez kurulduktan sonra mıknatıslanmalarını zamanla kaybetmezler.
- Uygun Maliyetli: Döner Halbach dizileri, yüksek güçlü bir manyetik alan gerektiren uygulamalar için uygun maliyetli bir çözüm olabilir.

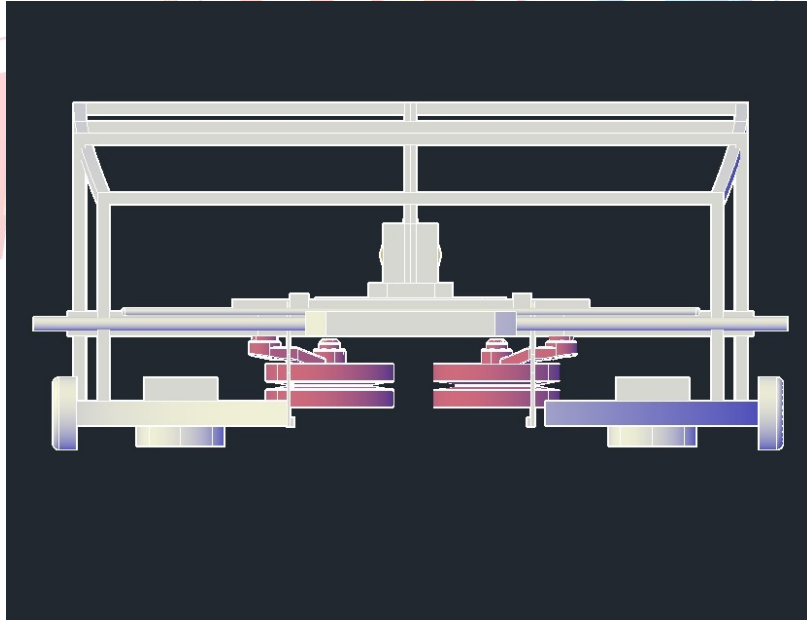


## 5.2 Tekerlek ile stabilite sistemi

Kapsülümüzün stabilitesi için kullanılacak bir diğer yöntem ise rayları iki yanından sıkıştıran şekil 2 ve şekil 3'teki gibi bir tekerlek sistemidir. Bu yöntem sayesinde ise kapsülün herhangi bir denge problemi olmayacak ve istenilen doğru hareketi sağlanmaya devam edecektir.



**Şekil 33: Rayların Tekerlek Yardımı ile Sıkıştırılmasının Tasarımı**



**Şekil 34: Rayların Tekerlek Yardımı ile Sıkıştırılmasının Tasarımı**

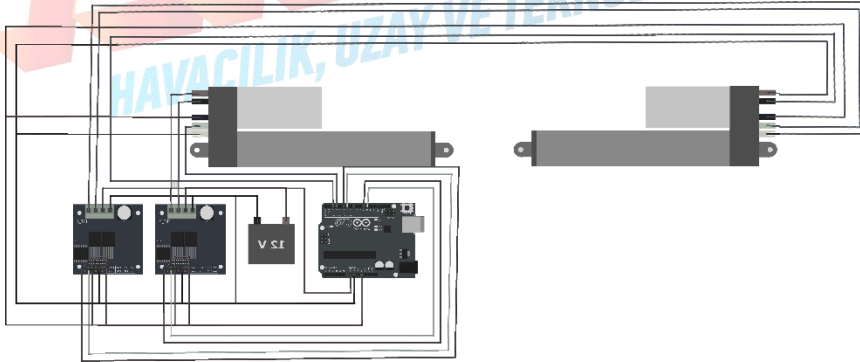
## 6. Kapsül Fren Sistemi ve Öngörülen Kapsül Hız Profili

Aracımız için tasarladığımız fren sistemi raydaki sıcaklığı arttırmayacak ama belirtilen bölgede istenilen şekilde frenleme yapacak şekilde tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici, kontrol kartı ve 12 voltluk bir güç kaynağına bağlı 2 adet simetrik lineer aktüatör ve 2 adet seramik karbon fren pabucundan meydana gelen, manyetik tahrik ile çalışan sistem rayı izin verilen bölgede sağ ve soldan sıkıştırarak aracı durdurmak üzerine kurulmuştur.



**Şekil 35: Fren sisteminin çalışma prensibi**

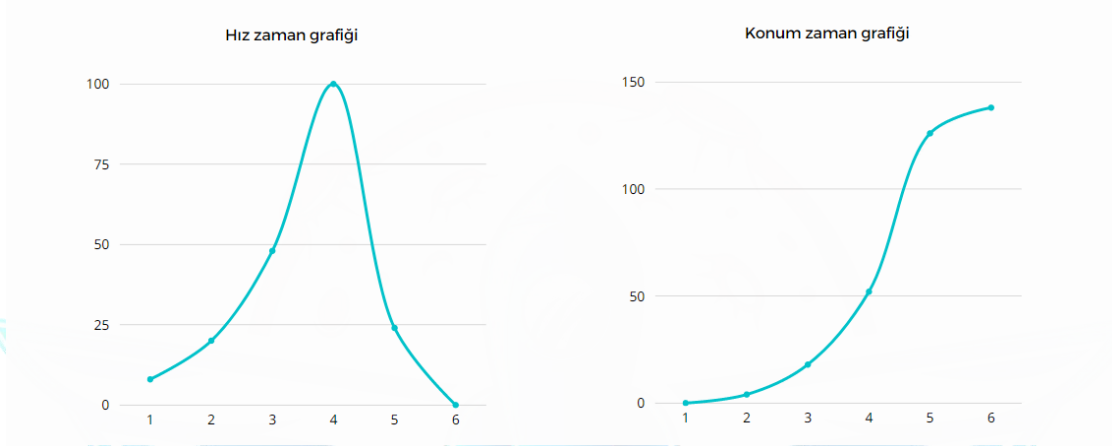
### 6.1 Manyetik hatlara ait devre şeması



**Şekil 36: Fren sistemine ait devre şeması**

## 6.2 Frenleme sistemine ait mekanik hesaplar

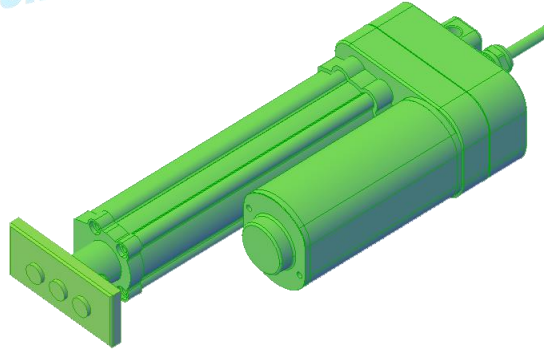
Kapsüle ait hedeflenen hız zaman grafikleri doğrultusunda aracımız 6. saniyenin sonunda durdurucu alana girecek ve burada gerek hesaplar doğrultusunda alınan veriler gerek mesafe ve ivmeölçer sensörlerinden gelen veriler doğrultusunda frenleme yapacak ve yine hedeflenen hız zaman grafiğine göre aracımız durdurucu bölgeden yaklaşık 13 metre önce duracaktır.



Şekil 37: Hız-zaman & Konum-zaman grafikleri

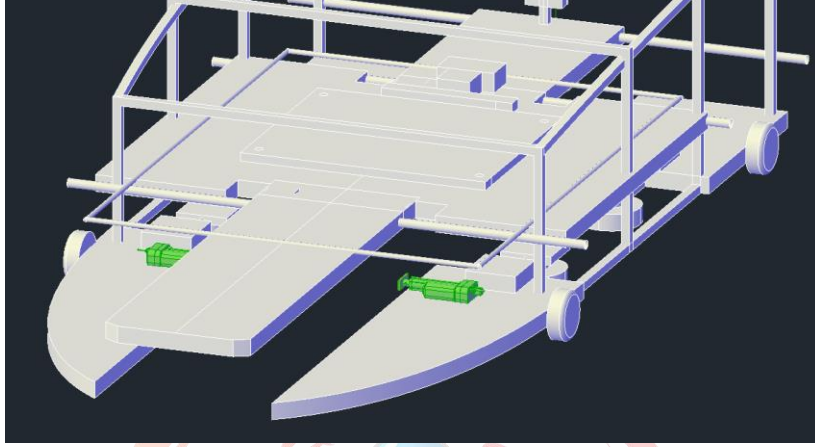
## 6.3 Fren sisteminin mekanik tasarımı

Fren sistemi bahsedildiği üzere aktüatör ve fren pabucu içeren bir adet Arduino karta bağlı manyetik bir sistemdir.



Şekil 38: Fren sistemine ait CAD çizimleri

Ve yine daha önce bahsedildiği üzere rayların iki yanında bulunan bu sistem rayı simetrik olarak sıkıştırır ve durmayı sağlar.



