ULUSLARARASI EFFICIENCY CHALLENGE

ELEKTRİKLİ ARAÇ YARIŞLARI

TEKNİK TASARIM RAPORU

Teslim Tarihi: 1- 4 Ağustos 2021

ÜNİVERSİTE: OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ

ARAÇ VE TAKIM İSMİ: BÖRÜ-OKÜ IARES

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ERTAÇ HÜRDOĞAN

TAKIM KAPTANI: İSA ŞAHİN

KATEGORİ: ☒ **ELEKTROMOBİL** ☐ **HİDROMOBİL**

İÇİNDEKİLER

1. Araç Özellikleri Tablosu 3
2. Dinamik Sürüş Testi 4
3. Yerli Parçalar 8
4. Motor 9
5. Motor Sürücü 30
6. Batarya Yönetim Sistemi (BYS) 31
7. Yerleşik Şarj Birimi 32
8. Enerji Yönetim Sistemi (EYS) 33
9. Batarya Paketleme 33
10. Elektronik Diferansiyel Uygulaması 35
11. Araç Kontrol Sistemi (AKS) 36
12. İzolasyon İzleme Cihazı 37
13. Direksiyon Sistemi 38
14. Kapı Mekanizması 38
15. Mekanik Detaylar 38
16. Yakıt Pili 53
17. Yakıt Pili Kontrol Sistemi 54
18. Araç Elektrik Şeması 54
19. Orijinal Tasarım 56

1. Araç Özellikleri Tablosu

Elektrikli araç yarışları kapsamında tasarlanan araca ait araç özellikleri tablosu Çizelge 1'de yer almaktadır. Araç 3400x1530x1160 mm boyutlarında, şasi malzemesi çelik ve dış kabuğu fiberglastan imal edilmiştir.

Çizelge 1. Araç özellikleri tablosu

Özellik	Birim	Değer
Uzunluk	mm	3400
Genişlik	mm	1530
Yükseklik	mm	1160
Şasi	Malzeme	çelik
Kabuk	Malzeme	Fiberglass
Fren sistemi	Hidrolik disk, ön, arka, el freni	Hidrolik disk, ön, arka, el freni
Motor	Tip	BLDC-inrunner
Motor sürücüsü	Kendi tasarımları, hazır ürün	Hazır
Motor gücü	kW	5kW
Motor verimliliği	%	89
Elektrik makinesi ağırlığı	kg	13kg
Batarya	type	LiFePO4
Batarya paketi nominal gerilimi	V	96V
Batarya paketi kapasitesi	Ah	100A
Batarya paketi maksimum gerilimi	V	116.8V
Batarya paketi enerjisi	Wh	10kWh
Yakıt pili gücü	kW	-
Hidrojen silindirleri sayısı	#	-
Hidrojen silindir basıncı	bar	-
Süperkapasitör	Evet / Hayır	-
Kategorinize uygun olan boşlukları doldurmalısınız		-

2. Dinamik Sürüş Testi

Yapılan analiz, inceleme ve değerlendirme çalışmaları sonucunda elektrikli araç yarışlarında kullanılmak üzere tasarlanan aracın sürüş karakteristiğini doğrudan etkileyen tüm yapı elemanları (yay-amortisör, tekerlek bağlantıları, fren, direksiyon, lastikler vb.) tasarım doğrultusunda birleştirilerek araç hareket edebilecek duruma getirilmiştir. Fakat yaşanan elektriksel arıza nedeni ile dinamik sürüş testleri gerçekleştirilememiştir. Aracın tasarım süreci ile ilgili şekiller Şekil 1'de yer almaktadır. Araç çalışma zaman çizelgesi doğrultusunda planlanan süreler içerisinde tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda yürür hale getirilen aracın farklı perspektiflerden görünüşü Şekil 2'de yer almaktadır.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

Şekil 1. Araç tasarım süreçleri ile ilgili farklı aşamalara ait görseller

(a)

(b)

(c)

Şekil 2. Tasarımı yapılan elektrikli aracın farklı perspektiflerden görünüşü

3. Yerli Parçalar

Elektrikli araç yarışları kapsamında tasarımı yapılan elektrikli aracın motoru proje ekibi ile yerli imkanlar ile üretilmiştir. Yerli tasarımı içeren bölüm Çizelge 2 içerisinde işaretlenmiştir.

Çizelge 2. Yerli parçalar tablosu

1. Motor	**Elektromobil ve Hidromobil için zorunlu**	☒
2. Motor sürücüsü	**Elektromobil ve Hidromobil için zorunlu**	☐
3. Batarya yönetim sistemi (BYS)	**Elektromobil ve Hidromobil için zorunlu**	☐
4. Yerleşik şarj birimi	**Elektromobil için zorunlu**	☐
5. Enerji yönetim sistemi *	**Hidromobil için zorunlu**	☐
6. Batarya paketleme	**Opsiyonel**	☐
7. Elektronik diferansiyel uygulaması	**Opsiyonel**	☐
8. Araç control sistemi (AKS)	**Opsiyonel**	☐
9. Yakıt pili *	**Opsiyonel**	☐
10. Yakıt pili kontrol sistemi *	**Opsiyonel**	☐
11. İzolasyon izleme cihazı	**Opsiyonel**	☐
12. Direksiyon sistemi	**Opsiyonel**	☐
13. Kapı mekanizması	**Opsiyonel**	☐

** Sadece hidromobil kategorisi için*

4. Motor

Elektrikli araç yarışları kapsamında tasarımı yapılan elektrikli aracın motoru proje ekibi ile yerli imkanlar ile üretilmiştir.

a) Tasarım Hesaplamaları

Motor tasarımı isterlerinin belirlenmesi:

Araç ağırlığı:360kg
Araç hızı: 50km/h(13.88m/s)
İvmelenme: 0.5m/s^2
Teker çapı: 19inç(49mm)
Hava sürtünmesi: 55N
Yuvarlanma Direnci:50N
İvmelenme kuvveti: 180N

Toplam Kuvvet: 285N
Toplam güç: 285X13.88m/s=3.95kW
Motor Devri:$\frac{16.65*60}{3,14*0,49}x4 = 2150RPM$
Motor torku: 17.5Nm
Motor Gerilimi: 96VDC

Motor Boyutlarının Belirlenmesi

Motor boyutları ihtiyaç duyulan momentuma göre TRV formülü kullanarak belirlenir. Bizim motor tipimizden birim hacimde $20kN/m^3$ momentum elde edilebilir. Bu doğrultuda;

$$TRV = \frac{T}{\frac{\pi D^2 L}{4}}$$

$$D^2L = \frac{T}{\frac{\pi TRV}{4}} = \frac{0,0175 * 4}{\pi * 20} = 1.145x10^{-3}\ m^3$$

Tasarımda boyutlar bu doğrultuda,
D=Rotor dış çap=78mm
L=Rotor uzunluk=156mm olarak belirlenmiştir.

2p=Motor çift kutup sayısı: 8
N=Oyuk sayısı: 36
olarak belirlenmiştir.

Oyuk sayıyısı ve kutup sayısı arasındaki sargı faktörü 0.95 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Motor Frekansı, Zıt EMK ve sargı tasarımı

Motor Frekansı: $\frac{4*2200}{60} = 147Hz$

Motor devri 2200RPM sabit olarak belirlenmiştir PMSM motor ve FOC sürücü kullandığımız için devri 2200RPM sabit olarak belirlenmiştir.

Hava boşluğu manyetik alanını 0.9T olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda; V_{rms}= : $\frac{96-2}{\sqrt{3}*\sqrt{2}} = 38.375\ ise;$

$$\phi = \frac{2}{\pi} B_g * T_p * L = 4{,}5 * 0{,}9 * 0{,}637 * 156 * 10^{-3} = 0{,}4Wb$$

Sargı tur sayısı: 4 tur çift sargılı olduğu için her bir faz 2 sipir olarak belirlenmiştir.

Akım yoğunluğu ve doluluk oranı

Stator oyuk doluluk oranı %50 civarı tutulmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda kullanılan tel sayısı 10 tel olarak belirlenmiştir. 10 Tel ile maksimum akım yoğunluğu A/mm^2=7mm^2 olarak belirlenmiştir.

Kalan stator diş tasarımı, mıknatıs boyutları, stator ve rotor iç-dış çapları, stator diş yoğunluğu gibi değerler Maxwell RMxprt üzerinden geliştirilmiştir.

b) Manyetik analiz çalışmaları

ANSYS Maxwell RMxprt ile motor tasarımı

RMxprt tasarımı sonrası analiz çıktısı üzerinden hem tasarım boyutları hem de analiz sonuçları anlatılacaktır.

RMxprt tasarımı sonrası analiz çıktısı üzerinden hem tasarım boyutları hem de analiz sonuçları anlatılacaktır.

ADJUSTABLE-SPEED PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR DESIGN
(Analiz sonuçlarında elde edilen veriler Türkçe-İngilizce olarak teknik aksaklık yaşanmaması için birlikte verilmiştir.)

Rated Output Power (kW):	3.5	##Analizin yapıldığı güç,
Rated Voltage (V):	64.4881	## çalıştırma gerilimi
Number of Poles:	8	## Çift kutup sayısı
Frequency (Hz):	146.667	## Motor Frekansı
Frictional Loss (W):	20	##Sürtünme kayıpları
Windage Loss (W):	20	## Rüzgar kayıpları

Rotor Position: Inner ##iç gövdesi dönen rotor tipi
Type of Circuit: Y3 ## faz bağlantı şekli
Type of Source: Sine ## Motor uygulanan gerilim şekli
Domain: Frequency
Operating Temperature (C): 75 ## referans alınan çalıştırma sıcaklığı

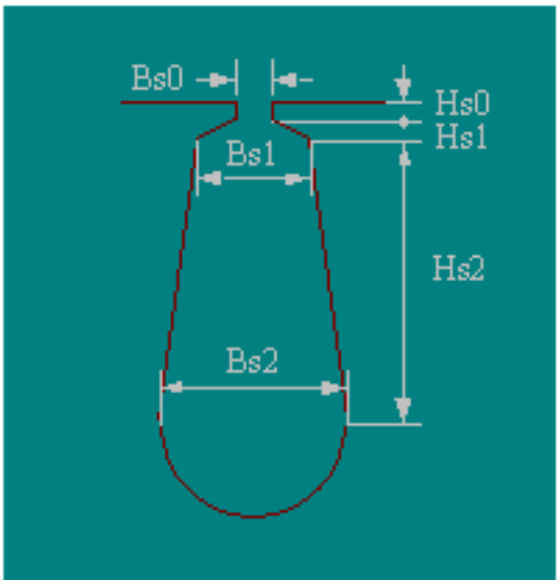
STATOR DATA

Number of Stator Slots: 36 ##stator oyuk sayısı
Outer Diameter of Stator (mm): 122.5 ##stator dış çapı
Inner Diameter of Stator (mm): 80 ## stator iç çapı

Type of Stator Slot: 2 ##stator oyuk tipi

##stator diş ve oyuklarının boyutları

Stator Slot
hs0 (mm): 0.71
hs1 (mm): 0.8
hs2 (mm): 9.7
bs0 (mm): 1.8
bs1 (mm): 3.41691
bs2 (mm): 5.11419



Şekil 3. Stator oyuk tasarımında belirlenen boyutların görsel üzerindeki konumu

Top Tooth Width (mm): 3.83
Bottom Tooth Width (mm): 3.83
Skew Width (Number of Slots): 1

Length of Stator Core (mm): 156
Stacking Factor of Stator Core: 0.95
Type of Steel: M22_24G ##stator sac tipi

Oyuk tasarımı yapılırken dişlerdeki manyetik doyuma dikkat edilmiştir. Manyetik doyum seviyeleri Tesla cinsi ile aşağıda bölümlerde yer almaktadır.
Stator sac tipi yine histerisiz ve eddy kayıplarına uygun Türkiye'de ulaşabileceğimiz en iyi sac tipi olarak belirlenmiştir.

##stator sargı tasarımı

Designed Wedge Thickness (mm): 0.799999
Slot Insulation Thickness (mm): 0
Layer Insulation Thickness (mm): 0
End Length Adjustment (mm):0
Number of Parallel Branches: 1
Number of Conductors per Slot: 4 ## oyuk başına sipir sayısı
Number of Layers: 2 ## stator sarım katman sayısı
Winding Type: Whole Coiled ## stator sargı tipi
Average Coil Pitch: 4
Number of Wires per Conductor: 10 ##bir fazdaki tel sayısı
Wire Diameter (mm): 0.8 ## tel kalınlığı
Wire Wrap Thickness (mm): 0.05
Slot Area (mm^2): 55.0116
Net Slot Area (mm^2): 51.6468
Limited Slot Fill Factor (%): 65
Stator Slot Fill Factor (%): 55.957 ##oyuk doluluk oranı
Coil Half-Turn Length (mm): 196.122
Wire Resistivity (ohm.mm^2/m): 0.0217

Stator sargısı 2 katmanlı sargı yapılarak devir sayısı artılmıştır. Sipir sayısı da düşürülerek devrin yine arttırılması hedeflenmiştir.
Tel sayısı da kullanılan tele göre ve stator oyuk yoğunluğuna göre belirlenmiştir. Oyuk doluluk oranının %60 altında tutulması hedeflenmiştir.

ROTOR DATA

Minimum Air Gap (mm): 0.95 ## rotor stator arası hava boşluğu
Inner Diameter (mm): 30 ## rotor iç çapı-mil dış çapı
Length of Rotor (mm): 156 ## rotor uzunluğu
Stacking Factor of Iron Core: 0.95 ## rotor laminasyon sıkıştırma katsayısı
Type of Steel: steel_1008 ## rotor sac tipi
Polar Arc Radius (mm): 39.05
Mechanical Pole Embrace: 0.92 ## rotoru mıknatısların doldurma oranı
Electrical Pole Embrace: 0.899768
Max. Thickness of Magnet (mm): 3 ## mıknatıs kalınlığı
Width of Magnet (mm): 27.1324 ## mıknatıs genişliği
Type of Magnet: Arnold_Magnetics_N38SHZ_120C_2DSF1.000_N ##mıknatıs tipi
Type of Rotor: 1
Magnetic Shaft: Yes

Rotor boyutları mil boyutlarına ve stator boyutlarına göre belirlenmiştir. Mıknatıs türü ulaşılabilecek en güçlü mıknatıs türü olarak belirlenmiştir.

PERMANENT MAGNET DATA ## mıknatıs özellikleri

Residual Flux Density (Tesla): 1.01199
Coercive Force (kA/m): 805.318
Maximum Energy Density (kJ/m^3): 203.744
Relative Recoil Permeability: 1.00003
Demagnetized Flux Density (Tesla): 0
Recoil Residual Flux Density (Tesla): 1.01199
Recoil Coercive Force (kA/m): 805.318

MATERIAL CONSUMPTION

Armature Wire Density (kg/m^3): 8900
Permanent Magnet Density (kg/m^3): 7500
Armature Core Steel Density (kg/m^3): 7650
Rotor Core Steel Density (kg/m^3): 7872

Armature Copper Weight (kg): 1.26342
Permanent Magnet Weight (kg): 0.761877
Armature Core Steel Weight (kg): 5.418

Rotor Core Steel Weight (kg): 3.9385
Total Net Weight (kg): 11.3818 ##toplam tahmini net motor ağırlığı

Armature Core Steel Consumption (kg): 17.8565
Rotor Core Steel Consumption (kg): 6.57981

STEADY STATE PARAMETERS
bu parametreler manyetik devre tasarımında kullanılır

Stator Winding Factor: 0.945214 ## sargı faktörü
D-Axis Reactive Inductance Lad (H): 0.000108207
Q-Axis Reactive Inductance Laq (H): 0.000108207
D-Axis Inductance L1+Lad (H): 0.00018942
Q-Axis Inductance L1+Laq (H): 0.00018942
Armature Leakage Inductance L1 (H): 8.12133e-05
Slot Leakage Inductance Ls1 (H): 7.47163e-05
End Leakage Inductance Le1 (H): 4.15869e-06
Harmonic Leakage Inductance Ld1 (H): 2.33829e-06
Zero-Sequence Inductance L0 (H): 6.30186e-05
Armature Phase Resistance R1 (ohm): 0.0406403
Armature Phase Resistance at 20C (ohm): 0.0334299

NO-LOAD MAGNETIC DATA

Stator-Teeth Flux Density (Tesla):1.42738 ##stator diş ucu manyetik yoğunluğu
Stator-Yoke Flux Density (Tesla): 1.26459 ## stator boyunduruk manyetik yoğunluk
Rotor-Yoke Flux Density (Tesla): 0.500746 ## rotor boyunduruk manyetik yoğunluğu
Air-Gap Flux Density (Tesla): 0.69998 ##hava boşluğu manyetik yoğunluğu
Magnet Flux Density (Tesla): 0.754732

Manyetik yoğunluklar üstte görülmektedir. Stator diş ucu yoğunluğu 2.1 teslayı stator boyunduruk yoğunluğu ise 1.8 teslayı geçmemelidir.

