

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**İKİ TEKERLEKLİ ELEKTRİKLİ SKUTER TASARIMI VE  
İMALATI**

**Zeynep NOYAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Osman ÇULHA**



**MANİSA 2024**

Zeynep  
NOYAN

İKİ TEKERLEKLI ELEKTRIKLI SKUTER TASARIMI VE İMALATI

2024

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Zeynep NOYAN**



## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Elektrikli Skuterler ve Gelişimi.....	5
2.2. Elektrikli Skuterlerin Yaygınlaşması.....	5
2.3. Elektrikli Skuterler ve Çevre.....	7
2.3.1. Yeşil Mutabakat.....	8
2.3.2. Mikromobilite Kavramı.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Malzeme Seçimi.....	12
3.1.2. St-37 Malzeme Özellikleri.....	13
3.1.3. Li-ion Batarya Özellikleri.....	14
3.1.4. BLDC Motor Özellikleri.....	16
3.1.5. Lastik Seçimi.....	16
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Model Oluşturma.....	17
3.2.1.1. SolidWorks Çalışmaları.....	18
3.2.1.2. Ansys Çalışmaları.....	19
3.2.2. Prototip İmalatı.....	20
3.2.3. Kaynak İşlemi.....	22
3.2.4. Boya İşlemi.....	23
3.2.5. Montaj İşlemleri.....	24
3.2.6. Saha Testleri.....	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Simülasyon Analiz Sonuçları.....	27
4.1.1. Eksenel Deformasyon.....	28
4.1.2. Toplam Deformasyon.....	30
4.1.3. Eşdeğer Elastik Birim Şekil Değiştirme.....	32
4.1.4. Gerilmeler.....	33
4.1.4.1. Von Mises Gerilmeleri.....	33
4.1.4.2. Eşdeğer Alternatif Gerilme.....	34
4.1.5. Yorulma Performansı.....	36
4.1.6. Güvenlik Katsayısı Etkisi.....	38

4.2. Tartışma.....	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR .....	44
EKLER.....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	50



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AB</b>	Avrupa Birliği
<b>Ah</b>	Amper-saat
<b>AYB</b>	Avrupa Yeşil Mutabakatı
<b>BLDC</b>	Fırçasız Motor
<b>EESD</b>	Eşdeğer Elastik Birim Şekil Değiştirme
<b>E-skuter</b>	Elektrikli Skuter
<b>GSYİH</b>	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
<b>GTAW</b>	Koruyucu Gazaltı Tungsten Ark Kaynağı
<b>Li-ion batarya</b>	Lityum İyon Batarya
<b>MPa</b>	Megapaskal
<b>OSB</b>	Organize Sanayi Bölgesi
<b>TIG</b>	Tungsten Ark Kaynağı
<b>W/h</b>	Watt/saat

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.3.1.1. Avrupa Yeşil Mutabakatı unsurları.....	9
Şekil 3.1.1.1. Malzeme seçimi unsurları.....	12
Şekil 3.1.5.1. Skuterlerde kullanılan dolgu tekerlek örnek görseli.....	17
Şekil 3.2.1.1. Prototipe ait katı model çalışması.....	18
Şekil 3.2.2.1. Skuterin bölümleri.....	21
Şekil 3.2.3.1. Skuterde kullanılan kaynağın görseli.....	23
Şekil 3.2.4.1. Boya sonrası skuter şasisi.....	23
Şekil 3.2.5.1. Prototipi tamamlanmış skuter.....	25
Şekil 3.2.6.1. Skuterde kullanılmış olan ön tekerleğin görseli.....	25
Şekil 3.2.6.2. Skuterde kullanılmış olan arka tekerlek ve motor .....	26
Şekil 4.1.1. Skuter üzerinde analizlerin uygulandığı alan.....	28
Şekil 4.1.1.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için X ekseninde aksel deformasyon analiz sonuçları.....	29
Şekil 4.1.2.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için toplam deformasyon analiz sonuçları.....	31
Şekil 4.1.3.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için eşdeğer elastik birim şekil değiştirme analiz sonuçları.....	32
Şekil 4.1.4.1.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için Von-Mises gerilme analiz sonuçları.....	34
Şekil <b>Hata! Burada görünmesini istediğiniz metne 0 uygulamak için Giriş sekmesini kullanın.</b> 4.1.4.2.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için eşdeğer alternatif gerilme analiz sonuçları .....	35
Şekil 4.1.5.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için yorulma analiz sonuçları.....	37
Şekil 4.1.6.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için güvenlik katsayısı analiz sonuçları .....	38

## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1.2.1. St-37 çeliği kimyasal kompozisyonu .....	13
Tablo 3.1.2.2. St-37 çeliği mekanik özellikleri .....	14
Tablo 3.1.3.1. Lityum iyon bataryanın diğer bataryalardan başlıca farkları.....	15
Tablo 3.1.3.2. Bataryaların teknik özellikleri.....	15
Tablo 4.1.1. Al6061-T6 mekanik özellikleri .....	27
Tablo 4.1.2. Al6061-T6 kimyasal kompozisyon .....	27
Tablo 4.1.5.1. Yorulma analizine ait veriler .....	37
Tablo 4.1.6.1. Güvenlik katsayısı analizine ait veriler .....	39

## TEŞEKKÜR

Başladığım her işte destekleri ile her zaman yanımda olan, yüksek lisansım boyunca arkamda olan, beni motive eden başta babam olmak üzere aileme her şey için teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında bilgi ve tecrübeleriyle destek olan, yoluma ışık tutan Prof. Dr. Osman ÇULHA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım sürecim boyunca manevi destekleriyle bana eşlik eden başta lisans arkadaşım Adem KORKMAZ olmak üzere, yanımda olan bütün arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez konusu ürünün ortaya çıkmasındaki destekleri için Bisan Bisiklet ve Motosiklet A.Ő. 'ye ve özellikle ekip arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Zeynep NOYAN

Manisa, 2024

# ÖZET

## Yüksek Lisans Tezi

Zeynep NOYAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Osman ÇULHA**

Trafikteki araç sayısının artışı, her geçen gün ulaşım problemlerini beraberinde getirmekte ve atmosfere salınan karbon miktarının da artmasına sebebiyet vermektedir. Ekolojik dengede meydana gelen bozulmaların birçok sebebi olmasıyla beraber, bu sebepler arasında karbondioksit salınımından dolayı araç kullanımı da bulunmaktadır. Avrupa Birliği'nin yayınlamış olduğu raporlara göre, ulaşımdan kaynaklanan karbondioksit emisyonları, toplam karbondioksit emisyonunun %30'unu oluşturduğu ve bu oranın %72'sinin de karayolu ulaşımdan kaynaklandığı belirtilmiştir. 33 ülke ile birlikte ülkemizin de imzalamış olduğu Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında 2040 yılına kadar sıfır emisyonlu araçlara geçilmesi hedefi bulunmakta ve bisiklet, skuter gibi "0" karbon ayak izine sahip araçların kullanımının yaygınlaştırılması bu doğrultuda fark yaratacaktır. Özellikle elektrikli skuterlerin bisiklete kıyasla daha az efor sarf ederek daha kolay bir kullanıma sahip olması ile her geçen gün ülkemizde ve dünyada yaygınlaşmaktadır. Elektrikli skuter, tekerlekleri üzerinde ilerleyen, direksiyonu sayesinde yön ve hızı ayarlanabilen, elektrik ile şarj edilerek çalışan, bir çeşit ulaşım aracıdır. Elektrikli skuterlerin kullanımı; çevre dostu, ekonomik ve pratik olması nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır. Gündelik hayatta hobi olarak kullanılan skuterler, elektrikli skuterlerin verimliliklerinin artmasıyla beraber kargoların taşınması gibi birçok yeni alanda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda tez konusu olan "Fat Scooter", ön tarafında bulunmakta olan sepet ile 15 kilograma kadar ve arkasında bulunmakta olan sepet ile 45 kilograma kadar yük taşıyabilme kapasitesindedir. Toplamda 60 kilogramlık yük taşıyabilmesi sayesinde hizmet/mal taşımacılığında kullanıma da uygun olacaktır.

Aynı zamanda, tez konusu ürünün faydalı model başvurusu yapılmış olup, 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu kapsamında 17/12/2021 tarihinden itibaren 10 yıl süre ile korunmak üzere Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından faydalı model olarak tescillenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Elektrikli skuter, Yeşil Mutabakat, Li-ion batarya

2024, 62 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Zeynep NOYAN**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Metallurgical and Material Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Osman ÇULHA**

The increase in the number of vehicles in traffic not only brings transportation problems with each passing day, but also causes an increase in the amount of carbon released into the atmosphere. Although there are many reasons for the deterioration in ecological balance, these reasons include vehicle use due to carbon dioxide emissions. According to the reports published by the European Union, it is stated that carbon dioxide emissions resulting from transportation constitute 30% of the total carbon dioxide emissions, and 72% of this rate originates from road transportation. Within the scope of the European Green Deal, which our country has signed along with 33 countries, there is a mission to switch to zero-emission vehicles by 2040, and expanding the use of vehicles with "0" carbon footprint such as bicycles and scooters will make a difference in this direction. Especially since electric scooters are easier to use and require less effort compared to bicycles, they are becoming more widespread in our country and in the world day by day. An electric scooter is a type of transportation vehicle that moves on its wheels, can be adjusted in direction and speed thanks to its steering wheel, and works by charging with electricity. Use of electric scooters; It is increasing day by day because it is environmentally friendly, economical and practical. Scooters, which are used as hobbies in daily life, allow electric scooters to be used in many new areas such as transportation of cargo, as their efficiency increases. In this context, the "Fat Scooter", which is the subject of the thesis, is capable of carrying a load of up to 15 kilograms with the basket on the front and up to 45 kilograms with the basket at the back. It will also be suitable for use in service transportation, as it can carry a total load of 55 kilograms.