**Şekil 39: Fren sisteminin kapsül üzerinde konumlandırılması**



#### 6.4 Fren üzerinde oluşacak kuvvetler ve ortaya çıkacak ısı

Bir fren sisteminde, fren balataları ile rotor arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı, frenlere uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır. Üretilen ısı miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$Q = \mu Fd$$

Q = üretilen ısı (Joule)

$\mu$  = fren balatası ile rotor arasındaki sürtünme katsayısı

F = frenlere uygulanan kuvvet (Newton)

d = frenleme sırasında fren balatasının kat ettiği mesafe (metre)

Bu denklem, frenlere uygulanan kuvvetin sabit olduğunu ve fren balatası ile rotorun mükemmel temas halinde olduğunu varsayar. Gerçekte, frenlere uygulanan kuvvet ve sürtünme katsayısı, fren balatalarının sıcaklığı ve aşınması, aracın hızı ve ağırlığı gibi fren sisteminin koşullarına bağlı olarak değişebilir.

Bu değişim göz önüne alınarak fren pabuçları ısıya neden olmaması nedeniyle ün salmış karbon seramik yapıda tercih edilmiş ve frenleme yapılacak bölge doğrultusunda sıvı soğutma sistemi konumlandırılmıştır.

Seramik ve karbon malzemeler arasındaki sürtünme katsayısı ( $\mu$ ), kullanılan özel malzemelere ve fren sisteminin koşullarına bağlı olarak değişir. Genel olarak seramik fren balataları, karbon seramik fren balatalarından daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir.

Seramik fren balataları tipik olarak kuru koşullarda 0,3 ile 0,5 arasında ve ıslak koşullarda 0,2 ile 0,4 arasında bir sürtünme katsayısına sahiptir. Bu düşük sürtünme katsayısı, daha az ısı üretimi ve fren balatalarında ve rotorlarda daha az aşınma ile sonuçlanır.

Kullanacağımız lineer aktüatör motorların gücü olan 100 N ve frenler çalıştıktan sonra durmayı hedeflediğimiz mesafe 5 metre olarak değerlendirildiğinde şu sonuç ortaya çıkar:

$$400 \text{ joule} = 0.4 \times 200 \times 5$$

Bu denklemden elde ettiğimiz verilere ve ısıtacağımız ray parçasının yaklaşık 180 gram olduğunu düşünürsek, 200 Jul ısının 1800 gramlık alüminyum alaşımı 6101-T6 nesnesinin sıcaklığını ne kadar artıracakını belirlemek için aşağıdaki denklemi kullanabiliriz:

$$\Delta T = Q / (mc)$$

Burada  $Q = 400$  Joule,  $m = 1,8$  kilogram (1800 gram) ve  $c = 900$  J/kg·°C, alüminyum alaşımı 6101-T6'nın özgül ısı kapasitesidir.

Bu değerleri denkleme yerleştirerek:

$$\Delta T = 400 / (1,8 \times 900)$$

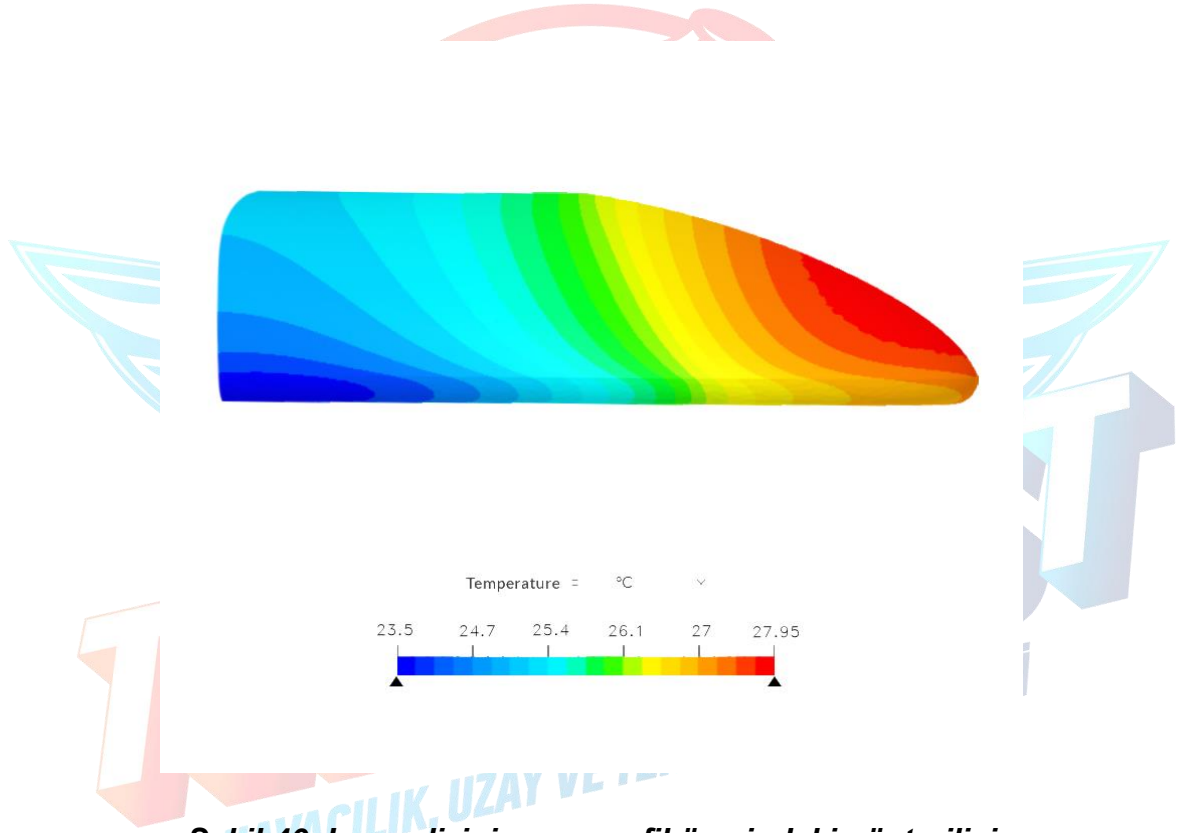
Bu denklemi çözerek, 180 gramlık alüminyum alaşımı 6101-T6 nesnesinin sıcaklığının yaklaşık 1,46 santigrat derece artacağını bulabiliriz.

6101-T6 alüminyum alaşımının özgül ısı kapasitesinin (c) sıcaklık aralığına ve üretim sürecine bağlı olarak değişebileceğini belirtmekte fayda var. Ek olarak, nesne tarafından üretilen ısı da ortam sıcaklığına ve çevreleyen faktörlere bağlı olacağından, gerçek sıcaklık artışı hesaplanan değerden farklı olabilir. Bu veriler sağlanmadığı için şu anlık yaptığımız hesap rayın yaklaşık 1,5 santigrat derece ısınacağını belirtiyor. Bu ise yarışma standartlarınca belirtilen ısının çok daha altında kalıyor.

## 7. Kapsülün Isı Dağılım, Aerodinamik ve Vakum Analizleri

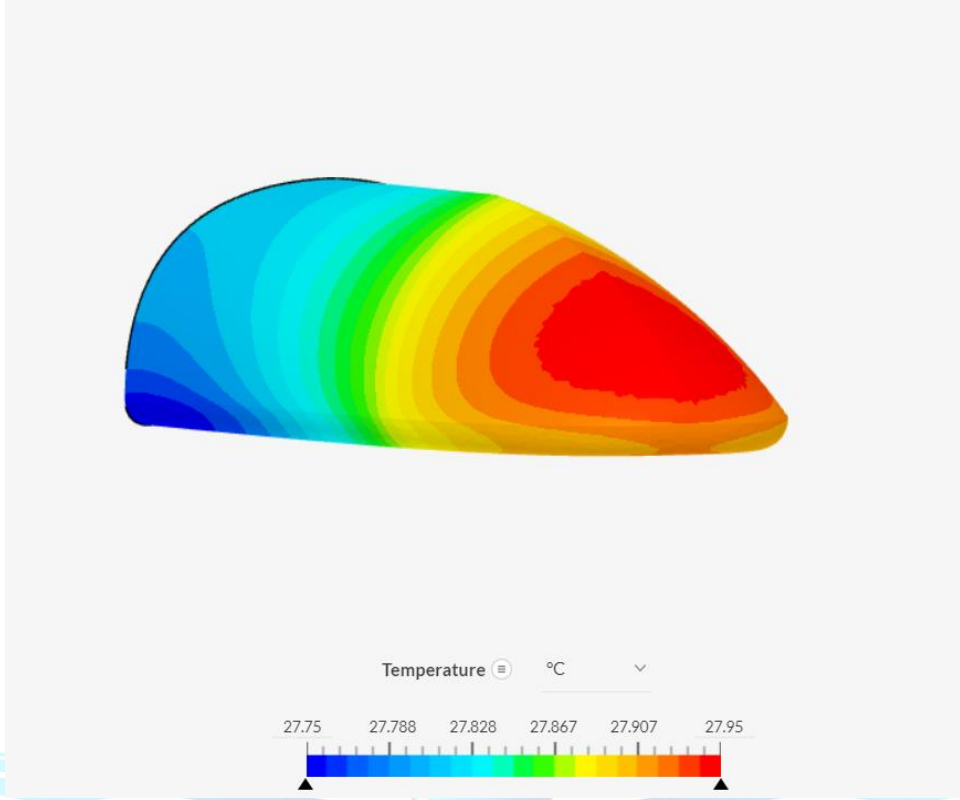
### 7.1 Isıl Analizler

Aracımızın ısı analizleri sürüklenme ve sistemlerin oluşturabileceği potansiyel ısı ya göre yapılmış ısı akısı baz alınarak CFD analizler tamamlanmıştır. Modelimiz yüzey bazında  $12 \text{ W/m}^2$ , konvektif olarak ise  $25 \text{ W/m}^2$  ısı akısına göre CFD analizlerine tabi tutulmuş bu analizlerde referans ısı  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır. Analizler doğrultusunda ısıнын modelimizin üzerinde yayılım gösterdiği iki bölüm vardır.