Stator-Teeth By-Pass Factor: 0.00193509
Stator-Yoke By-Pass Factor: 3.13121e-05
Rotor-Yoke By-Pass Factor: 2.43257e-05

Stator-Teeth Ampere Turns (A.T):20.3641
Stator-Yoke Ampere Turns (A.T): 4.89516
Rotor-Yoke Ampere Turns (A.T): 1.2924

Air-Gap Ampere Turns (A.T): 587.728
Magnet Ampere Turns (A.T): -614.163

Leakage-Flux Factor: 1
Correction Factor for Magnetic
Circuit Length of Stator Yoke: 0.371494
Correction Factor for Magnetic
Circuit Length of Rotor Yoke: 0.700077

No-Load Line Current (A): 16.0204
No-Load Input Power (W): 133.401
Cogging Torque (N.m): 5.04592e-12

FULL-LOAD DATA

Maximum Line Induced Voltage (V): 96.8381 ##indüklenen hat gerilimi
Root-Mean-Square Line Current (A): 39.1986 ## hat akımları
Root-Mean-Square Phase Current (A): 39.1986 ## faz akımları
Armature Thermal Load (A^2/mm^3): 175.14
Specific Electric Loading (A/mm): 22.4587
Armature Current Density (A/mm^2): 7.79831 ## akım yoğunluğu
Frictional and Windage Loss (W): 40 ## rüzgar ve sürtünme kayıpları
Iron-Core Loss (W): 60.1084 ## histerisiz eddy kayıpları
Armature Copper Loss (W): 187.331 ## bakır içdirenç kayıpları
Total Loss (W): 287.44 ## toplam kayıp
Output Power (W): 3502 ## çıkış gücü
Input Power (W): 3789.44 ## giriş gücü
Efficiency (%): 92.4147 ## verim

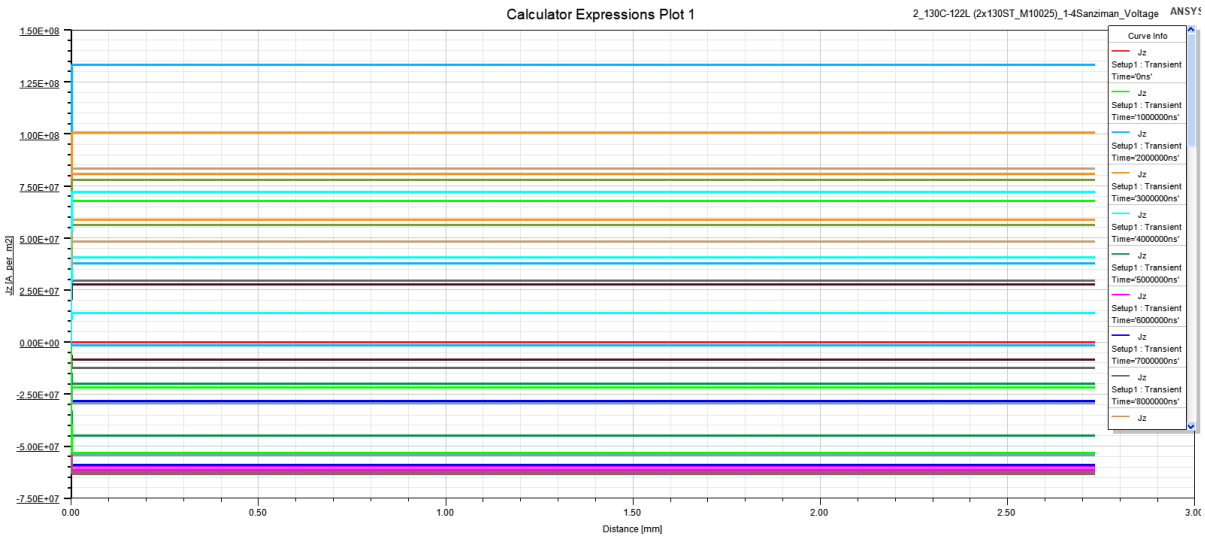
Power Factor: 0.851806
IPF Angle (degree): -41.127
NOTE: IPF Angle is Internal Power Factor Angle.

Synchronous Speed (rpm): 2200 ## senkron hız
Rated Torque (N.m): 15.2007 ## çalışma torku
Torque Angle (degree): 9.53565

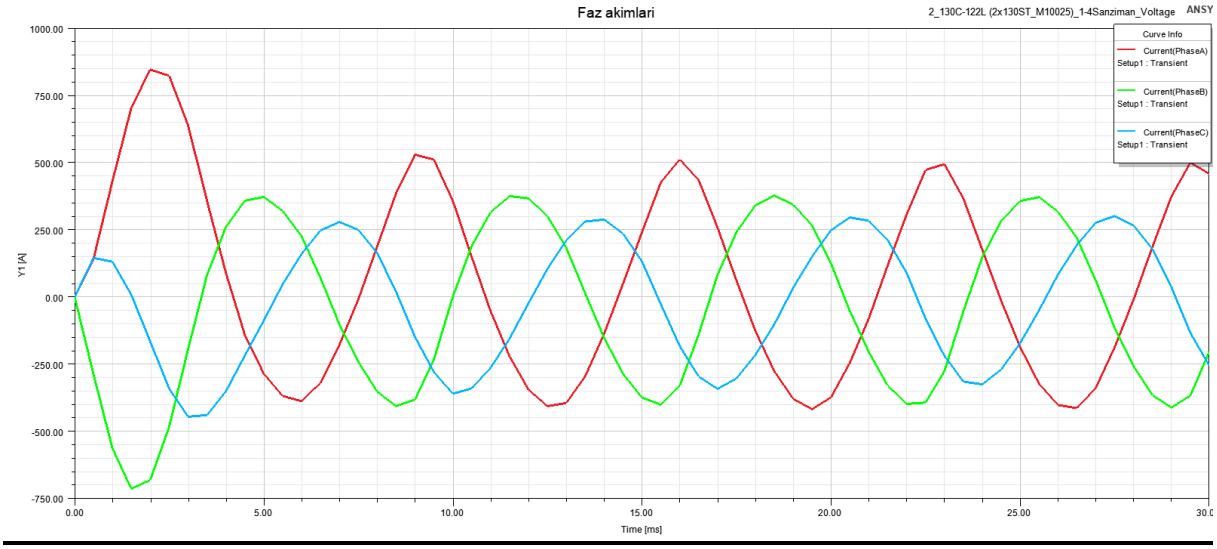
Maximum Output Power (W): 18885.8

Maxwell 2D analiz Sonuçları

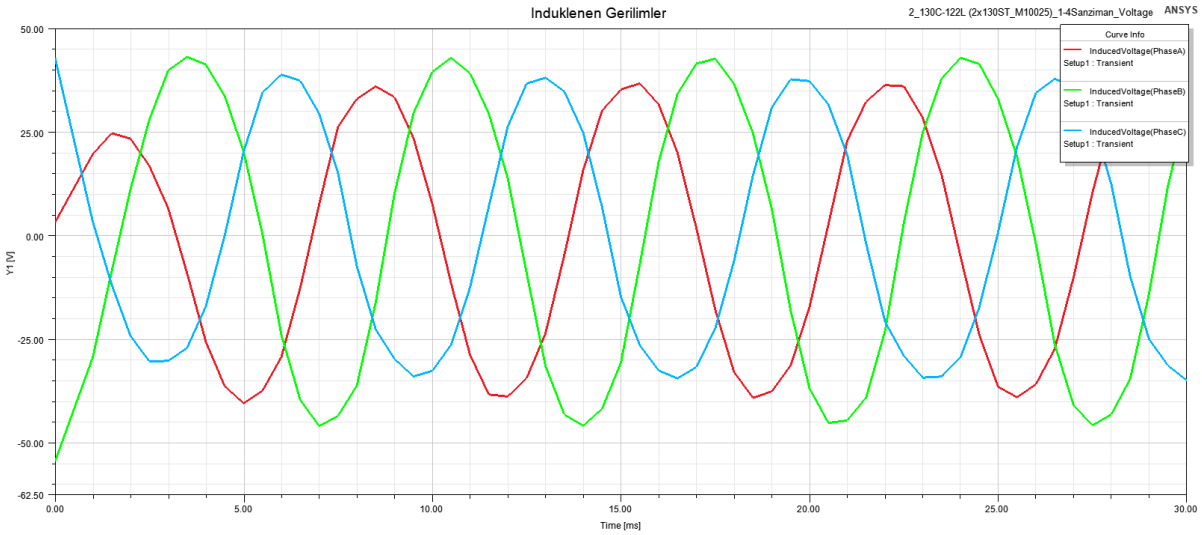
RMxprt'de tasarım gerçekleştirildikten sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Sonrasında analiz çıktıları ile 2 Boyutlu tasarım oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarımda bazı düzenlemeler yapılarak, tasarım 2 boyutlu analize hazır hale getirilmiştir. Analizler hem grafiksel hem de motorun bir kesitindeki dağılımlar olmak üzere 2 farklı şekilde yapılmıştır. Çalışma süresince yapılan analizler şekillerde yer almaktadır. Şekil 4 ile motorun bazı anlarında sargılar üzerine oluşan akım yoğunluğu görülmektedir. Motorun her fazının çektiği akımlar Şekil 5'te yer almaktadır. Elde edilen akım değerleri referans alınarak en uygun sürücü seçimi yapılmıştır. Motor fazları üzerinde indüklenen gerilimler Şekil 6'da yer almaktadır. İndüklenen gerilimlere göre istenildiğinde sargı tasarımında değişiklikler yapılabilmektedir. Motor üzerindeki tesla cinsinden manyetik dağılım Şekil 7'de yer almaktadır. Dağılım sonucunda manyetik alan yoğunluğu çok yüksek olduğu yerler renk skalasında kırmızı ile görülmektedir. İlgili bölgelerde kırmızı renk skalasının yoğun olarak dağılması motorun üzerinde istenmeyen durumlara neden olacaktır. Olumsuzlukların ortadan kaldırılabilmesi için manyetik diş-boyunduruk yoğunluğu azaltılmalıdır. Fakat motor üzerinde yapılan manyetik analizler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda tasarımın uygun olduğu ve gerekli standartları karşıladığı görülmüştür.



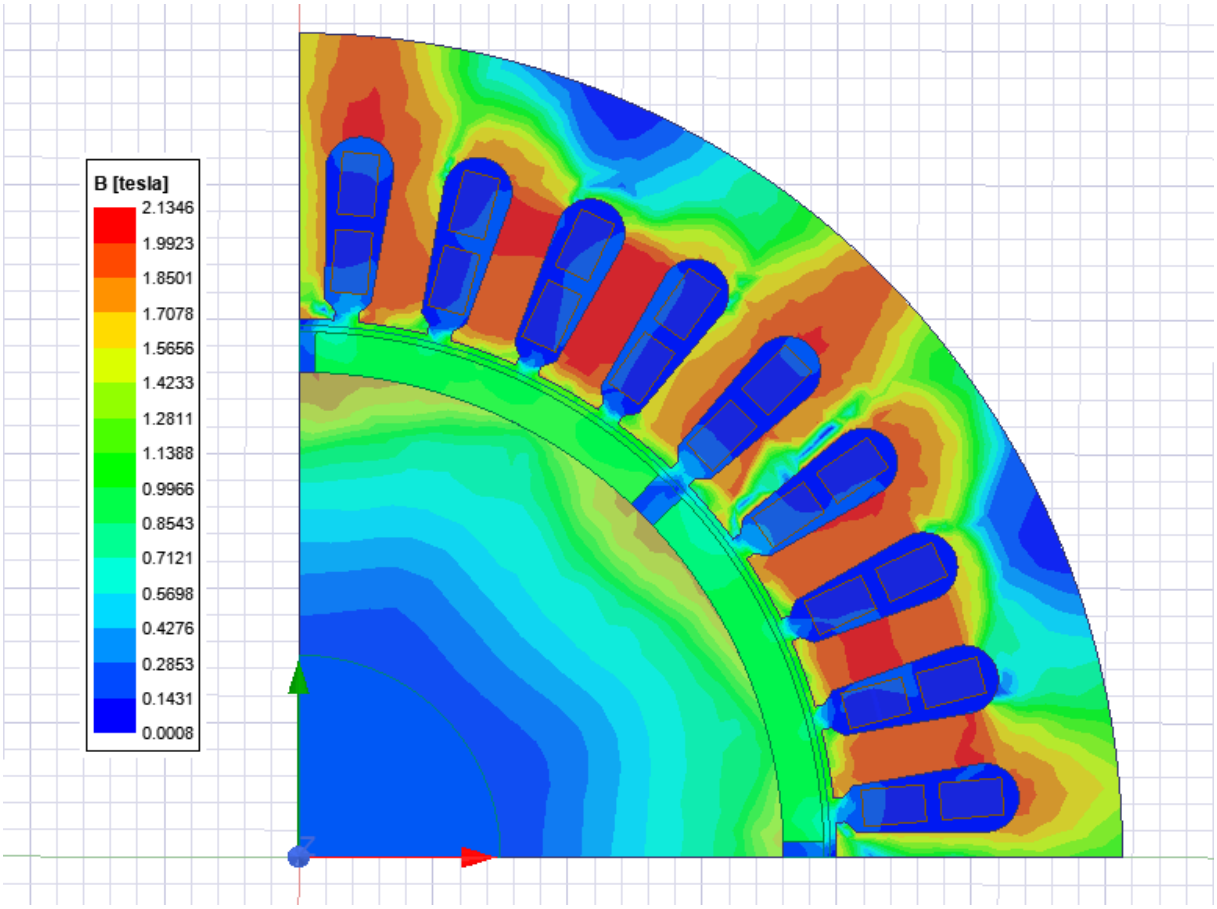
Şekil 4. Zamana göre akım yoğunluğu grafiği



Şekil 5. Faz akımları



Şekil 6. Motor fazları üzerinde indüklenen gerilimler



Şekil 7. Motor üzerinde manyetik dağılım

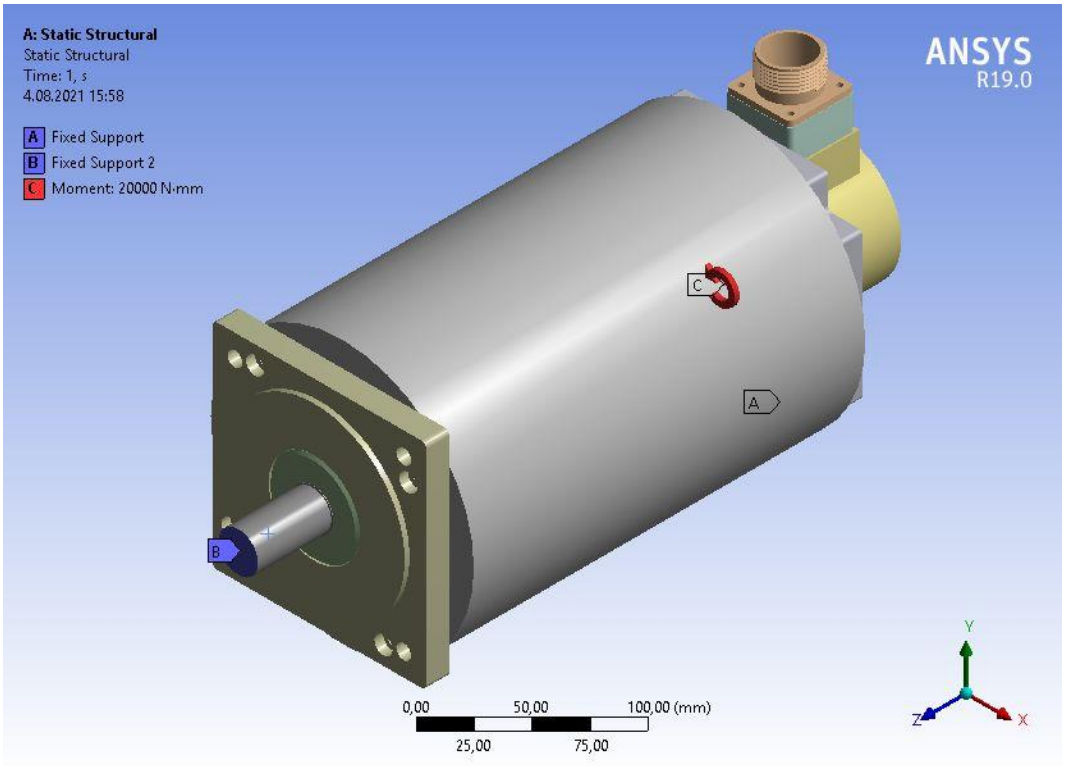
Diğer isterler ve ekler:

- Manyetik analiz ve tasarım sonuçları,
- Sonlu eleman analizleri sonuçları,
- Sargı şeması,

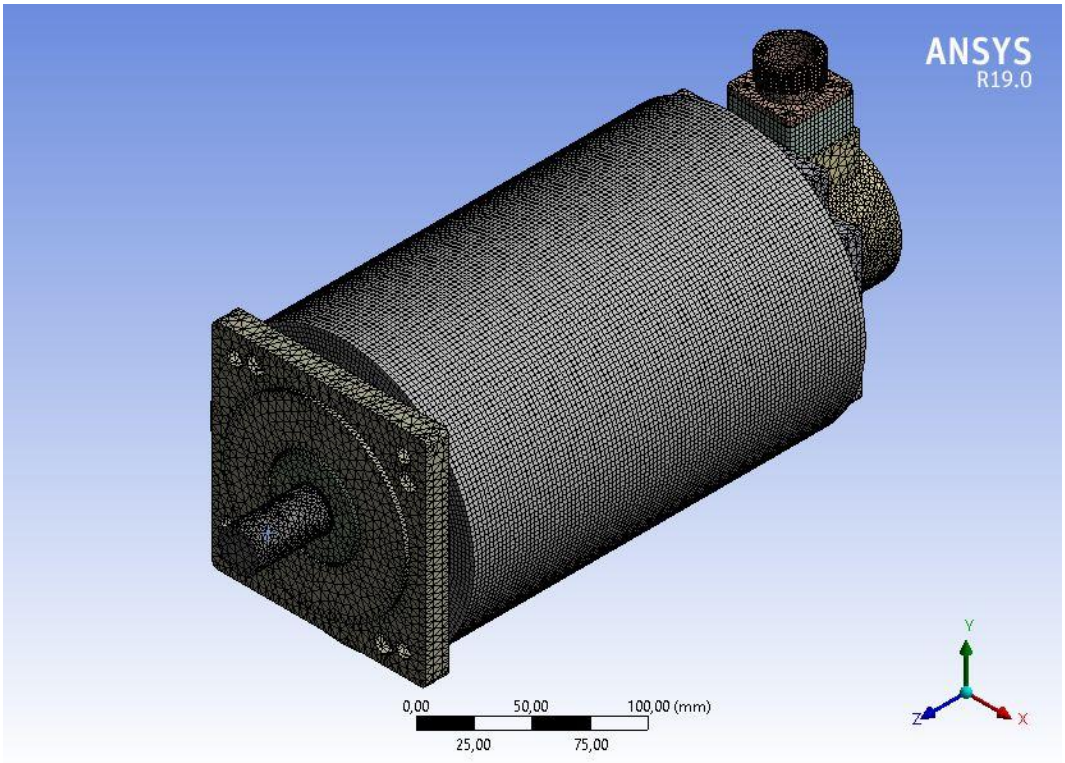
Gibi çıktılar ve rapor isterleri eklerde verilmiştir.

c) Mekanik Analiz Çalışmaları

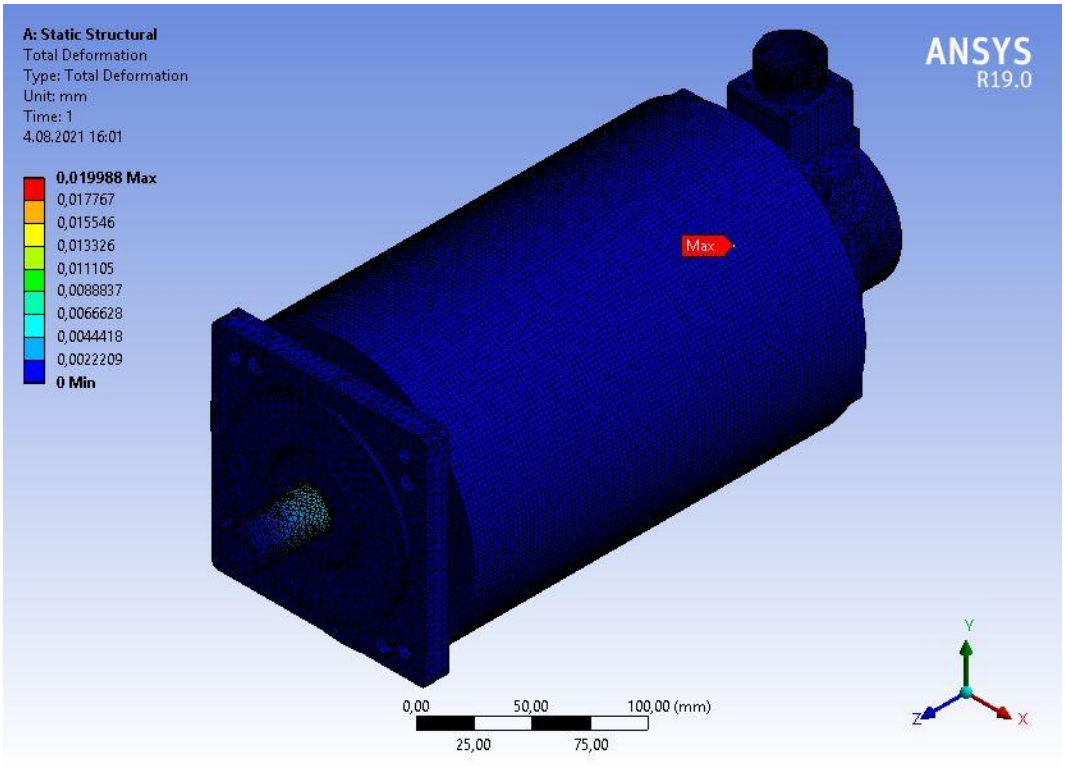
Teknik tasarım raporu kapsamında tasarlanan ve üretilen elektrik motorunun mekanik analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerilme ve deformasyon analizleri elektrik motoru ve motor mili için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 8-12 arasında yer almaktadır. Elde edilen sonuçların yük altındaki elektrik motorunun ve milin gerekli standartlara uygun sonuçlar açığa çıkarttığı görülmektedir.



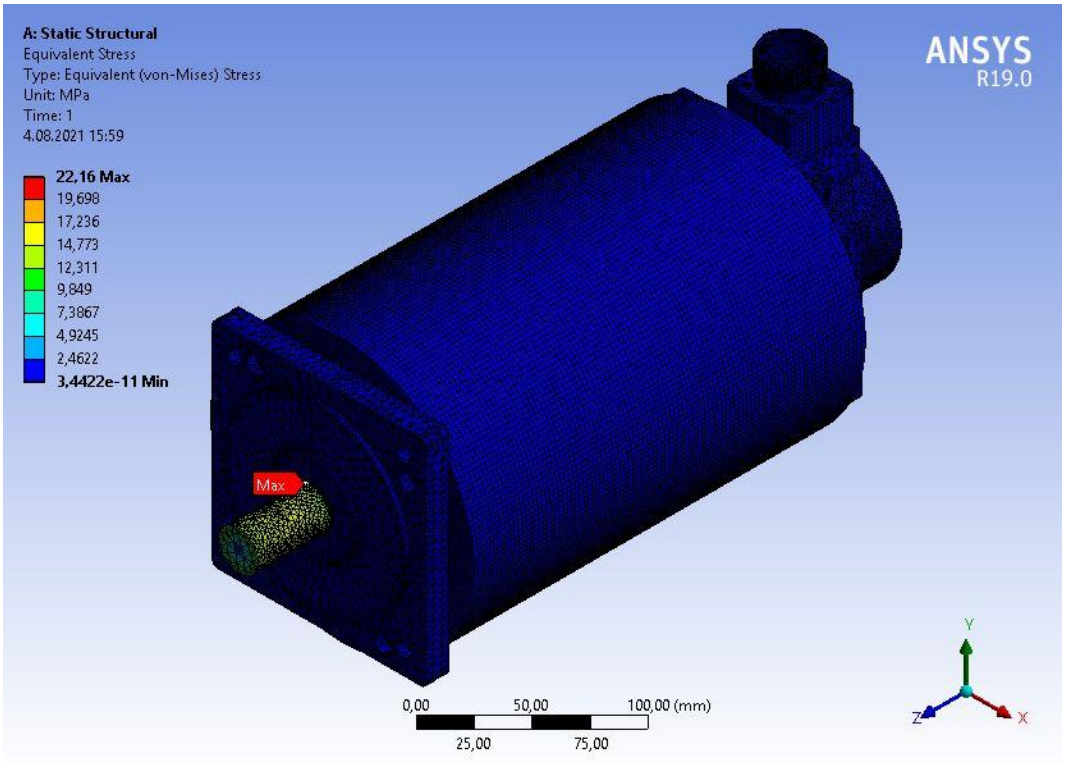
Şekil 8. Tasarımı yapılan elektrik motorunun üç boyutlu modeli



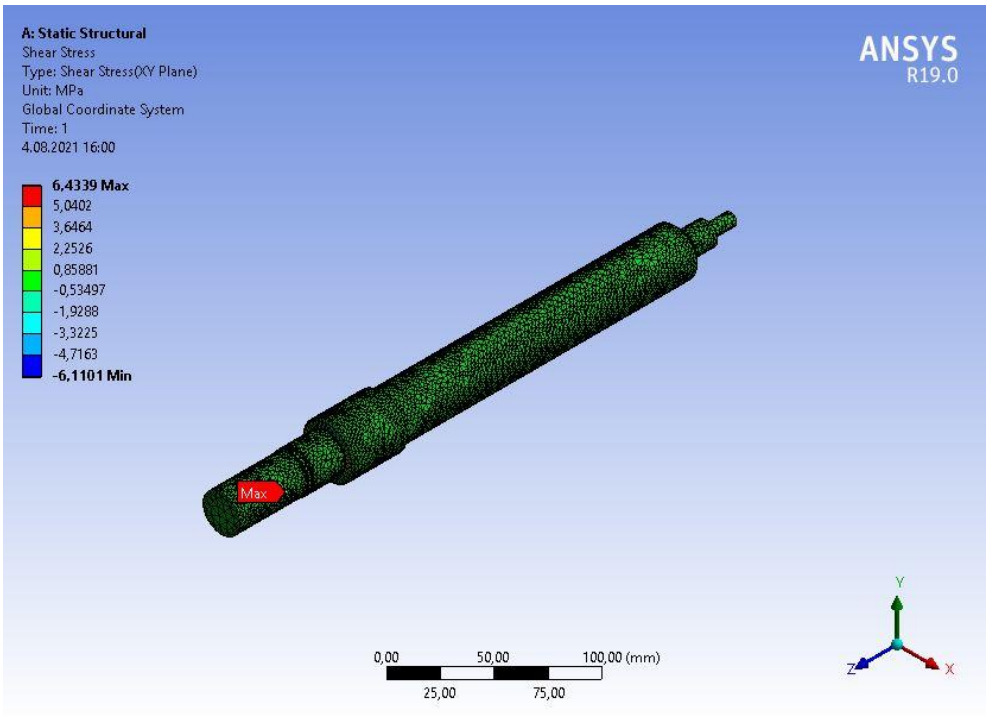
Şekil 9. Elektrik motorunun ağ yapısı



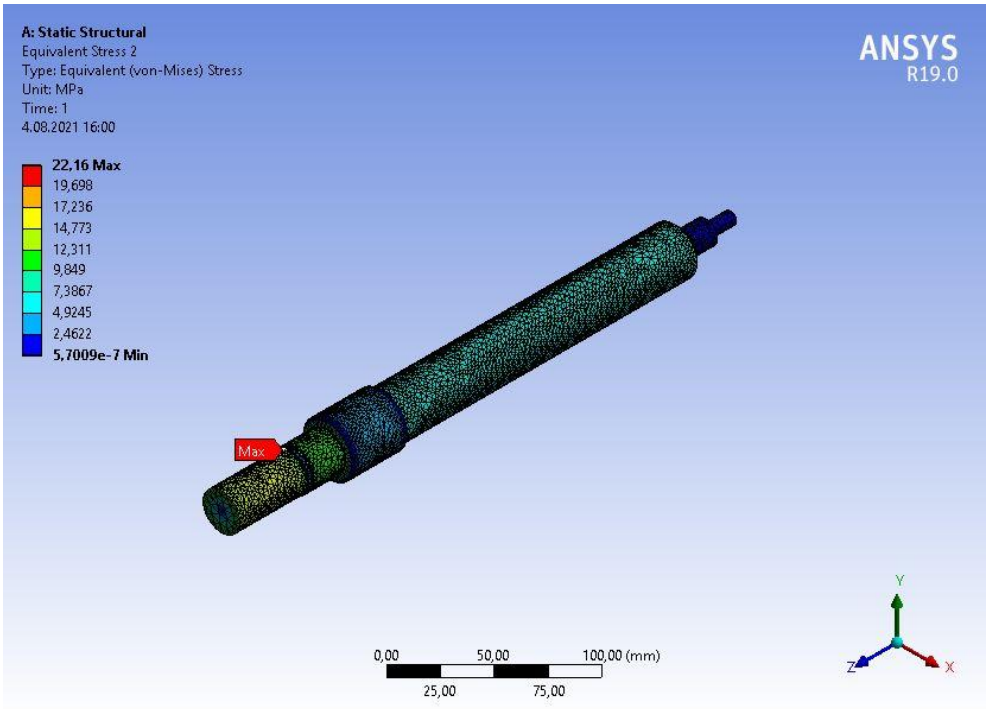
Şekil 10. Tasarımı yapılan elektrik motorunun deformasyon analizi



Şekil 11. Tasarımı yapılan elektrik motorunun gerilme analizi



(a)



(b)

Şekil 12. Elektrik motorunun miline ait gerilme analizi

d) Termal Analiz Çalışmaları

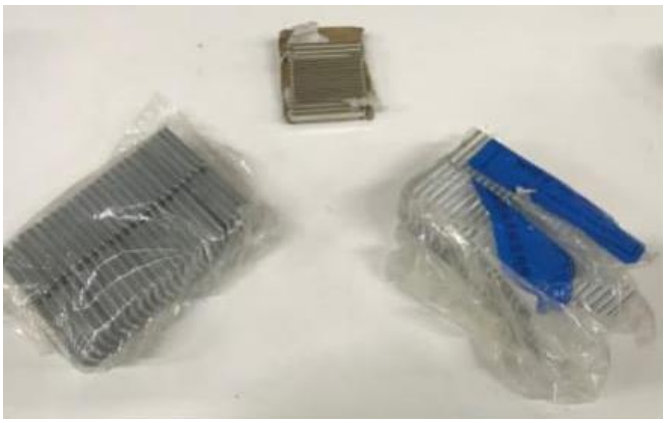
Termal analizler Teknik Tasarım Raporu bölümde gerçekleştirilmemiştir. Motorun yük altında termal kamera ile görüntülenmesinin yanı sıra termal olarak yüzeyde ısıl dağılımının sayısal olarak incelenmesi planlamaktadır.

e) Üretim Çalışmaları

Tasarımı ve üretimi yapılan elektrikli aracın motoru gövde, stator, mil, ön ve arka rulman yatağı olmak üzere beş ana parçadan oluşmaktadır. Motor üretim aşamaları Şekil (12)3-16 arasında yer almaktadır. Prototip üretiminde kullanılan silindirik yapı ise bu streslere ve uzamalara dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bundan dolayı mıknatısları tutan bu silindirik yapının (Şekil 16), oluşan streslere ve uzamalara dayanım hesaplamalarının analitik olarak yapılması ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile analiz edilmesi sistemin sürekliliği ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Rotorun sağlayacağı mukavemet hesaba katılmadan, mıknatısların sadece silindirik yapı tarafından tutulduğu varsayılarak, maksimum sınır şartları sağlanmıştır.