At the same time, a utility model application has been made for the product subject to the thesis and it has been registered as a utility model by the Turkish Patent and Trademark Office to be protected for 10 years starting from 17/12/2021 within the scope of the Industrial Property Law No. 6769

**KEYWORDS:** Electrical scooter, Green deal, Li-ion battery

2024, 62 pages

## 1. GİRİŞ

Günümüzde bireysel ulaşımın artmasıyla beraber çeşitli sıkıntılar ortaya çıkmaya başlamıştır. Trafik sorunu, park etme alanlarında yaşanan yetersizlik, araç sayısının artmasıyla beraber karbon salınımının artması gibi sorunlar hem gündelik yaşamı zorlaştırmakta hem de çevreye zarar vermektedir. Ekolojik dengede meydana gelen bozulmaların birçok sebebi olmasıyla beraber, bu sebepler arasında karbondioksit salınımından dolayı araç kullanımı da bulunmaktadır.

Bireysel araç kullanımının çevresel zararları, geniş bir etki yelpazesi içerisinde ortaya çıkar. İlk olarak, bu araçlar genellikle fosil yakıtlarla çalıştıkları için atmosfere büyük miktarda karbon dioksit ( $CO_2$ ) salınımına neden olur. Bu sera gazı, küresel ısınma ve iklim değişikliğine katkıda bulunarak çevresel dengenin bozulmasına yol açar.

Buna ek olarak, içten yanmalı motorların egzozları, nitrojen dioksit, karbon monoksit ve partikül madde gibi zararlı maddeleri atmosfere bırakır. Bu hava kirleticileri, solunum problemleri, kalp hastalıkları ve genel sağlık sorunlarına neden olabilir. Özellikle şehirlerde yoğun trafik olan bölgelerde, hava kalitesi ciddi şekilde düşebilir.

Bireysel araç kullanımının artması, trafik sıkışıklığına ve bu durumun getirdiği enerji israfına zemin hazırlar. Araçların dur-kalk yapması, daha fazla yakıt tüketimine ve dolayısıyla enerji kaynaklarının israfına neden olur. Ayrıca, bu durum şehir planlaması açısından daha fazla yol ve otopark alanı talebini artırarak doğal alanların kaybına yol açar.

Otomobil üretimi aşamasında, metal çıkartma, plastik üretimi ve boya gibi süreçler doğal kaynak tüketimini artırır. Ayrıca, araçların kullanım ömrü boyunca bakım ve yakıt ihtiyacı için enerji tüketimi devam eder. Bu durum, enerji kaynaklarının aşırı kullanımına ve çevresel tahribata yol açabilir.

Aynı zamanda, araçların bireysel olarak kullanılması şehirlerde gürültü kirliliğine neden olur. Bu durum, çevresel konforu azaltabilir, uyku düzenini bozabilir ve stres seviyelerini artırabilir.

Tüm bu faktörler, bireysel araç kullanımının çevre üzerindeki karmaşık ve geniş kapsamlı etkilerini göstermektedir. Bu bağlamda, çevre dostu ulaşım alternatifleri ve sürdürülebilir taşıma sistemleri gibi çözümlerin geliştirilmesi önemlidir.

Decarbonizasyon (karbondan arındırma), özellikle ulaşımda olmak üzere iklimin korunması açısından hayati önem taşımakta [1]. Benzinli ve dizel araçların sebep olduğu kirlilikten dolayı birçok ülke elektrikli araçların kullanımı ve yaygınlaşması için harekete geçmiştir. Bu kapsamda ülkeler otomobil pazarını teşvik etmek ve iklim dengelenmesi ile uyumlu bir ekonomiye uzun dönemli geçişi desteklemek için elektrikli otomobillerin pazar payını artırmaya yönelik birtakım hedefler oluşturmuştur. Bu hedefleri gerçekleştirmek için elektrikli otomobillerin hem üretimi hem de satışına yönelik çeşitli politikalar uygulanmaktadır [2].

AB'nin karbon-nötr ilk kıta olma yönünde kapsamlı ve iddialı yeşil dönüşüm hedeflerini açıklamasının ardından, iklim değişikliği ile mücadele alanında diğer ülkelerde politikalarını güncelleyerek ivme kazanmıştır. Bu kapsamda, 2020 yılında Güney Kore, Japonya ve Çin gibi uluslararası ticaretin önde gelen diğer aktörlerinin de ekonomilerinin yeşil dönüşümüne yönelik hedeflerini açıklamaya başlamışlardır. Bu ülkelerin yanı sıra, İsveç, Norveç, Kanada, Şili, Güney Afrika gibi ülkeler de net sıfır emisyon hedeflerini beyan eden ülkeler arasındadırlar.