**Şekil 40: Isı analizinin yan profil üzerindeki gösterilişi**

İlk bölüm sürüklenmeden ötürü oluşan ısıdır ve bu ısı basıncın, dolayısıyla stresin yoğun olduğu ön profildedir. Kabukta kullandığımız malzemeler bu türden bir ısıya karşı oldukça yeterlidir.



**Şekil 41: Isı analizinin ön görünümü**

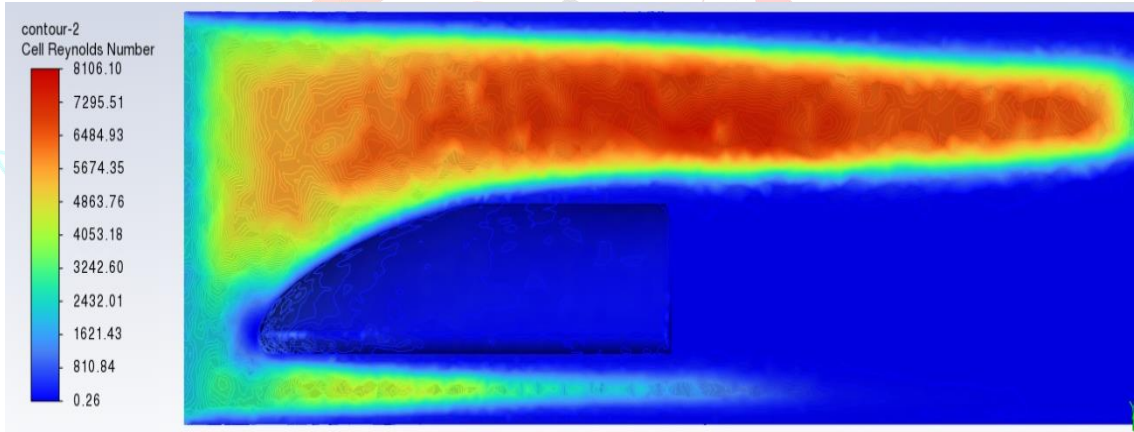
İkinci bölüm ise teknik aksamdır. Bu türden bir ısınma büyük bir çoğunluğu yüksek sıcaklık aralıklarında çalışabilen teknik aksamımızın işleyişine doğrudan engel olmasa da levitasyon sisteminden haberleşmeye kadar olan tüm sistemlerimizde verim kaybına neden olabilir. Bu sebeple şasimizde tüm teknik aksamı içine alan bir sıvı soğutma sistemi kurmuş bulunmaktayız.



## 7.2 Aerodinamik Analizler

Aracımızın hızı ve hıza bağılı nicelikleri incelenirken, yüksek hızda hava akışının etkilerini dikkate almak istedik ve bu nedenle Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) türbülans modelini tercih ettik.

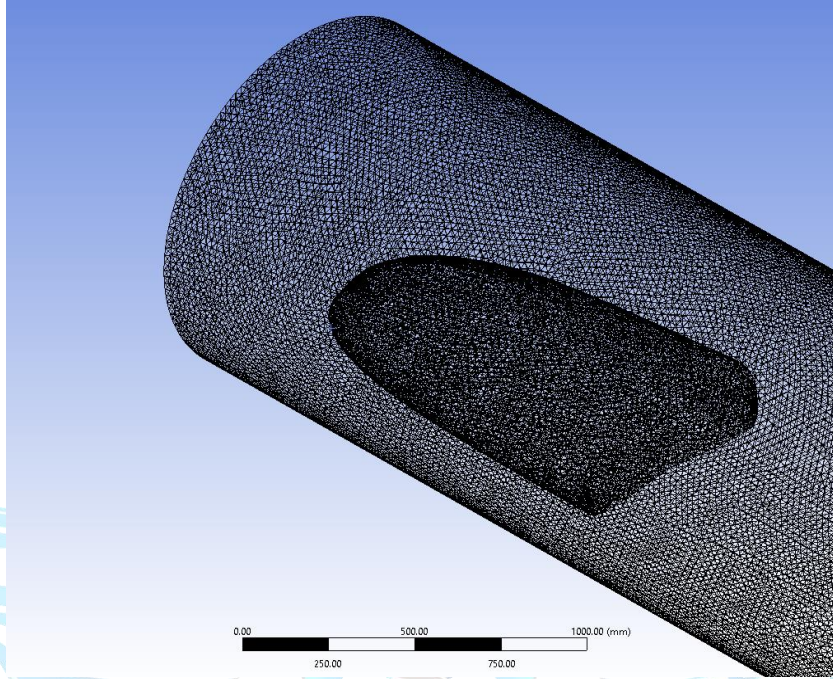
Bu modeli kullanırken ona yardımcı olarak kullandığımız parametre ise türbülans yoğunluğu ve viskozite oranıdır (IVR). IVR türbülansın viskozite etkileriyle nasıl etkileştiğini ölçen bir parametredir ve hava akışının hız değişimleri ile viskozite etkileri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılır. Ayrıca bu parametre, hava akışının türbülans özelliklerini tanımlamak için kullandığımız model olan RANS ile de kullanıma uygundur.



**Şekil 42: Hücre Reynolds Sayısı analizi**

Aracımız k-Omega( $\Omega$ ) SST türbülans modeline göre tünel içi ortamın sınır şartları baz alınarak 100 km/h standart hız ile birçok CFD analize sokulmuş, sürüklenme ve kaldırma kuvveti bu testler sonucunda hesaplanmıştır.

Hesaplamalı Akışkanlar dinamiği (HAD) sonuçlarının güvenilir olması için element boyutu oldukça küçültülmüş ve element sayısı artırılmıştır. Elementler üçgen biçiminde seçilmiş ve sayısı bu şekilde artırılmıştır. Nokta ve element sayıları da aşağıda görülmektedir. Aracımızın kapsülüne ve içinde yarışacağımız tünel ve araca ait ağ yapısı aşağıdaki gibi görünmektedir.

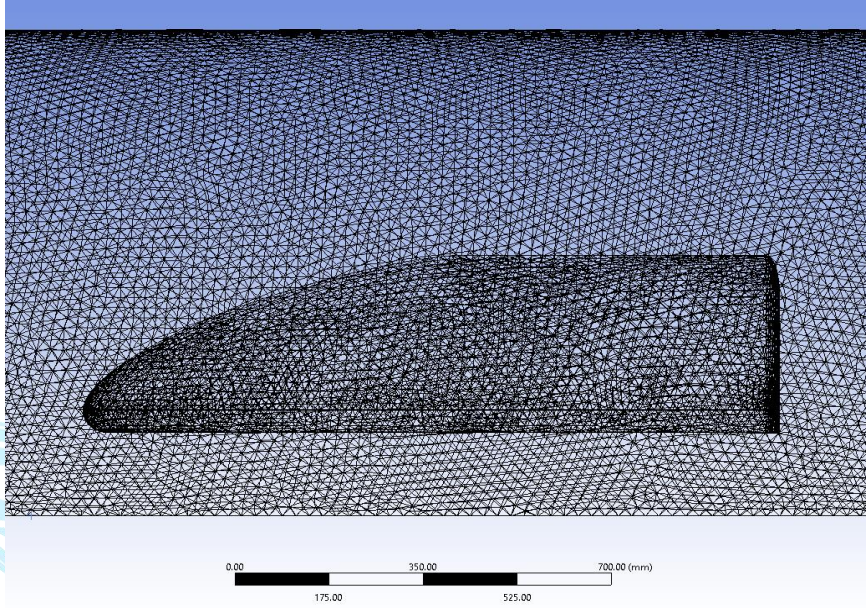


**Şekil 43: Araca ve tünele ait ağ yapısının (mesh) izometrik görünümü**

Bu dönüşüm gerçekleşirken çoklu geometrilere stabil çalıştığı ve aerodinami açısından geniş bir kapsam alanı olduğu için solver olarak Fluent seçilmişti. Bu solverin özellikleri basitçe şöyledir:

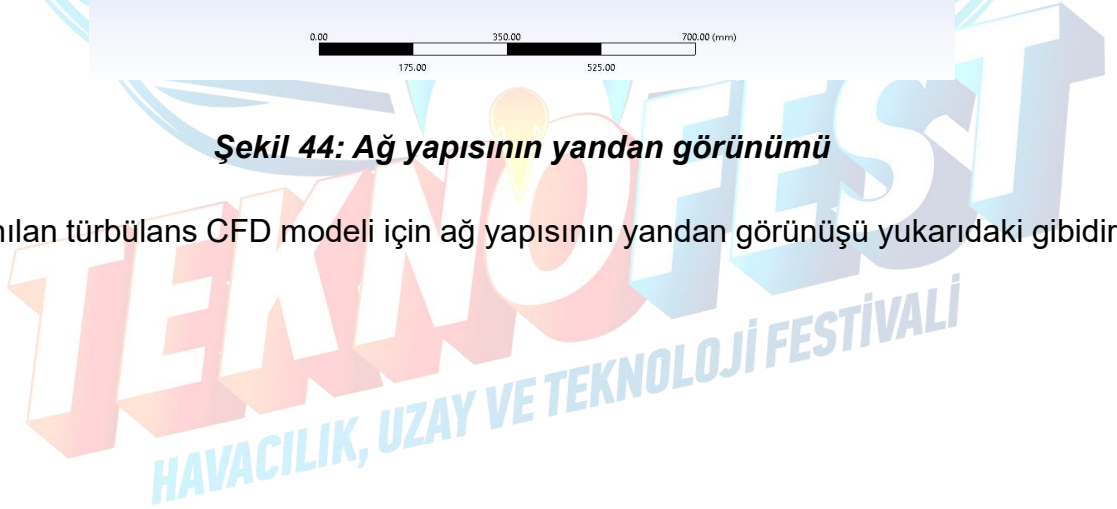
- 2D ve 3D analizler için kullanılabilir.
- Laminar ve turbulent akışlar için uygulanabilir.
- Çoklu fazlı sistemleri analiz edebilir.
- Çoklu termal etkileşimleri ve yüzey içi reaksiyonları destekler.
- Belirli bir noktada ölçüm yapabilir.
- Çoklu arayüzleri destekler.
- Önceden tanımlı modeller ve özel modelleri destekler.