Şekil 12. Stator üretimleri

Şekil 13. Rotor üretimleri



Şekil 14. Mıknatıs üretimleri

Şekil 15. Sleeve malzeme üretimleri

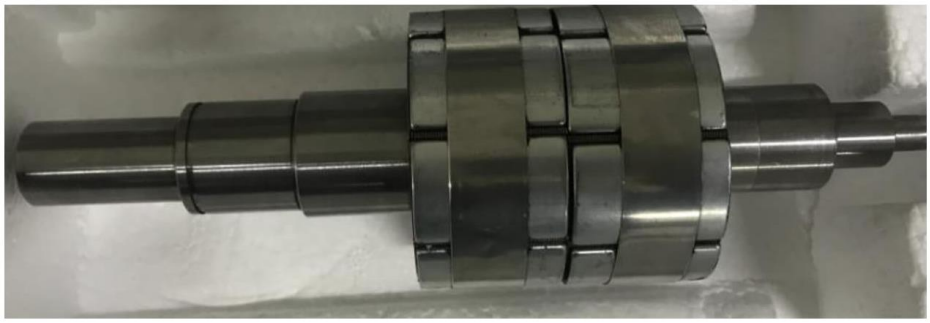
Şekil 16. Mil üretimleri

Şekil 17. Enkoder ve kapakları

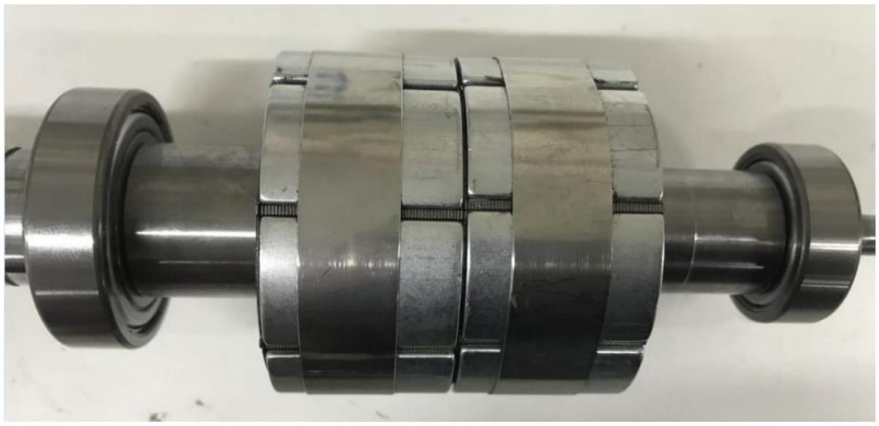
Şekil 18. Enkoder, kapakları ve konnektorleri

Şekil 19. 1. kademe taşlamaları

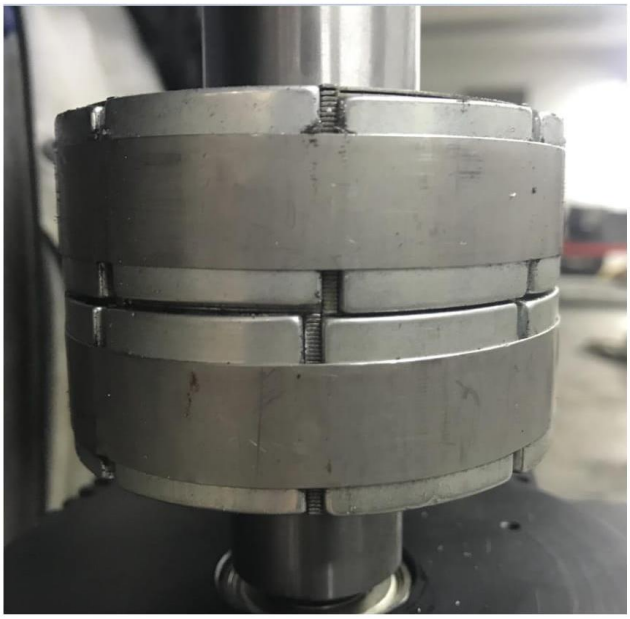
Şekil 20. 2. kademe taşlamaları



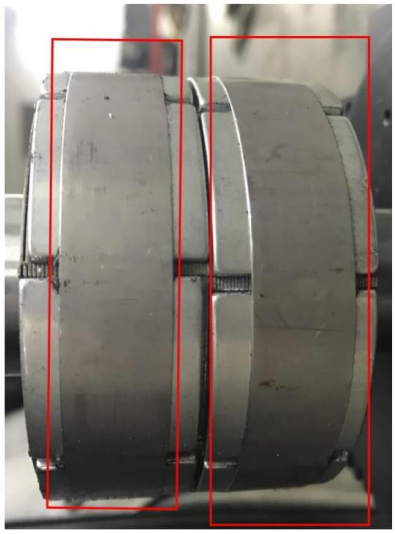
Şekil 21. Rotor+mıknatıs+sleeve montajı



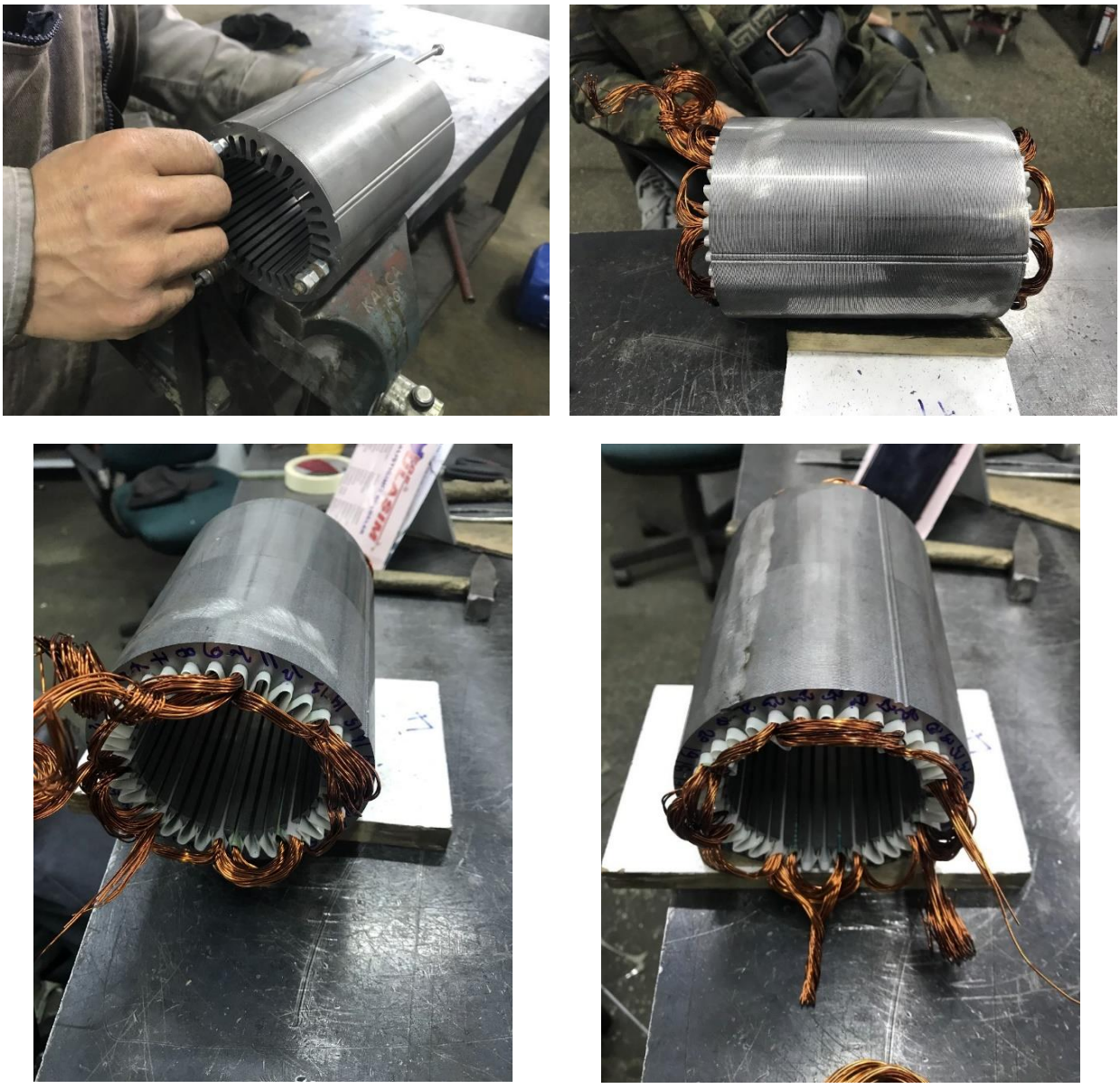
Şekil 22. Rotor+mıknatıs+sleeve+rulman montajı



Şekil 23. Rotor skew açısı

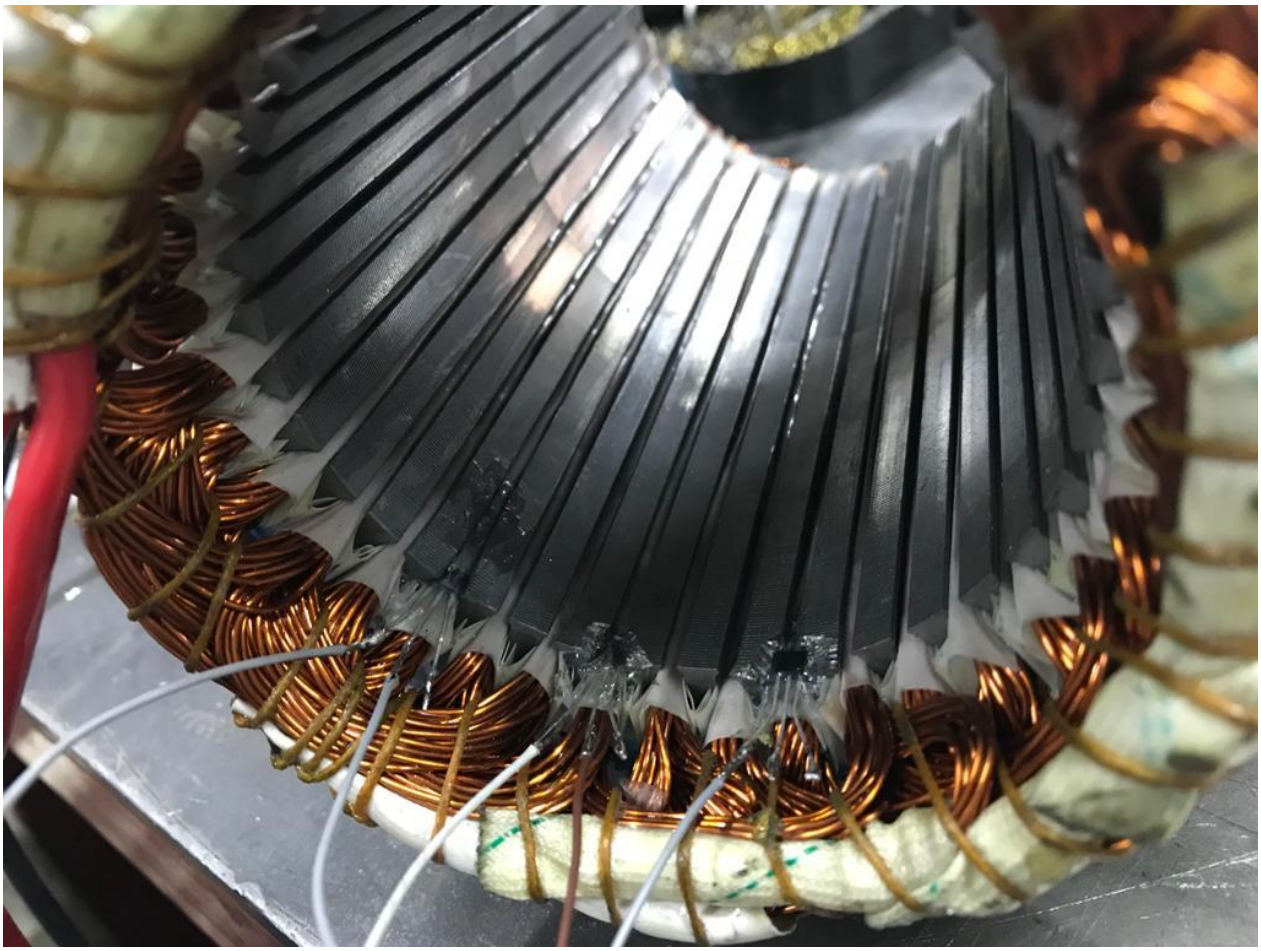


Şekil 24. Mıknatısları koruyan manyetik geçirgenliği olmayan Sleeve malzemesi



Şekil 25. Motor sargı üretim aşamasına ait farklı resimler

Şekil 25. Motor sargı üretim aşamasına ait farklı resimler (devamı)



Şekil 25. Motor sargı üretim aşamasına ait farklı resimler (devamı)

f) Motor Test Sonuçları ve Verim

Sadece çalışma testi yapılmıştır. Drive dosyasında Video eklenmiştir. Verim oranı analiz sonuçlarına göre %90'dır.

link: https://sendgb.com/l8eY7SXLD3P

g) Karşılaştırma Tablosu

Üretilen motorun özellikleri Çizelge 3'te yer almaktadır. Motor üretimi araç ağırlığı, araç hızı, ivmelenme, teker çapı, hava sürtünmesi, yuvarlama direnci, toplam güç ve kuvvet, motor torku ve gerilimi dikkate alınarak yapılmıştır.

Çizelge 3. Motor özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Yeni Tasarım
Motor Tipi	:	BLDC Outrunner	PMSM İnrunner
Motor Faz Gerilimi	:	96V	96V
Motor Gücü	:	5kW	3.5-5kW
Motor Devri	:	1200RPM	2200RPM
Motor Boyutları	:	D:32cm L:12cm	D:20cm L:28cm
Motor Ağırlığı	:	20kg	13kg
Motor Verimi	:	%80	%90
Motor Ana Boyutları	:	300x90mm	130x160mm
Stator Boyutu	:	255x60mm	122x156mm
Rotor Boyutu	:	260x60mm	78x156mm
Sargı Şeması	:	Ektedir.	Ektedir.
Motor Optimizasyonu	:	Motor değiştirildi.	Analizlerde iterasyonlarla geliştirildi.
Manyetik Tasarım ve Analiz Modeli	:	Eklerdedir.	Eklerdedir.
Isıl Tasarım ve Analiz Modeli	:	YOK	YOK
Mekanik Tasarım ve Analiz Modeli	:	Eklerdedir.	Eklerdedir.
Motor Test Yöntemi ve Sonuçları	:	Yük altı test. Ektedir.	Eklerdedir.

5. Motor Sürücü

Motor Sürücüsü Kelly adlı üreticiden satın alınarak araç üzerine eklenmiştir. Motor Sürücü Özellikleri: USB portu üzerinden programlanabilir. Minimum Çalışma Gerilimi 70, Maksimum Çalışma Gerilimi 120V olarak ayarlanır. Maksimum DC Bus 144V, Tepe giriş akımı 280A, Tepe çıkış akımı 560A. BLDC motor sinüzoidal dalga ile tahrik edilebilmektedir. %99 Verimlilik ve IP66 Korumasına sahiptir. Rejeneratif Frenleme özelliğine sahiptir. Yüksek motor ve sürücü sıcaklığında PWM azalır. Aşırı sıcaklık, akım ve gerilim durumunda sürücü kontaktör tarafından kapatılır. Kısa devre korumasına sahiptir. Voltaj düştükçe PWM azalır. Sensör arızası durumunda sürücü kullanıcıyı uyarır ve PWM'yi kapatır.

Link: https://sendgb.com/l8eY7SXLD3P

Çizelge 4. Motor sürücüsü özellikleri tablosu

		Eski Tasarım	Yeni Tasarım
Anahtar	**:**	-	-
Sürücü Entegresi	**:**	-	-
Kontrolcü Entegresi	**:**	-	-
Kontrol Algoritması	**:**	-	-
Koruma Devresi	**:**	-	-
Elektrik Devre Tasarımı	**:**	-	-
Baskı Devre Kartı Tasarımı	**:**	-	-
Baskı Devre Kartı Üretimi	**:**	-	-
Yazılım Algoritması	**:**	-	-
Simülasyon Çalışmaları	**:**	-	-
Deneysel Çalışmalar	**:**	-	-
Boyut (PCB / Donanım Kutusu)	**:**	207.5*191.5*61.3mm	288*186mm
Güç / Akım / Gerilim	**:**	20kW/200A/96V	30kW/300A/96V
Verim	**:**	%98	%99

6. Batarya Yönetim Sistemi (BYS)

Batarya yönetim sistemimizin detaylı bilgileri drive da paylaşılmıştır.

Link: https://sendgb.com/l8eY7SXLD3P

Çizelge 5. Batarya yönetim sistemi özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Mevcut Tasarım
Pil Paketleme Tasarımı	**:**	-	32S
Çıkış Voltajı	**:**	-	116.8V
Çıkış Akımı	**:**	-	100A
Dengeleme Yöntemi (aktif veya pasif)	**:**	-	aktif
Devre Tasarım Tipi	**:**	-	-
SOC Tahmin Algoritması	**:**	-	-
Kontrol Algoritması	**:**	-	-
Yerli mi Değil mi	**:**	-	değil

7. Yerleşik Şarj Birimi

Gömülü Şarj Ünitesi hazır alınmıştır (Şekil 26). Gömülü Şarj Ünitesi Özellikleri: Boyut 303*150*90mm Verimlilik %88 Çalışma Sıcaklığı -15℃—+60℃, Depolama Sıcaklığı -40℃-+80℃ Maksimum Çıkış gücü 1000W AC giriş Voltajı 200V-230V çıkış akımı: 0-18A (96V pil için) tam köprü doğrultucu topolojisi kullanılır. Korumalar: Aşırı ısınmaya karşı koruma. Aşırı akım koruması. Düşük voltaj koruması. Ters bağlantı koruması. Kısa devre koruması bulunmaktadır.

Şekil 26. Gömülü şarj devresi

Çizelge 6. Yerleşik şarj birimi özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Güncel Tasarım
Devre Topolojisi	**:**	-	Tam köprü doğrultucu
Güç Seviyesi	**:**	-	1000W
Çıkış Voltaj Aralığı	**:**	-	200-230V
Çıkış Akım Salınımı	**:**	-	-
Giriş Güç Faktörü	**:**	-	-
Güç Çevrim Verimi	**:**	-	-
PWM Kontrol Entegresi	**:**	-	-
Koruma Devreleri / Elemanları	**:**	-	-
Baskılı Devre Boyutu	**:**	-	-

8. Enerji Yönetim Sistemi (EYS)

Enerji Yönetim Sistemi (EYS) elektrikli araç yarışları kapsamında tasarlanan BÖRÜ-OKÜ IARES aracında yer almamaktadır.

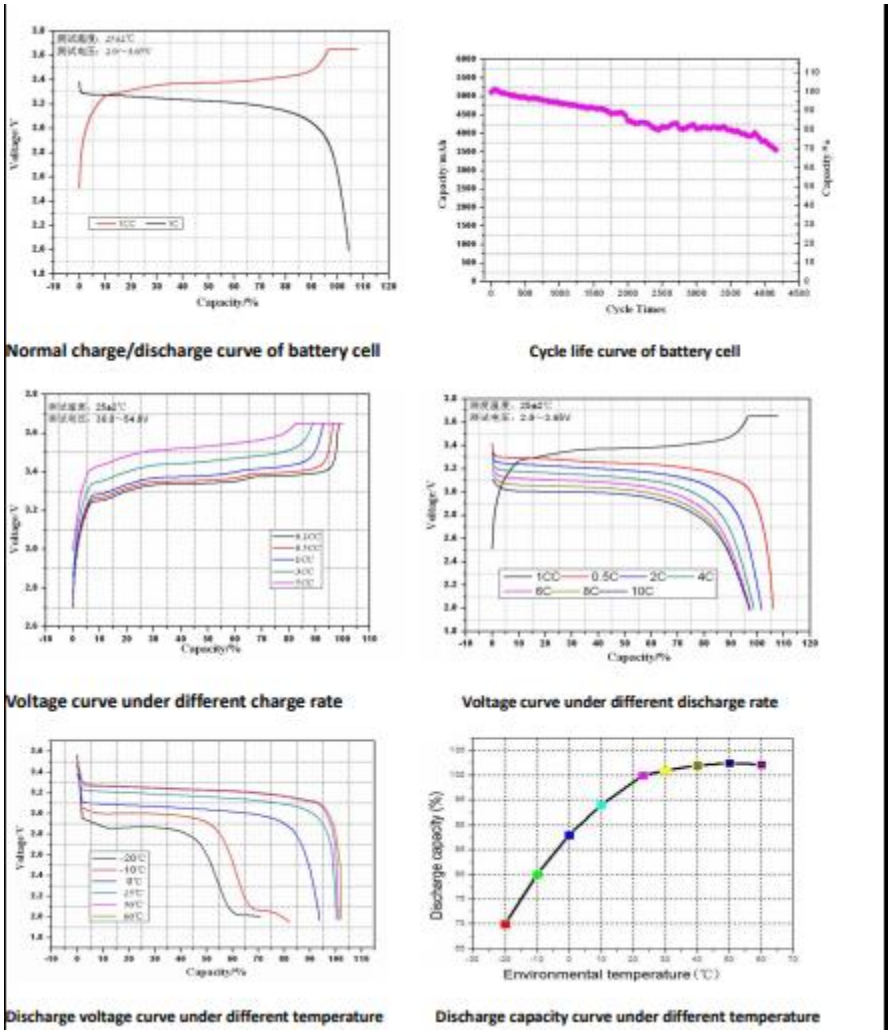
Çizelge 7. Enerji yönetim sistemi özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Güncel Tasarım
Devre Topolojisi	**:**	-	-
Güç Seviyesi	**:**	-	-
Giriş Gerilim Aralığı	**:**	-	-
Çıkış Gerilim Aralığı	**:**	-	-
Güç Çevrim Verimi	**:**	-	-
PWM Kontrol Entegresi	**:**	-	-
Yarıiletken Güç Anahtarları	**:**	-	-
Koruma Devreleri / Elemanları	**:**	-	-
Baskılı Devre Boyutu	**:**	-	-

9. Batarya Paketleme

Çalışmada hazır pil takımı kullanılmıştır. Bataryaya ait gerçek resim Şekil 27'de yer almaktadır. Şekil 28'de ise bataryanın teknik kılavuzunda yer alan akım-kapasite, gerilim-kapasite gibi grafikler yer almaktadır. Hazır alınan batarya takımına ait teknik bilgiler Çizelge 3'te batarya paketleme özellikleri tablosunda yer almaktadır.

Şekil 27. Hazır pil takımından oluşan batarya



Şekil 28. Hazır pil takımından oluşan batarya

Çizelge 8. Batarya paketleme özellikleri tablosu

		Güncel Tasarım
Nominal Kapasite	:	100Ah
Nominal Gerilim	:	96V
Enerji	:	10240Wh
Şarj Gerilimi	:	116,8V
Deşarj Kesme Gerilimi	:	70.4V
Şarj Yöntemi	:	CC / CV
Standart Şarj Akımı	:	20A veya özelleştirme
Maksimum Alan sayısı Şarj Akımı	:	50A
Standart Deşarj Akımı	:	20A veya özelleştirme
Maksimum Alan sayısı Sürekli Deşarj Akımı	:	100A
Çevrim Ömrü	:	8000 kez
İç Empedans	:	≤80mΩ
Boyut:	:	440 * 440 * 320mm
Ağırlık	:	76kg
Şarj Sıcaklığı	:	0 ℃ ila 60 ℃
Boşaltma Sıcaklığı	:	-20 ℃ ila 60 ℃
Depolama Sıcaklığı	:	40 ℃ ila 25 ℃, <1 yıl -40 ila 40 ℃, <3 ay

10. Elektronik Diferansiyel Uygulaması

Elektronik Diferansiyel Uygulaması elektrikli araç yarışları kapsamında tasarlanan BÖRÜ-OKÜ IARES aracında yer almamaktadır. Araç tasarımında mekanik diferansiyel uygulaması tercih edilmiştir.

Çizelge 9. Elektronik diferansiyel uygulaması özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Yeni Tasarım
Sistem Topolojisi (Kullanılan Sensörler, Kontrol Üniteleri, Aktüatörler vb.)	:	-	-
Araç Modeli (Kinematik Model, Basit Dinamik Model, Tam Araç Modeli vb.)	:	-	-
Kontrol Algoritması	:	-	-
Dikkate Alınan İstisnai Durumlar ve Önerilen Tasarım Çözümleri (Düşük Adezyon, Bölünmüş Adezyon, Ağırlık Transferi, Virajlarda Hızlanma/Yavaşlama vb.)	:	-	-
Uygulanan Benzetim Senaryoları	:	-	-
Benzetim Senaryoları için Performans Sonuçları	:	-	-
Uygulanan Test Senaryoları	:	-	-
Test Senaryoları için Performans Sonuçları	:	-	-
		-	-

11. Araç Kontrol Sistemi (AKS)

Araç Kontrol Ünitesi (VCU) üretilmiştir. Stm32 geliştirme kartlarını kullanarak C tabanlı kod yazılmıştır.

Araç Kontrol Ünitesi Özellikleri:

Motor sıcaklığı, akü en Sıcak hücrenin sıcaklığı, Her hücrenin voltaj değerini, SoC değerini kullanıcı ekranına iletir.

Yüksek sıcaklıkta (Akü için 65 santigrat derece, BLDC motor için 180 santigrat derece ve motor sürücüsü için 90 santigrat derece) sesli uyarı verir ve kontaktör devreyi açar, araç gücü kesilir. Anlık olarak akü voltajını, akımı ve akü şarj oranını kullanıcı ekranına iletir

Tekerlek hızını kullanıcı ekranına iletir. (KM olarak)

Hangi ışığın açık olduğunu kullanıcı ekranına iletir. (far lambası, sinyal lambası vb.)

Verileri merkez istasyona gönderecek bir sistemimiz bulunmaktadır. Bu sistem araç içindeki verileri merkez istasyona kablosuz bağlantı ile veri iletir ve istasyondan Grafiksel arayüz ile veri takibi gerçekleştirilir.

Çizelge 10. Araç kontrol sistemi özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Şimdiki Tasarım
AKS Fonksiyonları	**:**	-	-
Kontrolör Entegre Devresi	**:**	-	-
AKS G/Ç sayısı	**:**	-	-
Elektronik Devre Tasarımı	**:**	-	-
Baskı Devre Kartı Tasarımı	**:**	-	-
Baskı Devre Kartı Üretimi	**:**	-	-
Yazılım Algoritması	**:**	-	-
Deneysel Çalışma	**:**	-	-
Boyut (PCB / Kutu)	**:**	-	-

12. İzolasyon İzleme Cihazı

İzolasyon İzleme Cihazı elektrikli araç yarışları kapsamında tasarlanan BÖRÜ-OKÜ IARES aracında yer almamaktadır.

Çizelge 11. İzolasyon izleme cihazı özellikleri tablosu

		Önceki Tasarım	Güncel Tasarım
Mikro Denetleyici Entegre	**:**	-	-
Ölçüm Yöntemi	**:**	-	-
Örnekleme Peryodu	**:**	-	-
100kΩ için ölçüm hassasiyeti	**:**	-	-
1MΩ için ölçüm hassasiyeti	**:**	-	-
Boyutlar (PCB / Kutu)	**:**	-	-

13. Direksiyon Sistemi

Elektrikli araç tasarımında direksiyon sistemi hazır olarak alınmıştır. Direksiyon sisteminde tam mekanik direksiyon kutusu kullanılmıştır.

Şekil 29. Direksiyon sistemi

14. Kapı Mekanizması

Elektrikli araç tasarımında kapı mekanizması Şekil 30'da yer alan hazır kapı mekanizmaları kullanılarak oluşturulmuştur. Kapı mekanizması standart bir otomobil kapısına eşdeğer ve tamamen güvenlidir.

Şekil 30. Kapı kilit mekanizması

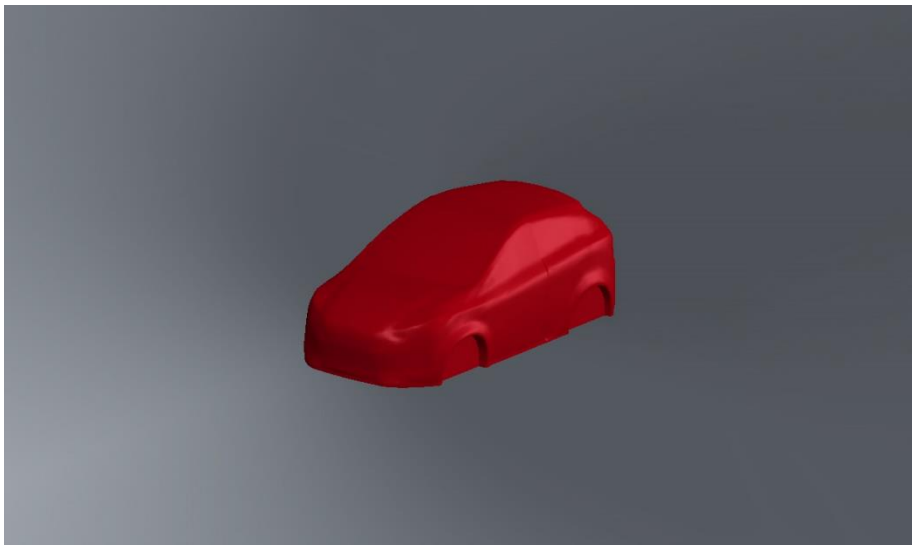
15. Mekanik Detaylar

Elektrikli araç yarışları kapsamında tasarımı yapılan araca ait mekanik detaylar teknik çizimler, mukavemet analizi, akış analizi ve dış kabuk üretimi bölümlerinde detaylı olarak incelenmiştir.

a) Teknik Çizimler

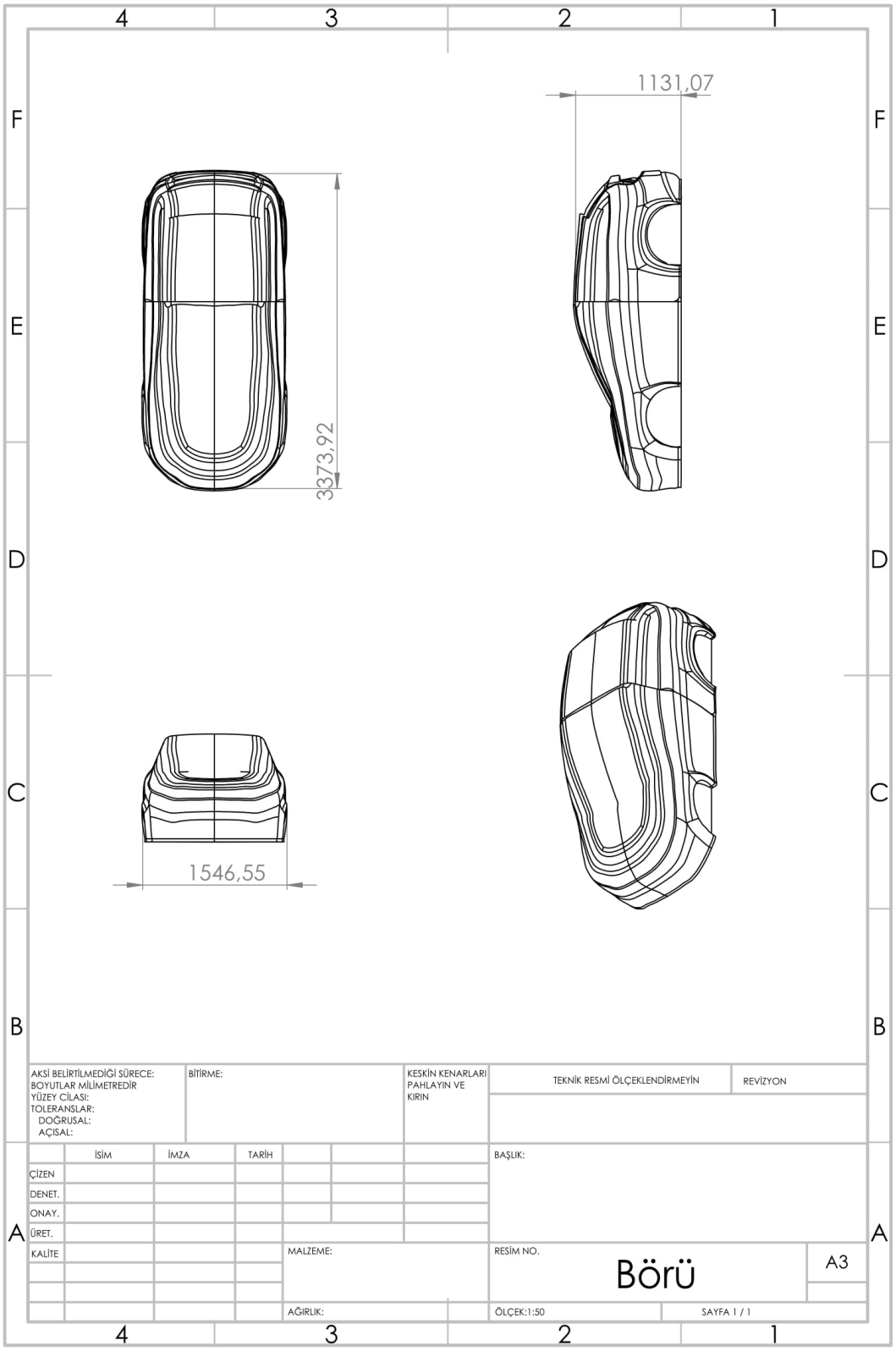
CAD programları aracılığı ile çizilen kabuk tasarımına ait farklı perspektiflerden alınarak oluşturulan görseller Şekil 31'de yer almaktadır. İmalata yönelik oluşturulan teknik resim ise Şekil 32'de yer almaktadır.