Bu sebeple tünel ve aracımıza ait kapsülün arasındaki fiziksel etkileşim ve aracımızın sahip olduğu kompleks geometri göz önüne alınarak bu model uygun görülmüştür. Bu model ile birlikte elementlerin konum bilgisini kullanan Lineer element order tercih edilmiştir. Yapılan bu işlemlerin sonucunda aracımıza ait kapsül ve aracımızın içinde konumlandırıldığı tünel 1222197 düğüm ve 644133 elemente sahip bir mesh modele dntrlmtr.

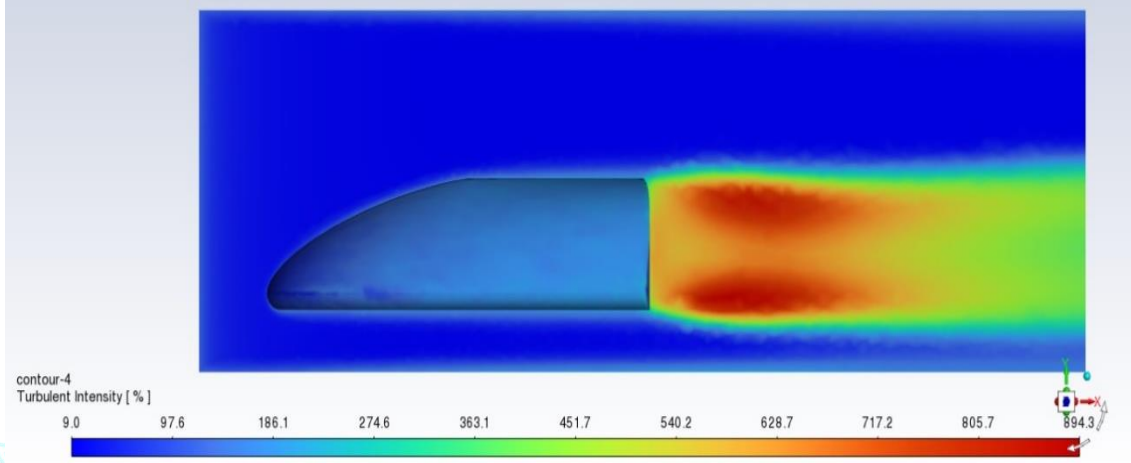


**Şekil 44: Ağ yapısının yandan görünümü**

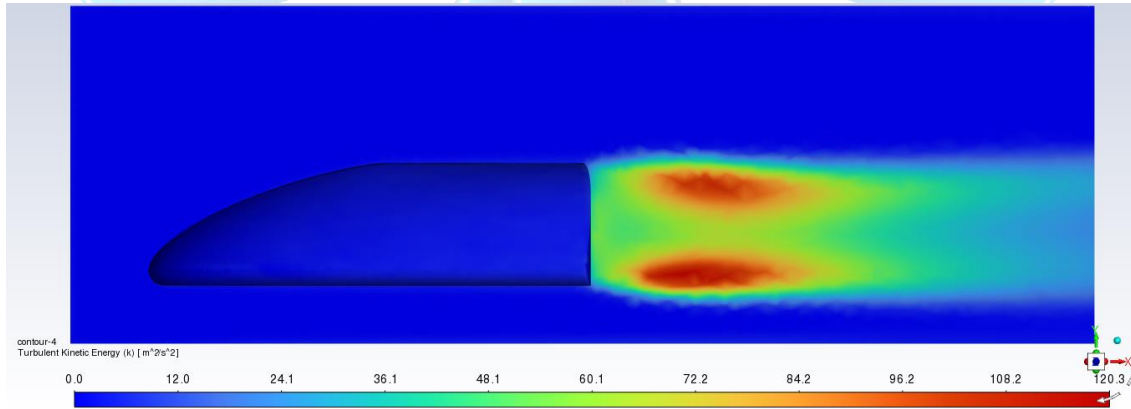
Kullanılan türbülans CFD modeli için ağ yapısının yandan görünüşü yukarıdaki gibidir.



Bu model, sınır boyunca normal olarak belirli bir hız tanımlar ve bu hız büyüklüğü, sınır boyunca normal olarak belirli bir hız tanımlar. Seçtiğimiz solver ile uyumlu olması ve tünel girişinden hareket eden havayı basit ve kullanışlı bir şekilde konumlandırması bu modeli seçmemizin nedenlerindedir. Bu model ile birlikte daha önce bahsedildiği üzere 100 km/h hız baz alınmış IVR modeli kullanılmış türbülans yoğunluğu %5 ve vizkozite oranı 10 olarak belirlenmiştir.

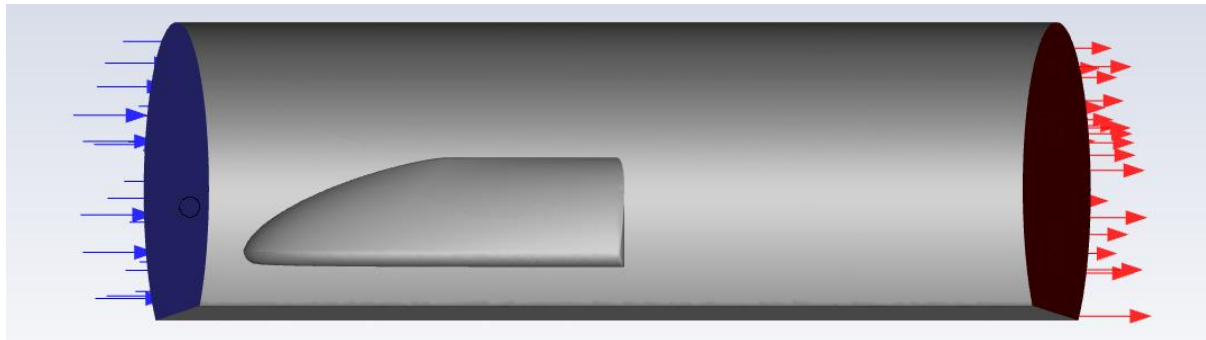


**Şekil 45: Türbülans yoğunluğu analizi**



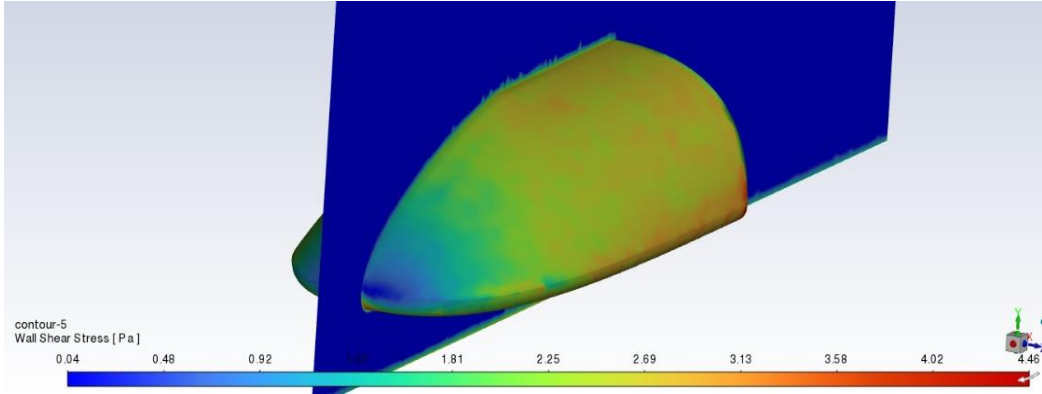
**Şekil 46: Türbülans kinetik enerjisi analizi**

Buna ek olarak analiz çıkış bölgesinde ters hava akışı engellenmiş daha tutarlı ve stabil sonuçlar almak hedeflenmiştir.