(a)



(b)

Şekil 31. Kabuk tasarımı yapılan elektrikli aracın farklı perspektiflerden görünüşleri

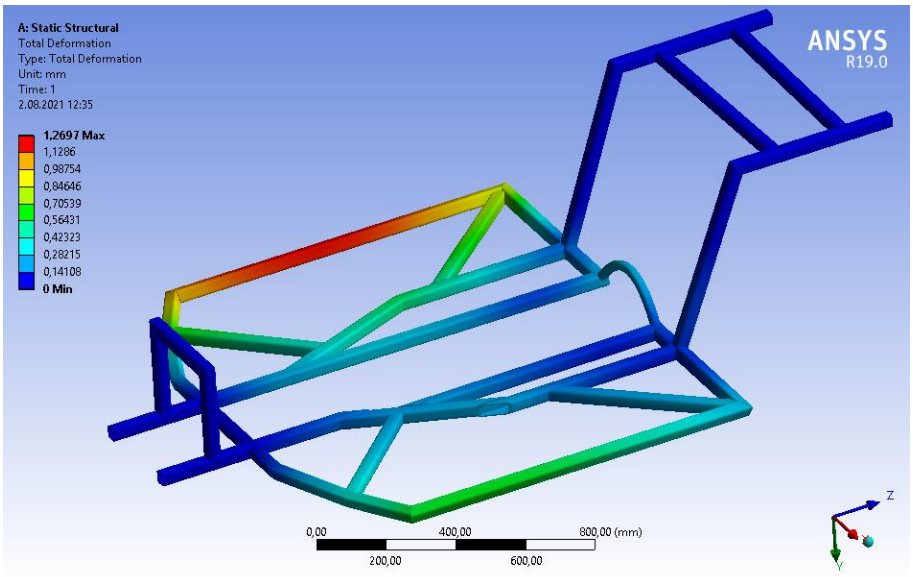


Şekil 32. İmalata yönelik oluşturulan teknik çizim

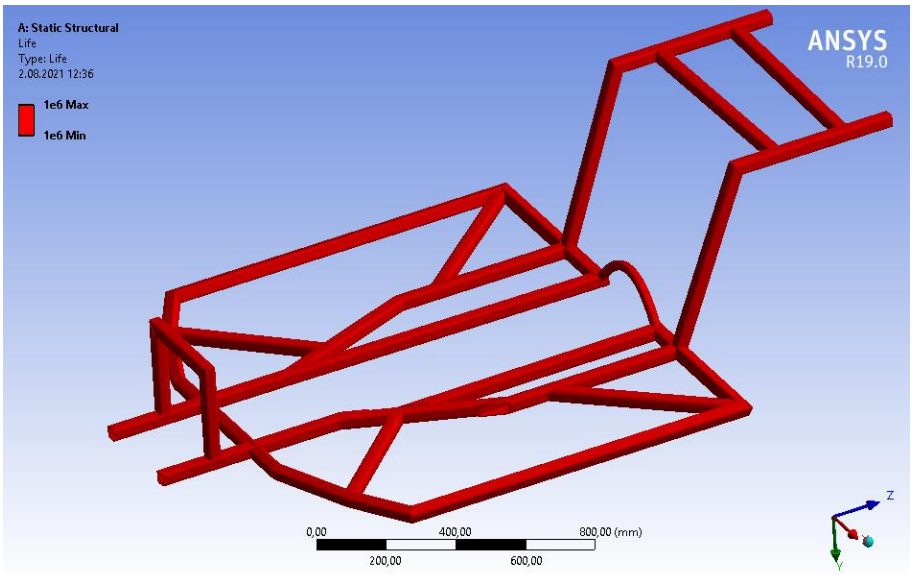
b) Mukavemet Analizi

Şasiye ait yapılan hesaplamalr ve gerçek görüntüsü Şekil 34-36 arasında yer almaktadır. Yapılan analizler sonucunda rijit yapının kaybolmadığı şekiller incelendiğinde görülmektedir. Yuvarlanma kafesinin (roll cage) üst noktası ve en alt noktası arasına 1 kN değerinde noktasal kuvvet uygulandığında yataydaki yer değiştirme hesaplanmıştır. Bu değer H/200 değerinden fazla olarak alınmış ve hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Hesaplamalar ön ve arka yuvarlanma kafesi (roll cage) için yapılmıştır (Şekil 36- 38) Yapılan analizler sonucunda 1 kN değerinde noktasal kuvvet uygulandığında rijit yapının kaybolmadığı şekiller incelendiğinde görülmektedir.

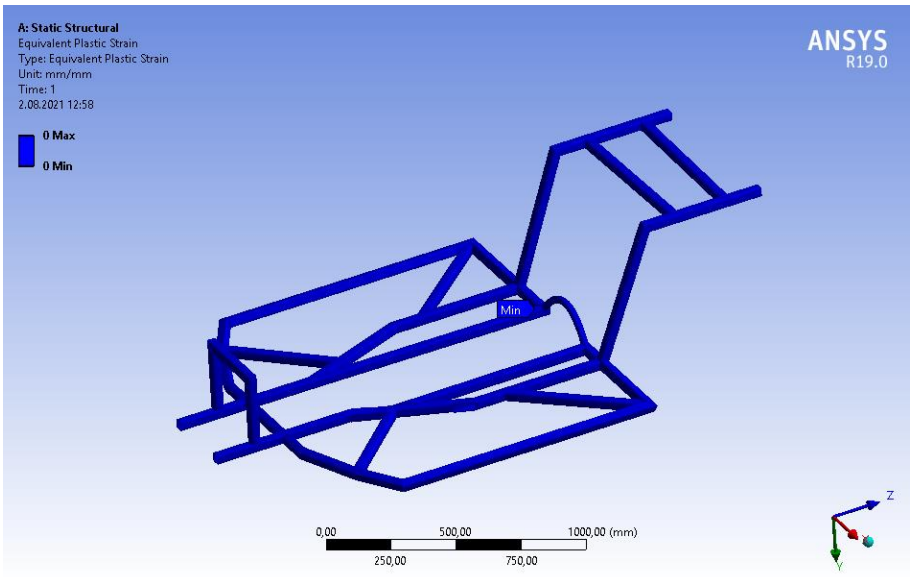
Şekil 33. Şasinin gerçek görüntüsü



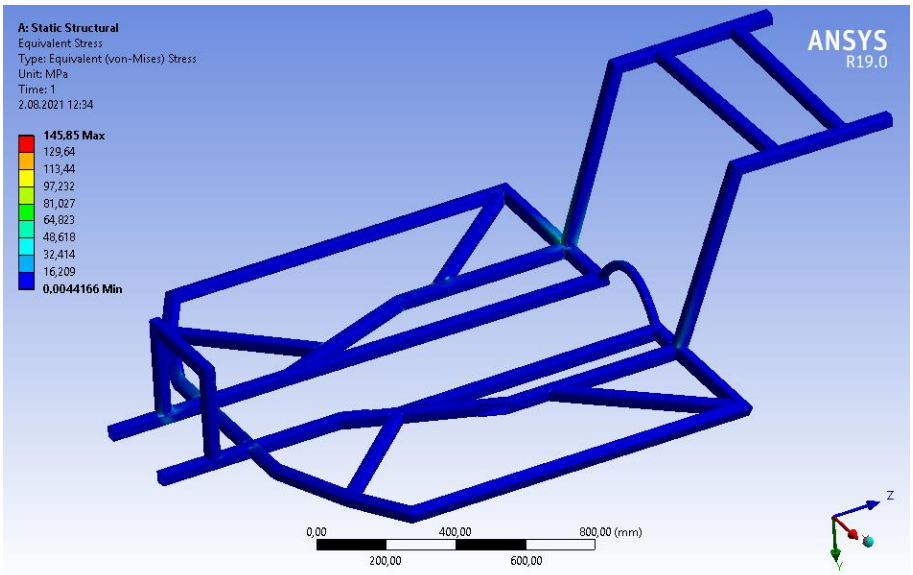
Şekil 33. Deformasyon analizi



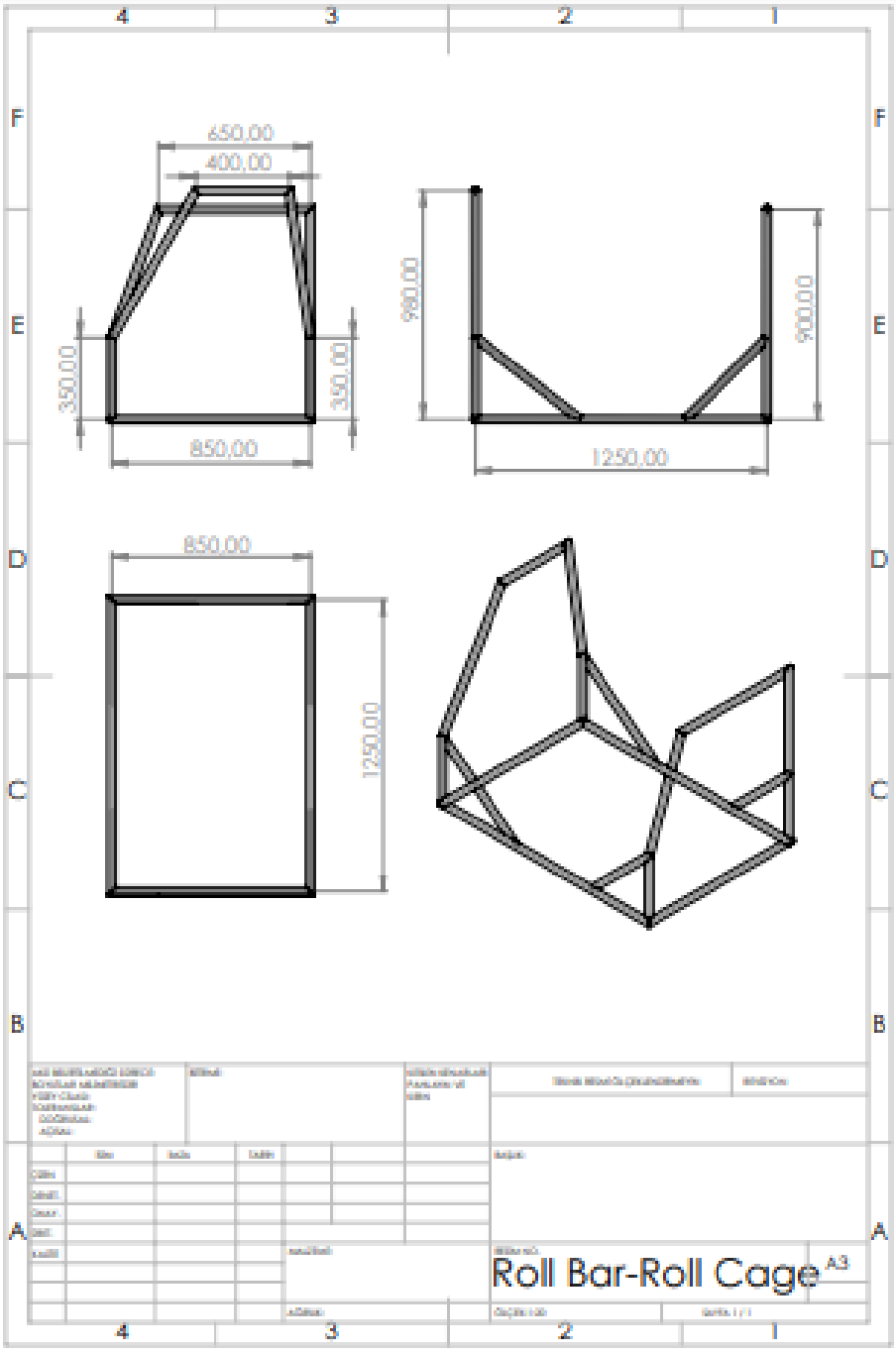
Şekil 34. Ömür analizi



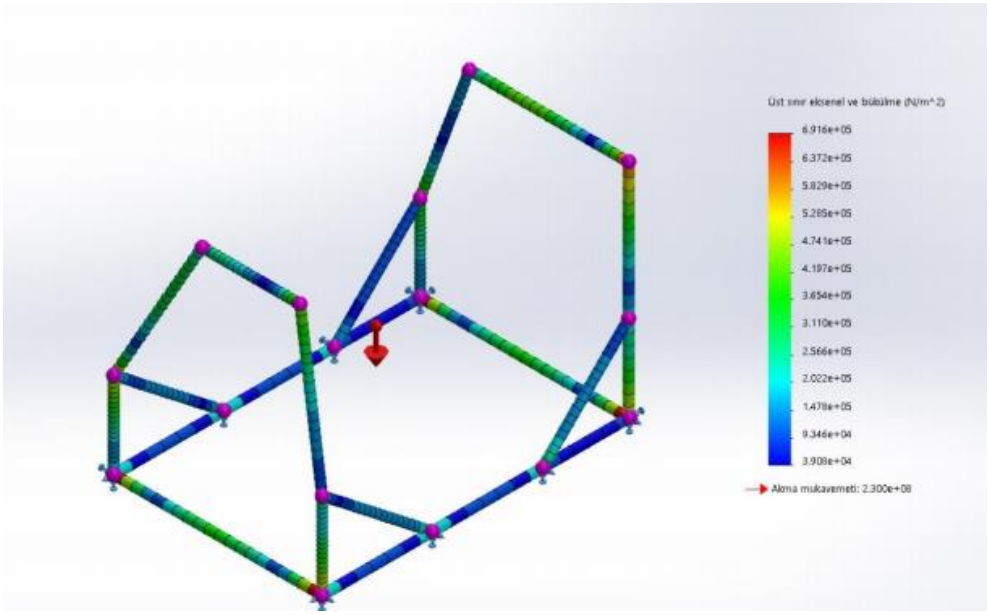
Şekil 35. Plastik analizi



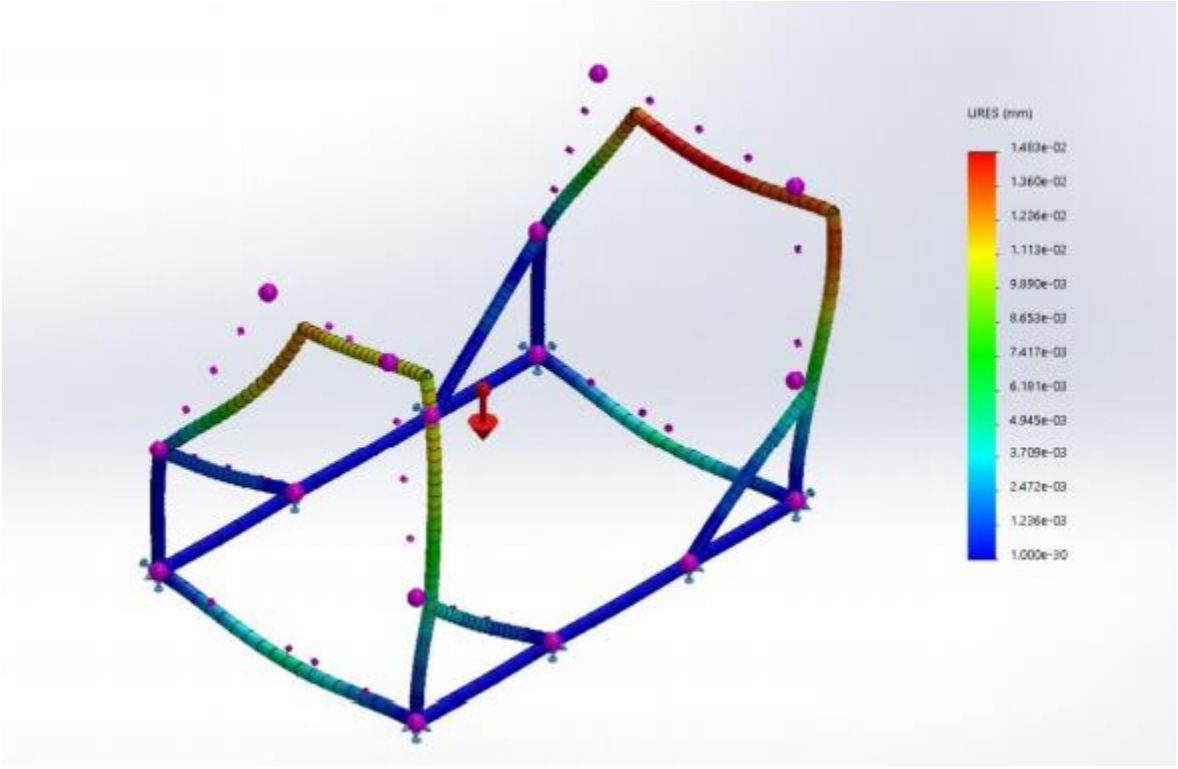
Şekil 36. Stres analizi



Şekil 36. Roll bar teknik çizimi



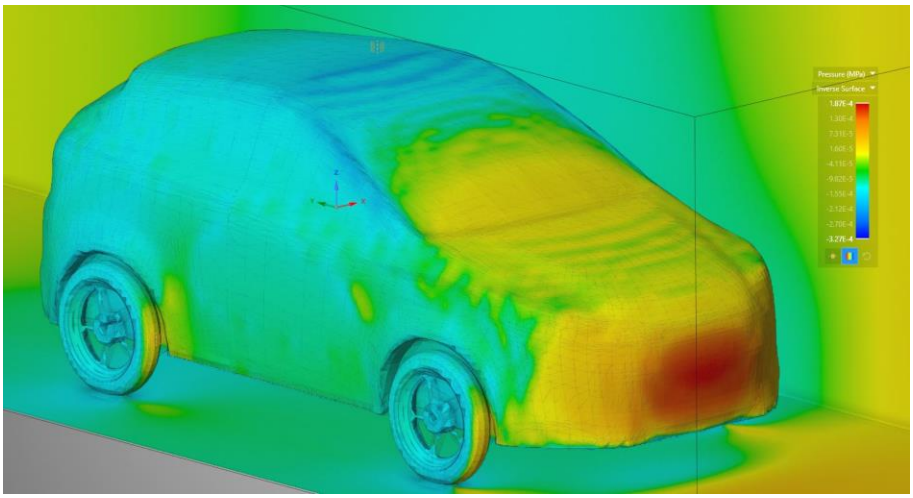
Şekil 37. Gerilme analizi



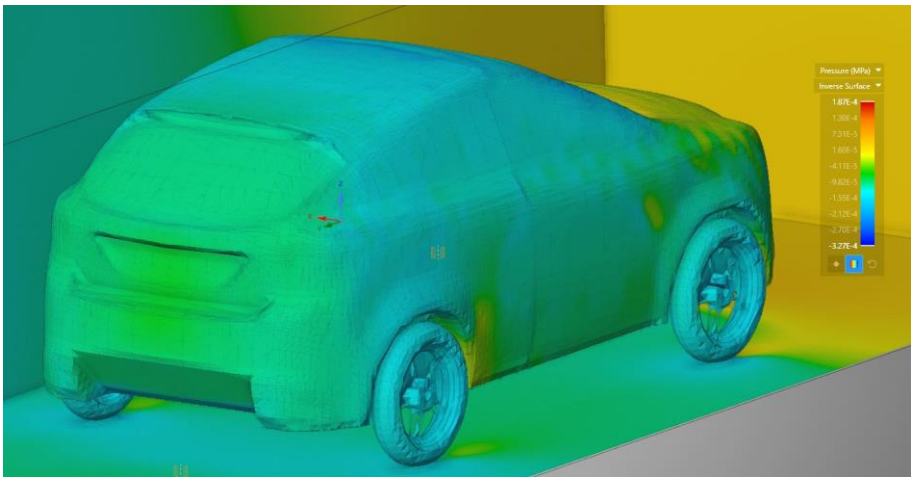
Şekil 38. Yer değiştirme analizi

c) Akış Analizi

Elektrikli araç yarışları kapsamında tasarımı yapılan elektrikli araç gövdesinin basınç ve hız dağılımları sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada gerçek şartlar kullanılarak araç hızı (V) 50km/h olarak alınmış ve hesaplamalar da bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 39-41 arasında yer almaktadır. Şekil 39'te araç üzerindeki basınç dağılımı, Şekil 40'te ortalama akım çizgileri ve Şekil 41'da bileşke hız konturları yer almaktadır. Akışı ilk karşılayan araç ön bölgesinde basıncın arttığı ve araç yüzeyi boyunca azaldığı görülmektedir (Şekil 39). Bu yüksek basınç bölgesinin alanını küçük tutmak amacıyla burun tasarımı ovalleştirilmiştir. Bu oval tasarım ve akış yapısına etkileri Şekil 40-a'da görülmektedir. Cisim üzerinde akış ayrılması meydana geldiğinde cisim ve akışkan akımı arasında bir ayrılmış bölge oluşur. Bu durum cismin art bölgesinde sürekli, dolanımlı ve geriye doğru akışların meydana gelmesine neden olmaktadır. Araç art iz bölgesinde birbiri ile simetrik iki adet girdap noktası oluştuğu görülmektedir (Şekil 40). Ek olarak ayrılmayı izleyen akımda, sınır tabakasının kalınlaşması, hızın azalması, ters akımların oluşması ve sürüklenmenin atmasının yanı sıra cisim ve akış üzerinde olumsuzluklar meydana gelecektir. Bu olumsuzluklar araç yarışma koşullarında iken (hareket halinde V≥15km/s) menzil düşüklüğü, motor ve aktarma elemanları yükünün fazla olması olarak yansıyacaktır. Çalışmada incelenen araç modelinde araç art iz bölgesince uzanan akış ayrılmasından kaynaklı olarak hızın azaldığı bir alan oluştuğu görülmektedir (Şekil 41). Aracın arka bölgesinde oluşan ve sürüklenme katsayısını arttıran bu ölü akış bölgesini küçültmek amacı ile arka camın üst bölgesi yukarı doğru kıvrılmış olarak tasarlanarak aerodinamik verimliliğin arttırması hedeflenmiştir. Bu sayede arka aks üzerine binen yük yapay olarak artırılmış böylece ön ve arka akslar üzerine binen yüklerin dengelenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca ön camın düzlem ile yaptığı açı araç tasarımına (standartlar çerçevesinde) sadık kalınarak olabildiğince küçük tutulmaya çalışılmıştır. Bu tasarım ile aracın üzerinde oluşan sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olan, artan hız bölgesini minimumda tutmak hedeflenmiştir.

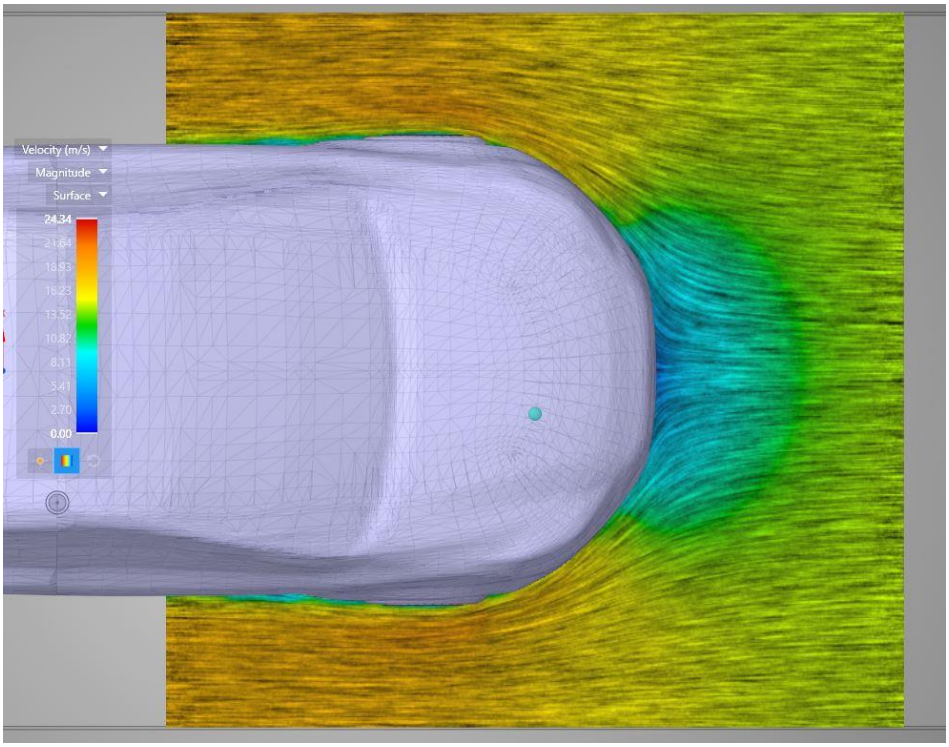


(a)

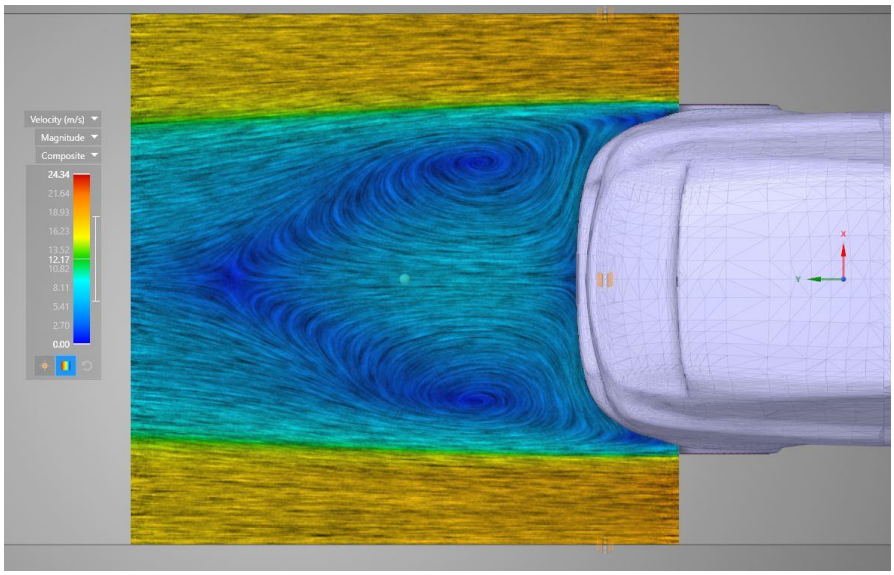


(b)

Şekil 39. Basınç dağılımı

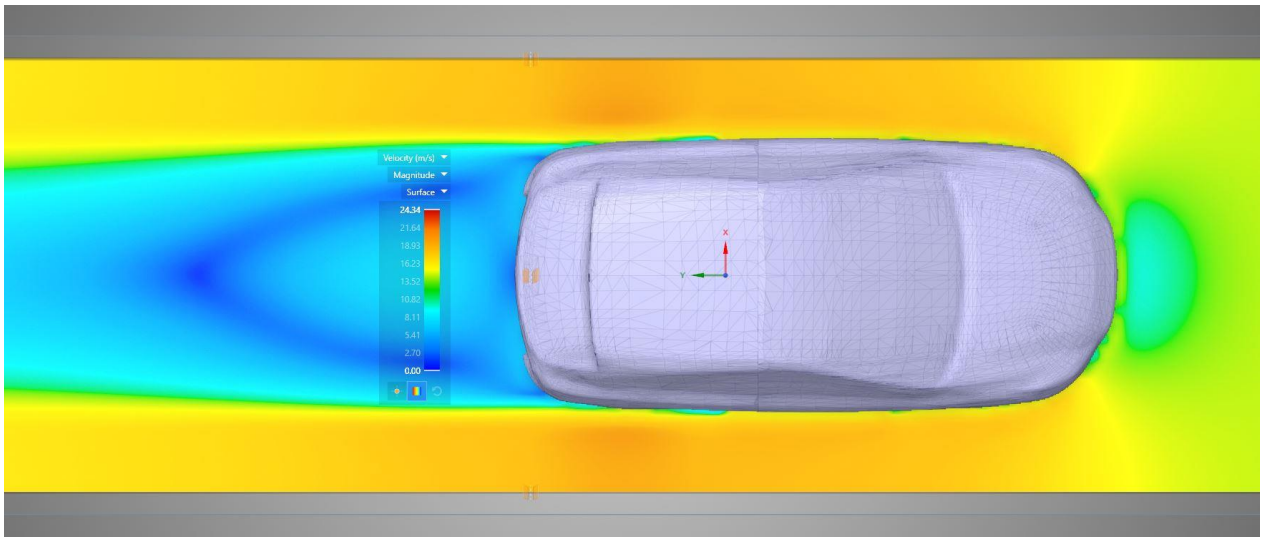


(a)

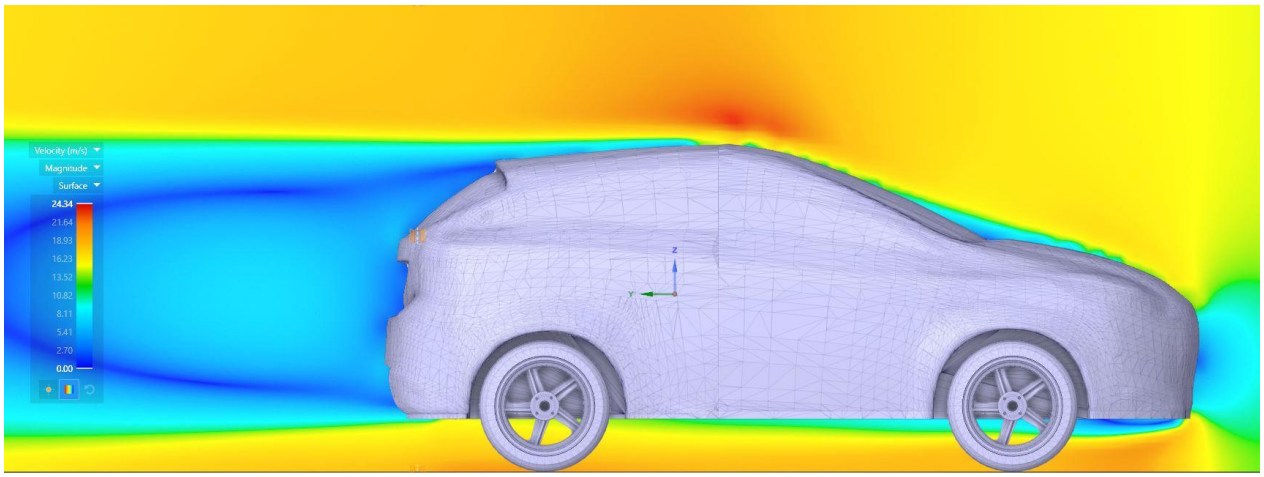


(b)

Şekil 40. Akım çizgileri



(a)