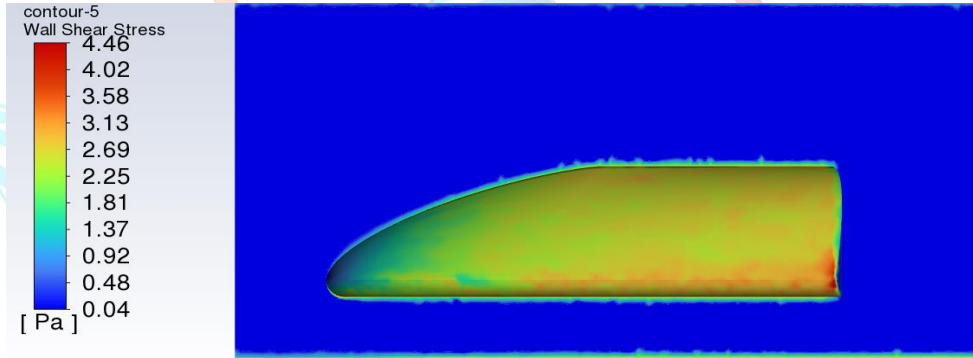


**Şekil 47: Sınırlı Hacimler Metodunda sınır şartları (Giriş, Çıkış ve Duvar)**

Sabit duvar ve standart sertlik modeli kullanılmıştır. Bu model ile zorunlu hareketli yüzeyin yanındaki akışkan için oluşan yatay kuvvetlerin yoğunluğunu hesaplanmıştır.

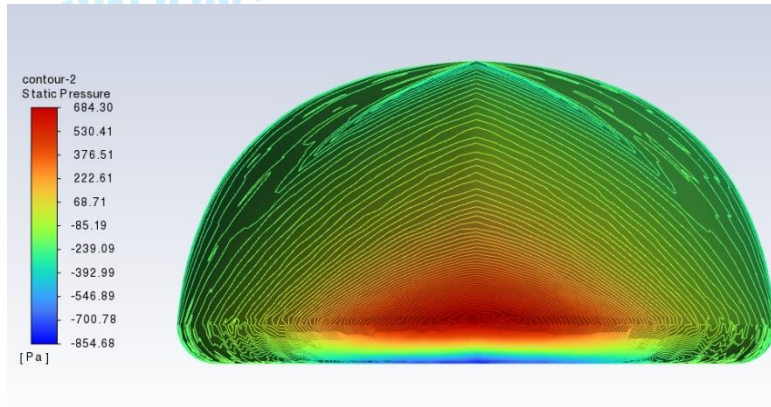


**Şekil 48: Kayma Gerilimi: Araç Yüzeyi ve Tünel Kesit Görünümü**



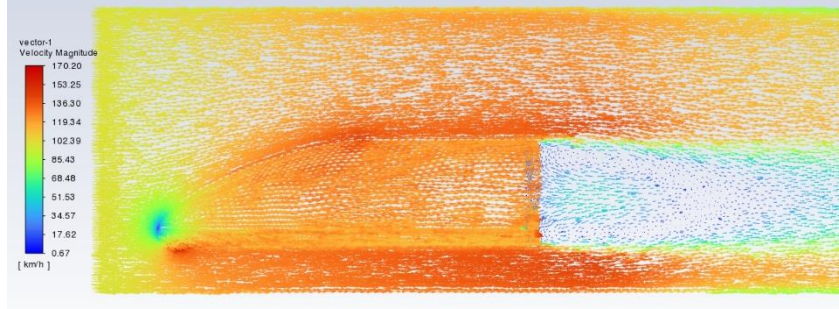
**Şekil 49: Yan profilde kayma gerilimi değerleri**

Bu analizin en verimli sonuçlarından biri de stres analizidir. Bu analiz kapsülün dış kaplamasında yer alacak karbonfiberin hangi bölgede kaç kat yer alacağını belirlememizde büyük rol oynamıştır.

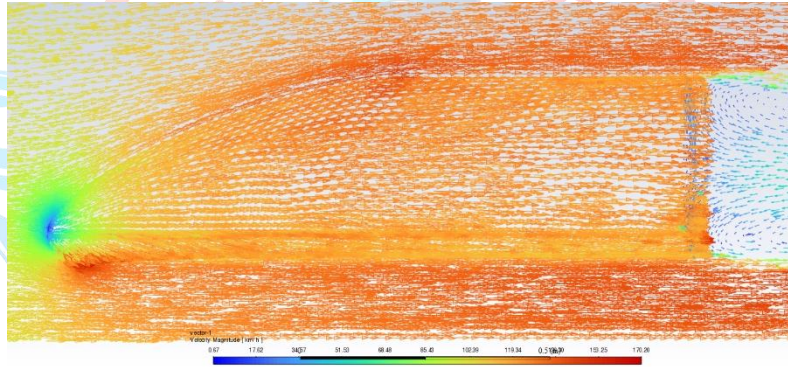


**Şekil 50: Kapsülün Statik Basınç değerleri**

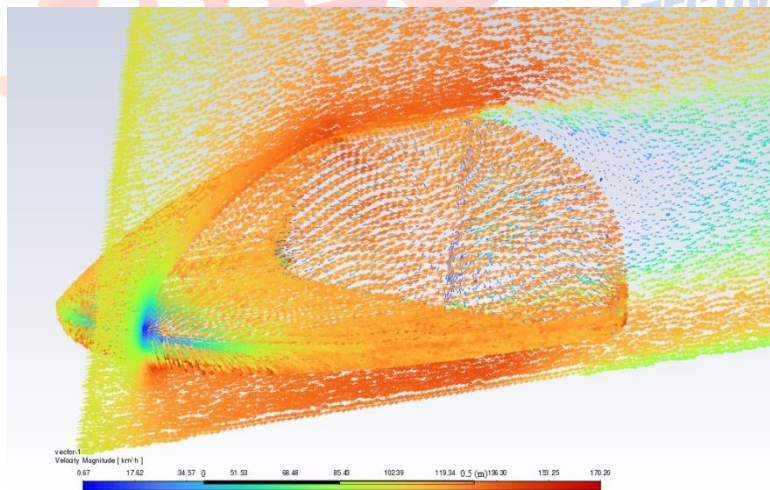
Ayrıca tarafımızca uygulanan hız büyüklüğü analizi, CFD analizlerinde kullanılan en geçerli aerodinamik analizlerden biridir. Bu analiz, akışkan hareketinin büyüklüğünü belirlemek için kullanılır bu sebeple akışkan hareketinin büyüklüğünün ve yönünün belirlenmesi için önemlidir.



**Şekil 51: Hız büyüklüğü analizi: Vektörel görünüm**

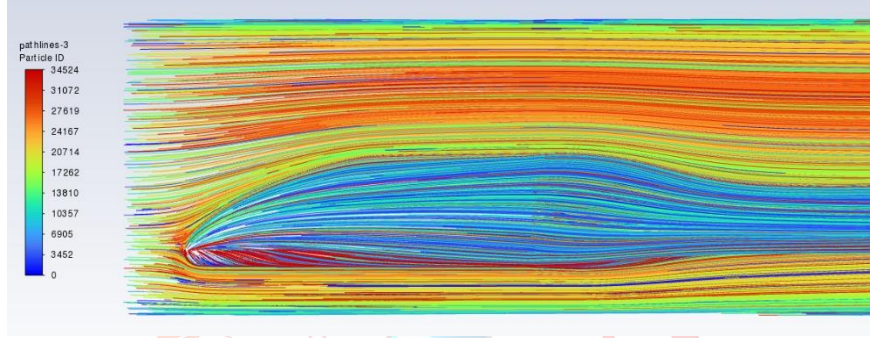


**Şekil 52: Kapsül bazında vektörel hız büyüklüğü analizi: Yakın görünüş**

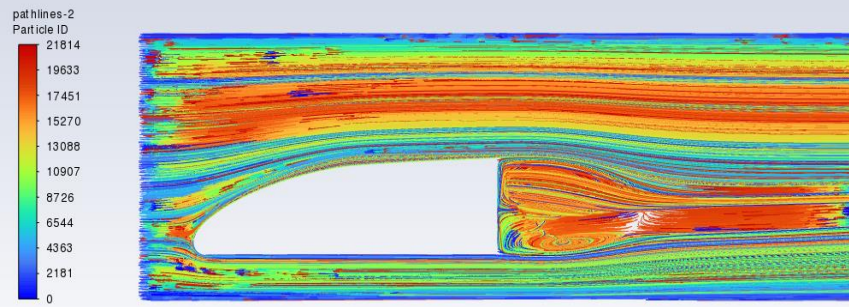


**Şekil 53: Hız büyüklüğü analizinin üç boyutlu gösterimi**

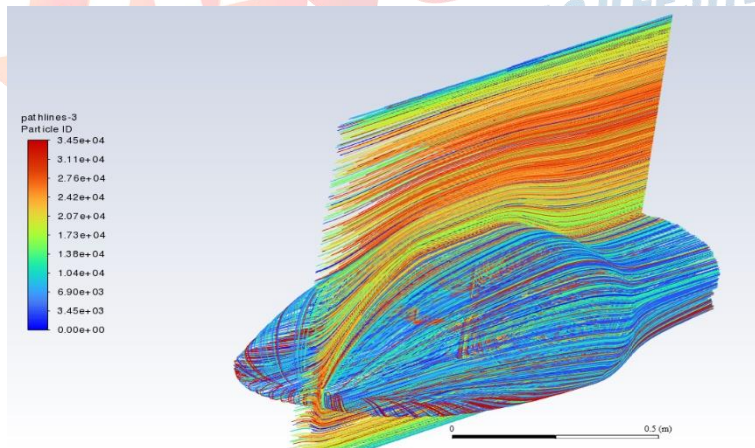
Hız vektörü analizi, akışkan hareketinin geometrik ve fiziksel özelliklerine göre seçilir. Örneğin, giriş ve çıkış bölgelerinde, akışkan hızı veya debi belirli bir değer olarak tanımlanabilir. Bu analiz, akışkan hareketinin büyüklüğünün ve yönünün belirlenmesi için önemlidir. Bu analiz, akışkan hareketinin geometrik ve fiziksel özelliklerine göre seçilir. Bu analizde hız sabit kabul edilmiştir.