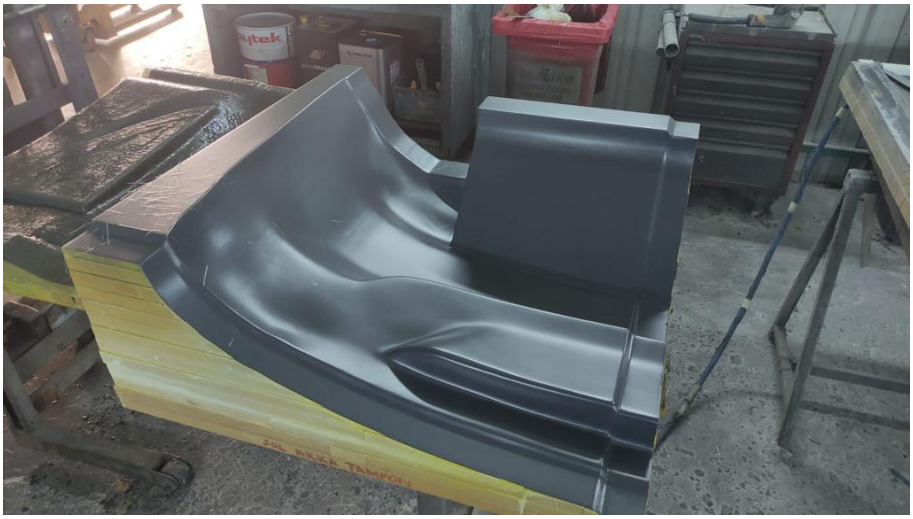


(b)

Şekil 41. Bileşke hız konturları

d)Dış Kabuk Üretimi

Kabuk üretimi harici bir şirket tarafından yaptırılmıştır. Üretimde el yatırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde araç kabuk geometrisi için bir kalıp modellenerek kalıp üzerine kalıp ayırıcı vax sürülüp E-cam fiberler serilmekte ve her katmana sertleştirici ile karıştırılmış polyester reçine emdirilmektedir. Sonraki aşamada kompozit malzeme bir gün süre ile oda sıcaklığında kürlenmeye bırakılmakta ve işlem tamamlanmaktadır. Kompozit kabuğun kalıptan ayrılmasından sonra kabuk dış yüzeyine jelkot uygulanması yapılmaktadır. Bu sayede kabuğun Ultraviyole (UV) ışınları, nem gibi dış koşullara daha dayanıklı hale getirilmesi sağlanmaktadır. Kabuk üretiminin maliyeti 35.000,0₺'dir. Kabuk üretim aşamalarına ait görsel Şekil 42'ta yer almaktadır.



(a)

(b)

(d)

(e)

Şekil 42. Kabuk tasarımına ait farklı görüntüler

e) Enerji Tüketim Hesabı

S-1) Takımlar, araçlarının ön alanını, tekerlek sürtünmesini ve iç kayıpları hesaba katarak 4000 metrelik düz bir yolu 50 km/h hızla tamamlamak için gerekli enerji tüketimini hesaplamalıdır.

C-1) Hesaplamalar tekerlek sürtünmesinin zemin üzerinde yaptığı boyuna sürtünme katsayısı (0.7), araç ağırlığı (400kg) ve iç kayıplar (200W) hesaba katılarak yapılmıştır.

Araç ağırlığı ve sürtünme katsayısı göz önüne alınarak sürtünme kaynaklı kayıplar:2800W

$$(F - F_k)\Delta x = \frac{1}{2}mV^2$$

$$\left((F - F_k)\Delta x = \frac{1}{2}mV^2\right)V$$

$$(P - P_k)\Delta x = \frac{1}{2}mV^3$$

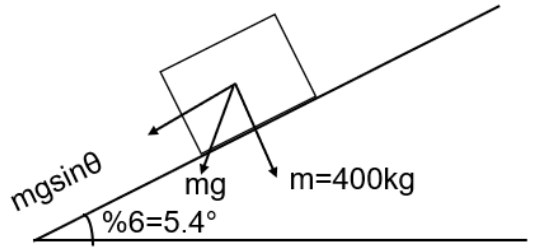
$$(P - 3000)4000 = \frac{1}{2}400(13.88)^3$$

$$40P = \ 40x3000 + 2x(13.88)^3$$

$$P = 3132{,}16W$$

$$P = 3{,}2kW$$

S-2) Takımlar %6 eğimde 50km/h hıza ulaşabilmek için gerekli motor gücünü hesaplamak zorundadır. (Hesaplamalar 400kg araç ağırlığına göre yapılmıştır.) (Kayıpların olmadığı minimum durum şartları göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır.)



$$P = FxV = mxgxsin\theta xV$$

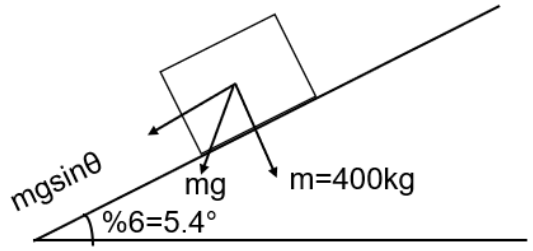
$$V = \frac{50km}{h} = \frac{13.88m}{s}$$

$\frac{90x6}{100} = 5.4°$

$P = 400.9.81.\sin(5.4).13.88 = 5125{,}62W$

$P = 5.126kW$(Ortalama kabul edilen değerler)

S-3) Takımlar 1.5kW gücünde motor ile %6 eğimde en fazla kaç km/h hıza ulaşabileceklerini hesaplamak zorundadır. (Hesaplamalar 400kg araç ağırlığına göre yapılmıştır.) (Kayıpların olmadığı minimum durum şartları göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır.)



$P = FxV$

$P = 1500W$

$1500 = 400x9{,}81xsin(5{,}4)xV$

$V = 4{,}062m/s$

$V = 14{,}623km/h$ (Ortalama kabul edilen değerler)

f) Maliyet Hesabı

Elektrikli aracın imalatında kullanılan ekipman ve malzemelere ait malzeme listesi ve maliyetler tablosu Çizelge 12'de yer almaktadır.

Çizelge 12. Malzeme listesi ve maliyetler

		Maliyet	Açıklama
Hidrolik	:	4 x 21,50 TL	Fren hidrolik yağı 500mL
Far	:	2x 98,00 TL	SLX Far Sağ-sol
Fren Hortumu	:	350,00 TL	Araç tasarımına uygun çelik fren hortumu
Araç Aynası	:	2x 99,00 TL	Araç tasarımına uygun kapı aynası
Profil	:	1200,00 TL	1- 4 x 20x40x1.4x6 2- 4 x 20x20x1.4x6 3- 2 x 40x60x1.2x6
Mini dingil	:	1750,00 TL	11:38 oranlı diferansiyel, el freni (kampana) sistemi.
Mini Şanzıman	:	1622,00 TL	4 ileri 1 geri şanzıman (1.vites oranı 1/3.5 son vites oranı 1/1)
Fren Sistemi	:	900,00 TL	Fren diskleri, kaliper sistemi ve fren merkezi
Ön Takım	:	3.500,00 TL	Ön takım salıncak, denge kolları ve rot başları
Ara Aktarma	:	500,00 TL	Özel tasarım şaft sistemi ve bağlantı elemanları
Jant	:	4x 125,00 TL	
12m^2 E-fiber cam keçe	:	540,00TL	
Polipol 344 TA Döküm polyesteri	:	2.008,74TL	El yatırması uygulamaları
Dış Kabuk Üretimi		35.000,00TL	
Elektrik Motoru		25.000,00TL	

16. Yakıt Pili

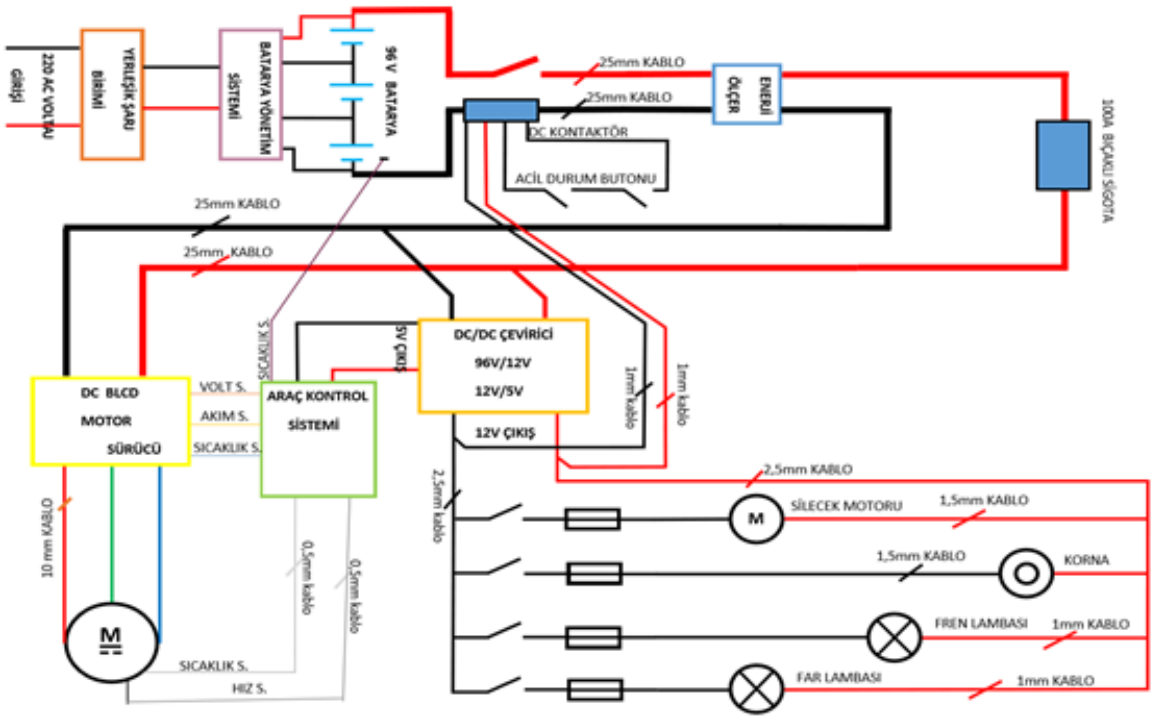
Electromobile kategorisi kapsamında tasarlandığından dolayı 16. Bölüm incelenmemiştir.

17. Yakıt Pili Kontrol Sistemi

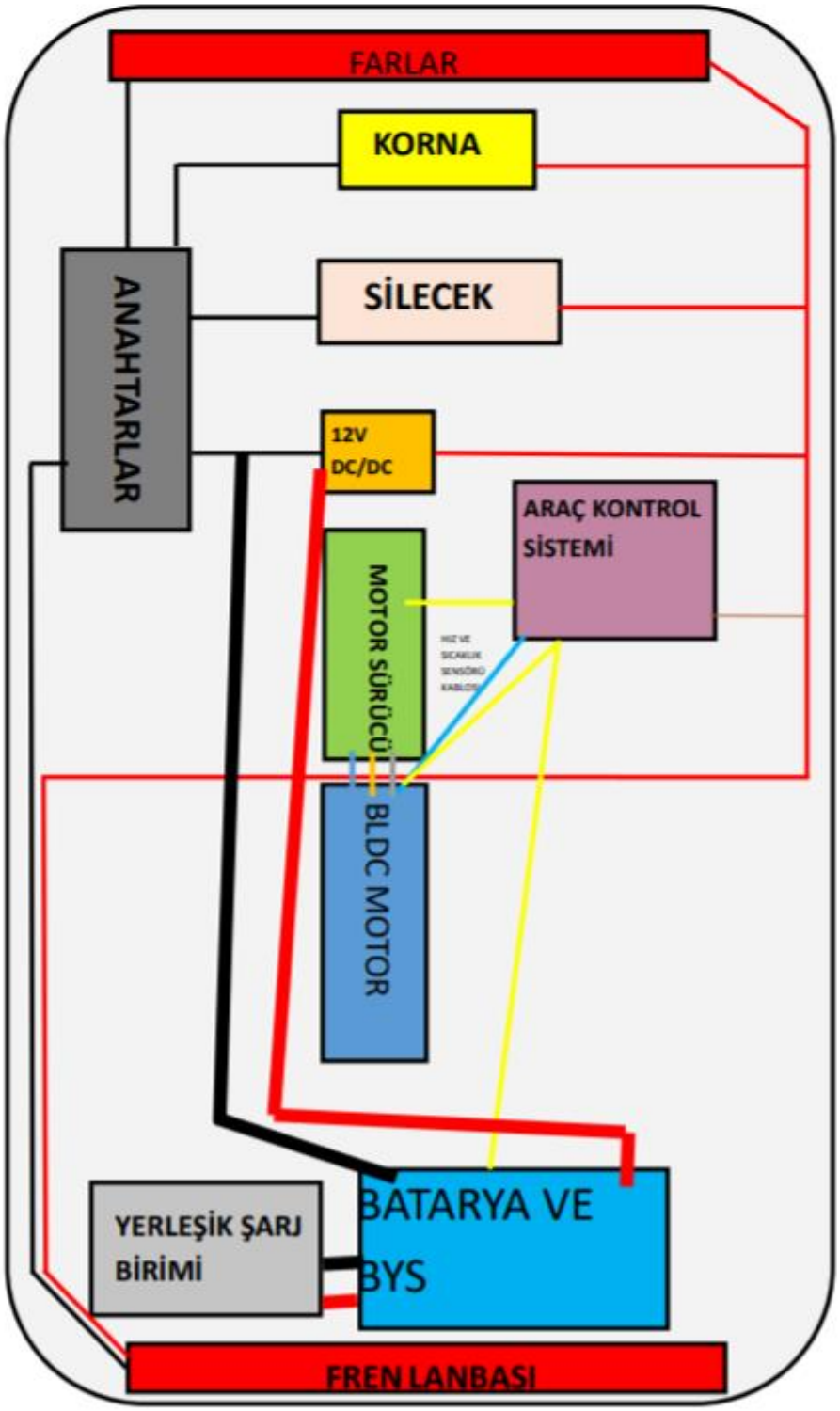
Electromobile kategorisi kapsamında tasarlandığından dolayı 17. Bölüm incelenmemiştir.

18. Araç Elektrik Şeması

Tasarımı yapılan elektrikli aracın elektrik sisteminin akış şeması ve araç içerisinde yer alan ekipmanların birbiri arasındaki bağlantılarının şematik gösterimi sırasıyla Şekil 43 ve Şekil 44'te yer almaktadır. Yerleşik şarj biriminden giren enerji batarya yönetim sistemi aracılığıyla 96V gerilime sahip batarya grubuna aktarılmaktadır. Bataryaya bağlı enerji ölçer vasıtasıyla elektrikli araçtaki veriler anlık olarak izlenebilmektedir. Sistemde meydana gelebilecek herhangi bir arıza vb. durumları göz önüne alınarak acil durum butonu hazırlanarak batarya grubunun sistem ile bağlantısını kesmek için hazır bulundurulmuştur. Bataryadan çıkan enerji araç içerinde yer alan diğer ana elamanlara dağıtılarak ihtiyaç olan bölümde tüketilmektedir (Şekil 43). Burada araç elektrik tesisatı ve ekipmanların yerleşimi standartlarda belirtilen şartlara göre yapılmıştır. Şekil 44 incelendiğinde ise araç içerisinde yer alan ekipmanların birbiri arasındaki bağlantıları görülmektedir. Oluşturulan şema ile araç içi ekipmanların bağlantı ve yerleşimlerin daha net ifade edilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 43. Araç elektrik sisteminin akış şeması



Şekil 44. Araç içerisinde yer alan ekipmanların birbiri arasındaki bağlantılarının şematik gösterimi

19. Orijinal Tasarım

Elektrikli araç yarışları kapsamında tasarlanan aracın kılavuzda yer alan kurallar çerçevesinde tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Farklı yıllarda gerçekleştirilen elektrikli araç yarışlarında tasarlanan araçların direksiyon ve direksiyona bağlı mekanizmaların aracın sol bölümünde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda elektrikli araç yarışlarında özgün bir tasarım yapılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda aracın direksiyonun sağ tarafta konumlandırılmıştır (Şekil 45).

(a)

(b)

Şekil 45. Tasarımı yapılarak imalatı tamamlanan elektrikli aracın görünüşü