**Şekil 54: Havanın aerodinamik akış çizgileri: Kapsül görünümü**

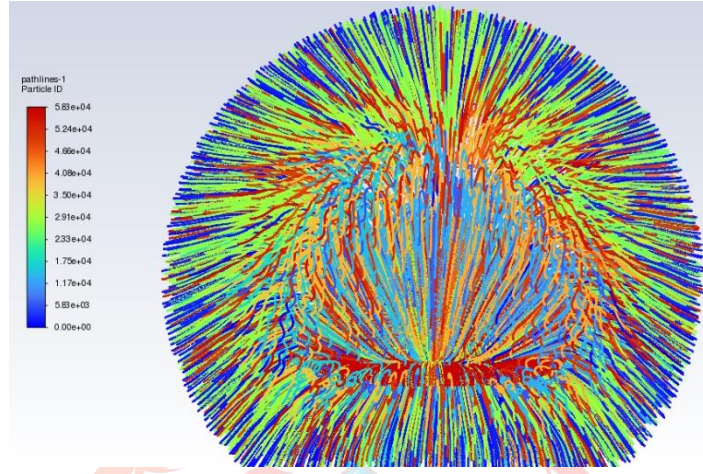


**Şekil 55: Havanın aerodinamik akış çizgileri: Kesit görünüm**

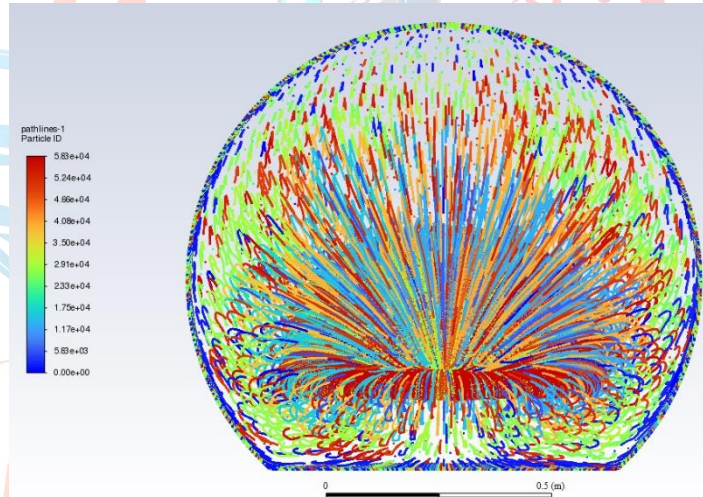


**Şekil 56: Hava akışı analizinin üç boyutlu gösterimi**

Hız vektörü analizinin kapsül içerisindeki gösterimi ise şu şekildedir:

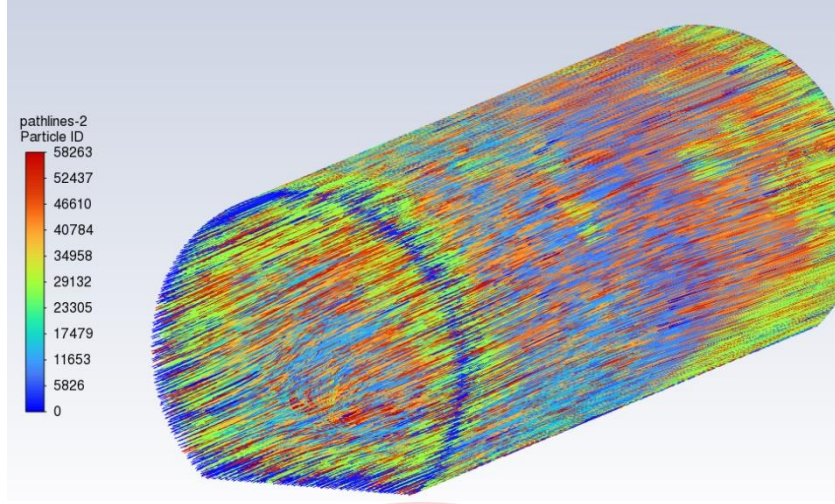


**Şekil 57: Havanın aerodinamik akış çizgileri: Ön profil yoğunlaştırılmış görünüş**



**Şekil 58: Havanın aerodinamik akış çizgileri: Ön profil seyreltilmiş çizgili görünüş**

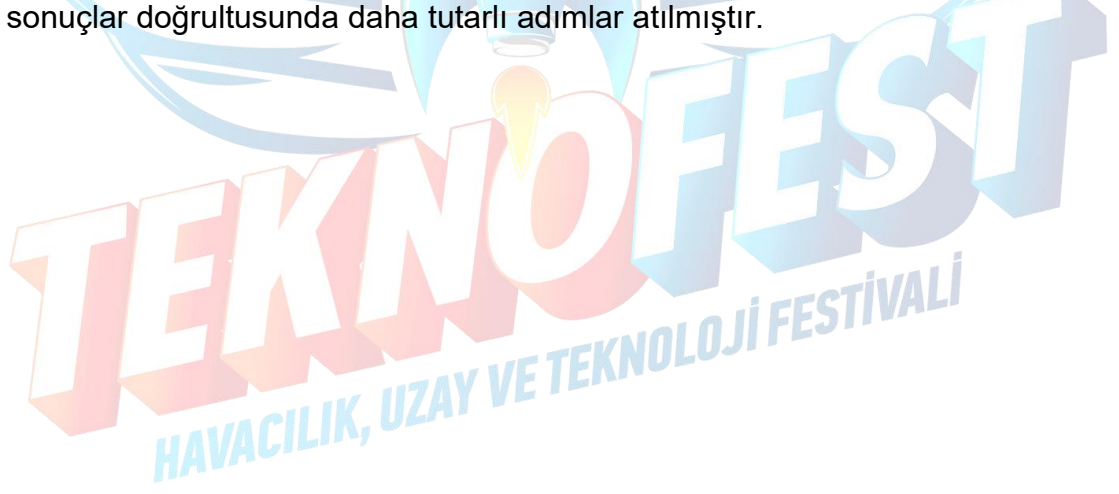




**Şekil 59: Hava akışının tüm kapsül içi 3D görünümü**

Bu analiz neticesinde alınan sonuç 100 km/h hızla ilerleyen kapsülümüzün maruz kalacağı sürüklenme kuvveti yaklaşık 101.7 N, maruz kaldığı sürüklenme kuvveti ise yaklaşık 62.3 N olduğudur.

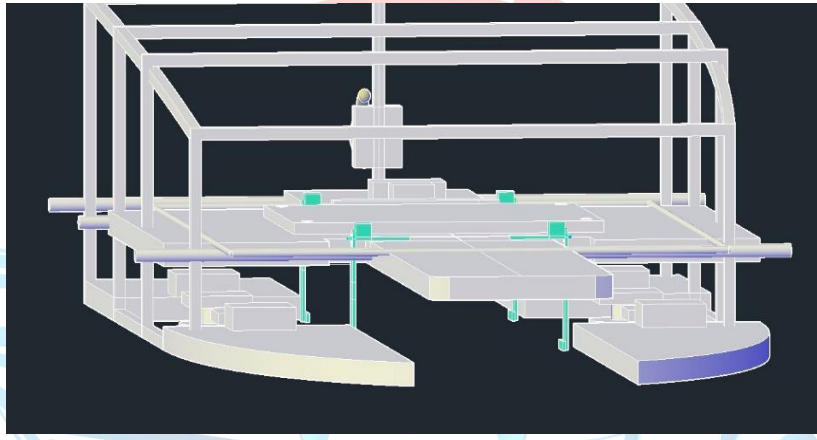
Bu sonuçlar neticesinde aracımıza ait birçok nicelik detaylı bir şekilde görüntülenmiş ve bu sonuçlar doğrultusunda daha tutarlı adımlar atılmıştır.



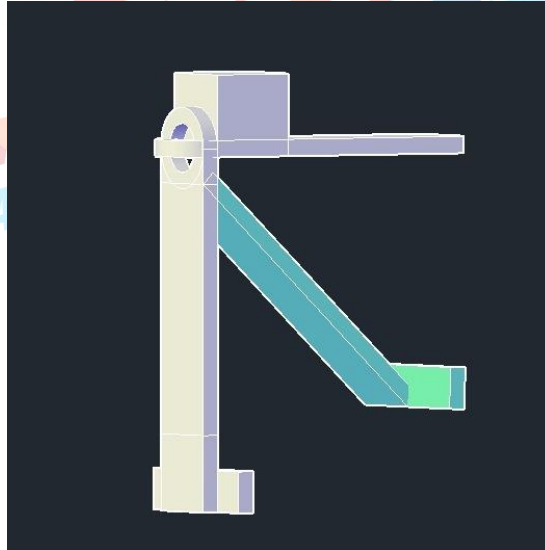
## 8. Kapsül Güvenlik Ekipmanları ve Devreye Girme Prosedürleri

### 8.1 Acil Durum Fren Sistemi

Kapsülde oluşabilecek ani problemler düşünülerek fren sistemimizi acil durumlarda destekleyebilecek ikincil bir sistem tasarlanmıştır (Şekil 60). Fren sistemimiz 2 adet alüminyum kol (Şekil 61), kolları çevreleyen servo motorlar ve kolun ucunda bulunan iki adet fren podundan oluşmaktadır. Aynı zamanda acil durumlarda kullanılabilmek için servo motorlardan bağımsız bir bataryayla sistem desteklenmiştir. Yüksek hızlara ulaşıldığında fren sistemini maksimum verimlilikte kullanabilmek için seramik karbon tipi bir fren pabucu kullanılması kararlaştırılmıştır.



**Şekil 60: Acil Durum Fren Sistemi**



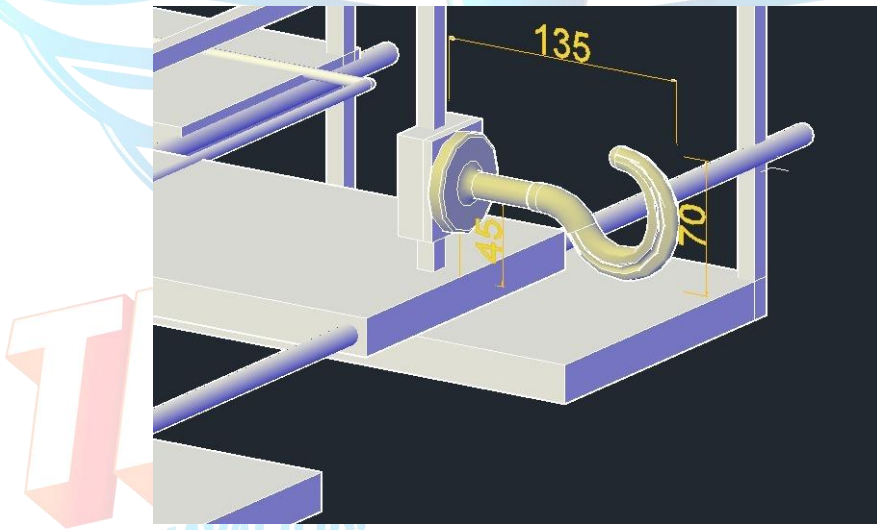
**Şekil 61: Tasarlanan Alüminyum Kol**

## 8.2 Sıvı Soğutma Sistemi

Kapsülde acil durum problemi olarak önlem almamız gereken bir diğer konu ise itki sisteminin fazla ısınmadan kaynaklı çıkarabileceği bir problem olarak ön görülmüştür. Böyle bir problemin olmasını engellemek için kapsülümüzde bir sıvı soğutma sistemi kurulmuştur. Bu sıvı soğutma sisteminde bir radyatör, su deposu, su pompası, tüpler ve gliserin kullanılacaktır. Kullanılacak gliserin 4 kilogram sıvıya yarım kilogram oranında olacaktır.

## 8.3 Bağlantı Aparatı

Kapsülün tünel içinde hareketsiz kalma ihtimaline karşı kapsül tasarımına kanca şeklinde bir bağlantı aparatı eklenmiştir (Şekil 63). Bu eklemenin amacı, herhangi bir arıza veya acil durumda bir geri alma aracı sağlamaktır. Eklenen bu özellik, herhangi bir sorun olması durumunda kapsülün tünelden çıkarılmasını sağlamak için arızaya karşı güvenli bir mekanizma görevi görür ve tasarıma dahil edilen önemli bir güvenlik özelliğidir.



Şekil 63: Bağlantı Aparatı

#### 8.4 Yangın Söndürme Sistemi

Tünel içerisinde çıkabilecek bir diğer acil durum problemi olarak ısıdan dolayı çıkabilecek herhangi bir kıvılcım/alevlenme/yangın gibi durumları kontrol altına almak için otomatik yangın söndürme sistemi tasarlanmıştır. Kapsülün üst kısmına gelecek şekil 64’te görülen nodül ile F500 madde müdahalesi yardımıyla söndürme işlemi yapılacaktır.



**Şekil 64: Yangın Söndürme Nodülü**

#### 8.5 Kapsül Uzaktan Kontrol Mekanizması

Haberleşme protokolleriyle elde edilen veriler ışığında eğer güvenlik tehdidi oluşturabilecek bir durum olduğuna kanaat getirilirse uzaktan durdurma komutu kontrol bilgisayarı aracılığıyla motor sürücü ve Arduino Mega geliştirici kartlarına iletilecektir. Kontrol bilgisayarı ile bağlantı kopukluğu yaşanması veya güç kesintisi yaşanması durumunda prosedür otomatik olarak harekete geçecektir. Prosedürde, Arduino Mega’da fren işlemleri ve motor sürücünde motorun durma işlemleri gerçekleştirilecektir.

#### 8.6 Mekanik Basınç Sistemi

Mukavemeti yüksek bir malzeme olan karbon fiber kumaş kullanımı aracımızın basınç karşısında aldığı en büyük önlemdir. Bunun yanında destekleyici bir şasiye sahip olması kapsülü basınç karşısında sağlam tutan bir diğer önlemdir.

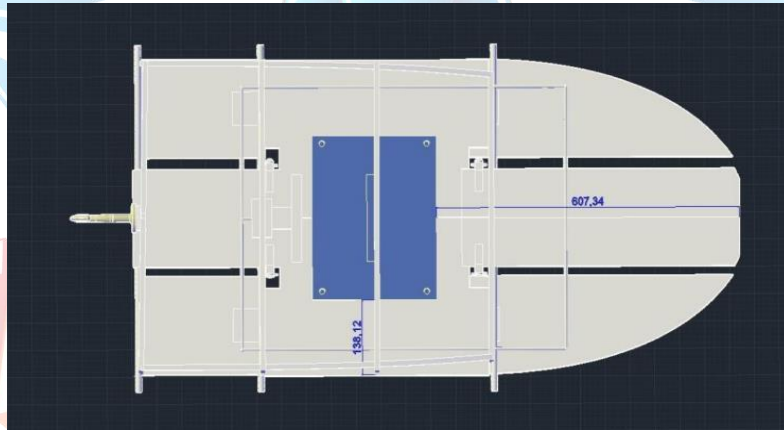
## 9. Haberleşme ve Görüntü Aktarımı

Haberleşmenin genel amacı verinin karşılıklı bir şekilde iletilip bu veriler aracılığıyla gerekli ihtiyaçların sağlanmasıdır. Bu bağlamda biz de kapsül üzerindeki sensör, kamera ve diğer çeşitli cihazlardan aldığımız verinin uzak kontrol bilgisayarı ve geliştirme kartları arasında iletişimini sağlamayı hedeflemekteyiz.

Tünelin metal ve iki ucu kapalı yapısı nedeniyle EM dalgalarının tünel içerisine yayılması zorlaşan bir durumdur. Bu noktada haberleşmenin iyileştirilmesi adına tünel içerisinde ışın yayıcı kablolar kullanılmış bulunmaktadır. Kablolar 2.4 GHz ve 5 GHz bantlarında aynı anda çalışmakta olup ekibimiz TUBİTAK RUTE tarafından verilen 2.4 GHz bandında çalışan Ağ Erişim Modülü ile bağlantı sağlayacaktır.

### 9.1 Ağ Erişim Modülü

AEM kapsülünün konumu şasinin üstünde, sağ ve sol kenarlardan 138.12 mm ve ön-arka uçtan 607.34 mm uzakta olacak şekilde tasarlandı.



Şekil 65: AEM kapsülünün konumu

Takımımız ayrıca IPCam kullanmakta karar kıldı. IPCam'in konumu yerden 209.45 mm, köşelerden 319.34 mm ve ön uçtan 607.34 mm uzaklıkta olacak şekilde planlandı.



**Şekil 66: IPCam'in konumu**

AEM, Raspberry Pi ve IPCam arasındaki iletişim için Shielded Cat 6A kablo kullanılacaktır. Pod üstünde kullanılan birçok cihaz elektromanyetik gürültü oluşturmaktadır ve bu sebeple kablo seçimi yapılırken elektromanyetik gürültüye bağışıklığı olan bir kablo seçimi ihtiyacı doğmuştur. Shielded Cat 6A kablo seçimi bundan yola çıkılarak yapılmıştır.

AEM batarya paketine bağlantıyı DB-9(Pin 5 ground; Pin 9 power) erkek tip bir Konnektör üzerinden sağlayacaktır.

Eş elektrisel referans oluşturmak adına kapsülle şasi arasında H05V-K NYAF kablolar ile mümkün olan en kısa yolla bağlantı sağlanması hedeflenmiştir.



**Şekil 67: H05V-K NYAF kablo**

## 9.2 Ağ Konfigürasyonu

- Uzaktan Kontrol Bilgisayarı

IP adres: 192.168.1.0/20  
Subnet mask: 255.255.255.0  
Default gateway: 192.168.1.101

- Kapsül

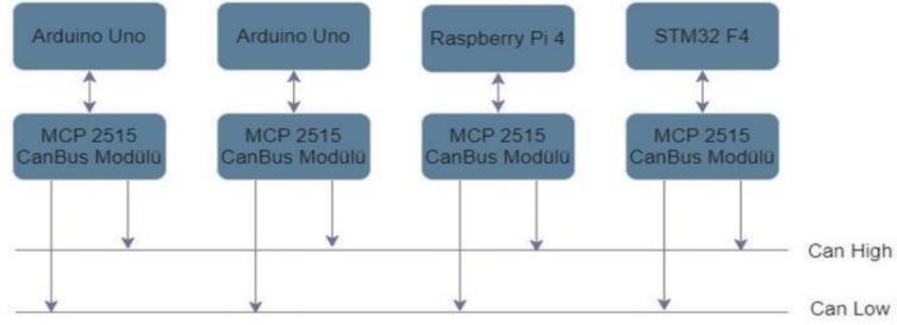
IP adres: 192.168.9.101  
Subnet mask: 255.255.255.0  
Default gateway: 192.168.9.1

- IPCam

IP address: 192.168.9.103  
Subnet mask: 255.255.255.0  
Default gateway: 192.168.9.1

## 9.3 Kapsülün Uzaktan Kontrolü ve Kullanıcı Arayüzü

Kapsülümüzde 2 Arduino Mega, STM32 ve Raspberry Pi geliştirici kartlarının kullanılması planlandı. Raspberry Pi geliştirici kartına internet bağlantısı yapılacak ve bu sayede uzaktan kontrol bilgisayarı ile Raspberry arasında veri iletimi sağlanılacak. Kapsülümüz içerisindeki geliştirici kartlar arasında ise CAN Bus protokollü kullanılarak kartların beraber çalışması hedeflendi.



**Şekil 68: Sistem CAN Bus modülü**

### 9.3.1 CAN Bus nedir?

CAN Bus kısaca bir elektronik veri yoludur.

- Günümüzde çoğunlukla otomobillerde ve diğer cihazlarda bulunan elektronik kontrol cihazların önceliğe dayalı iletişim kurmasını sağlayan bir protokoldür.
- Ağdaki cihazların bir “veri çerçevesi” oluşturmasına ve bunu öncelik sırasına göre iletilmesine olanak sağlar.
- Merkezileştirilmiş bir veri yoludur.
- Ağır yalıtımlı elektrik kablolarının kullanılması gereken araçlarda ağırlığın azalmasını sağlar.

CAN Bus protokolü ile dolaşacak olan verinin ID numaraları ve yolu aşağıdaki şekilde gibidir.

Görev	ID	Arduino Mega 1	Arduino Mega 2	Raspberry Pi 4	STM32 F4
Batarya Şarj Durumu	0x020	Gönderen		Alıcı	
Batarya Anlık Akım	0x021	Gönderen		Alıcı	
Batarya Sıcaklık Seviyesi	0x022	Gönderen		Alıcı	
Araçın Anlık Hızı	0x023	Gönderen		Alıcı	Alıcı
Araçın Anlık ivmesi	0x024	Gönderen		Alıcı	Alıcı
Manyetik Alan 1	0x025	Gönderen		Alıcı	
Manyetik Alan 2	0x026	Gönderen		Alıcı	
Manyetik Alan 3	0x027	Gönderen		Alıcı	
Manyetik Alan 4	0x028	Gönderen		Alıcı	
Manyetik Alan 5	0x029	Gönderen		Alıcı	
Manyetik Alan 6	0x030	Gönderen		Alıcı	
Motor Sıcaklık Seviyesi	0x031			Alıcı	Gönderen
Araç içi Sıcaklık Seviyesi	0x032	Gönderen		Alıcı	
Sıvı Soğutma Aç-Kapat	0x033		Alıcı	Gönderen	
Gaz	0x034			Gönderen	Alıcı
Fren	0x035		Alıcı	Gönderen	Alıcı

**Şekil 69: ID numaraları**



### 9.3.2 İnternet Aracılığıyla Veri Dağıtımı ve Uzaktan Durdurma Komutu

Raspberry ve IPCam'nden alınan veri internet üzerinden bir veri tabanında toplanacaktır. Veri tabanı bilgi ve verinin elektronik olarak depolandığı koleksiyondur. Veri tabanında depolanan bilgiler uzaktan kontrol bilgisayarına ağ üzerinden iletilip uzaktan kontrol bilgisayarında işlenecektir.

Veri tabanı olarak Firebase' in kullanımı planlanmıştır. Firebase Google tarafından geliştirilen gerçek zamanlı bir veri tabanıdır.



Şekil:70: Firebase

Kapsülü uzaktan durdurma komutu, kontrol bilgisayarı üzerinden ağ ile iletilecek sonrasında Arduino Mega 'da frenleme ve motor sürücü de motorun durdurulma işlemlerinin yapılması sağlanacaktır.

### 9.3.3 Kullanıcı Arayüzü

- Tüp içerisindeki pozisyon
- Tüp içerisindeki hız
- Tüp içerisindeki ivmelenme
- Kapsül yönelimi
- Kapsül üzerinde en az iki noktadan alınan sıcaklık
- Güç tüketim

Yukarıda gösterilen parametreler ilgili sensörlerden elde edilen verilerle kontrol bilgisayarı üzerinde işlenip tasarlanan masaüstü uygulamada takip edilecektir.

Sensörlerden alınan veriler geliştirici kartlar arasında CAN Bus daha sonrasında internet bağlantısı aracılığı ile veri tabanına gönderilecektir. Veri tabanında depolanan veriler gerçek zamanlı bir şekilde kontrol bilgisayarına alınıp işlenip yansıtılacaktır. Kullanıcı arayüzü için JavaScript programlama dili kullanımı planlanmıştır.

## 10. Hyperloop Teknolojisi ile Ulaşılabilir Teorik Maksimum Hız Hesabı

Tasarladığımız araç birkaç alt sistem oluşur. Belli bir uzunluğa sahip tünelin üzerinde düzenli sefer halindeki sistemin bakımını gerçekçi bir örnek ile açıklamak istersek aracımızı şehirlerarası bir sistemde referans bir model ile kıyaslayabiliriz. Örneğin Ankara istanbul arası yaklaşık 450 kilometredir ve motorların böyle bir sistemde 18000 kilometrede bir bakıma uğraması gerekir. Bu da yaklaşık 40 seferde bir motorların bakıma uğraması anlamına gelir. Bu alanda şehirlerarası trenlerin bakım maaliyeti ve zamanı tipine, aldığı yola ve sahip olduğu özel alt sistemlere göre değişiklik göstermektedir. Böyle bir sistemin itki ve levitasyon motorlarının büyük bir ağırlığı uzun süre havada tuttuğu ve hareket ettirdiği düşünülürse yolcu sayısını ve kimliğini göz önüne almak gerekir tipik bir tramvay aracı 4-6 akslı, 14-21 m boyunda, 100-180 yolcu kapasiteli, kapasitenin %20-40 oturan yolculu araçlardır. Bu da aracın yaklaşık  $6,89 \times 10^8$  N bir kuvveti kaldırdığını gösterir. Böylesine büyük bir işin motora vereceği zararı düşünürsek hafif bakım maaliyeti 40 sefer için yaklaşık 34 bin liradır.



## 11. Bütçe Tablosu

NO	MALZEME	ADET	MALİYET
1	Karbon Fiber Kumaş	28 metrekare	12.000,00 TL
2	Epoksi Levha ( 8 - 10 Plaka)	8-10 plaka	1.240,00 TL
3	Vakum İnfüzyon Malzemeleri	1	1.000,00 TL
4	Batarya Paketi	1	14.000,00 TL
5	6061 Serisi Alüminyum Levhalar	1	12.000,00 TL
6	U Profil	7 metrekare	1.200,00 TL
7	Esnek Tam Kauçuk Tekerlek	2	200,00 TL
8	Soğutma Sistemi	1	1.200,00 TL
9	BLDC Motorlar	4	5.600,00 TL
10	Lineer İndüksiyon Motorları	1	1.450,00 TL
11	STM32F4 DISCOVERY	1	552,00 TL
12	Arduino MEGA 2560 R3	2	776,00 TL
13	Dahua IPC-HFW2239S-SA-LED 2MP Lite Ağ Kamerası	1	18.123,00 TL
14	APDS-9960 Renk Sensörü	2	182,00 TL
15	SHT35 Sıcaklık Sensörü	4	433,00 TL
16	Benewake TF03 (ToF) Lazer Mesafe Sensörü	1	4.845,00 TL
17	US1881 Hall Effect Sensörü	6	77,00 TL
18	10 DOF Mems IMU Sensörü	1	410,00 TL
19	MCP2515 CAN BUS Haberleşme Sensörü	3	300,00 TL
20	Raspberry Pi 4 - 4GB	1	4.657,00 TL
21	Motor Sürücü	1	10.000,00 TL
22	Fren Sistemi	1	2.400,00 TL
23	Neodyum Miknatıslar	20	5.000,00 TL
<b>TOPLAM</b>			<b>97.645,00 TL</b>

Şekil 71: Bütçe Tablosu