Ülkemizde de benzer tedbirler alınmış olup, salgın sonrası dönemin ekonomik yapılanmasına uygun, sürdürülebilir, güçlü ve kaliteli bir büyümeye erişimi hedefleyen ve 12 Mart 2021 tarihinde açıklanan "Ekonomi Reformları Paketi" sanayide yeşil dönüşümün desteklenmesini teminen yeşil Organize Sanayi Bölgelerinin (OSB) hayata geçirilmesi; ulusal döngüsel ekonomi eylem planı hazırlanması; yeşil üretim için gerekli teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacıyla Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi; yeşil finansmanın gelişimini sağlayacak ekosistemin güçlendirilmesi; sürdürülebilir ve akıllı taşımacılık altyapısının geliştirilmesi dahil olmak üzere gerçekleştirilecek eylemlere yer

vermektedir [3]. Bu durum, ulaşımda sürdürülebilirliğin önemli düzenlemeler karşısında oynadığı kritik pozisyonu ortaya koymaktadır [4].

Bu kapsamda elektrikli skuterlerin tasarımında, elektrik sistemi kritik rol oynuyor. Elektrik sistemi; pil, motor, motor kontrolörü ve diğer elektronik teçhizatlardan oluşur. Elektrik sisteminin en önemli özelliği, motora güç vererek skuterin çalıştırılmasına yardımcı olmasıdır. Bu kimyasal veya elektrik enerjisi hub tarafından kullanılan pilde depolanır. Böylece motor elektriksel ve kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür. Fırçasız (Brushless Direct Current-BLDC) motorlar, elektrikli skuterin arka tekerleğinin göbeğine sabitlenmiştir. Tasarımda BLDC motorlar kompakt bir yapıya sahip oluşları ve gürültüsüz çalışması sebebiyle tercih edilmektedirler [5].

Tez sonucu ortaya çıkan olan üründe Li-ion batarya kullanılmıştır. Li-ion pil (Li-ion) bir tür tekrar şarj edilebilir pildir. Deşarj olduktan sonra şarj edilebilen elektrokimyasal hücrelerdir. Li-ion pilin keşfi 1912'de Gilbert N.Lewis tarafından gerçekleştirilmiştir. Yeniden doldurulabilme özelliğine sahip Li-ion piller yaklaşık olarak yirmi yıl kadar üzerinde çalışılarak piyasaya sürülmüştür. 1991'de Sony bu pillerin ilk ticari versiyonunu oluşturmuştur [6]. Günümüzde ise ilave teknolojiler sayesinde BMW İ3, Tesla, Nissan gibi elektrikli araçlarda kullanımı mevcuttur [7].

Yerleştirilecek olan fırçasız motor (BLDC) ise tekerlek içi konumda olacaktır. Bu motorlar, küçük boyutları, düşük ağırlığı ve güçlü torkları nedeniyle özellikle elektrikli skuter olmak üzere hafif araçlar alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. BLDC motorlar, geleneksel DC motorlara kıyasla daha gelişmiş bir teknoloji sunan ve birçok uygulama alanında kullanılan elektrikli motorlardır. Temelde, BLDC motorlar bir dış rotor (stator) ve bir iç rotor (rotor) yapısına sahiptir. Stator içindeki sabit mıknatıslar veya elektromanyetik bobinler aracılığıyla manyetik alanı üretir ve rotor, genellikle mıknatıslardan oluşan bir dizi içerir. Elektrik enerjisi uygulandığında, bu manyetik alan rotoru döndürür ve bu dönme hareketi mekanik iş yapma kapasitesini sağlar.

Yapılan skuterde, arka tekerleğin merkezinde bulunacak şekilde BLDC motor kullanılmıştır. BLDC motorlar, fırça ve komütatör kullanımını ortadan kaldırarak sürtünmeyi, aşınmayı ve enerji kayıplarını azaltır. Bu avantajlar, daha uzun ömür, daha düşük bakım gereksinimi, enerji verimliliği ve daha sessiz çalışma gibi özellikleri

beraberinde getirir. BLDC motorlar, genellikle elektronik kontrol üniteleri veya mikrodenetleyiciler tarafından yönetilir. Bu kontrol sistemleri, motorun hızını ve torkunu hassas bir şekilde kontrol etmek için sensörler ve geri bildirim mekanizmalarını kullanabilir.

Bu sayede, BLDC motorlar çeşitli uygulama alanlarında yüksek performans ve verimlilik sağlarlar. Elektrikli araçlar, bilgisayar soğutma fanları, endüstriyel makineler ve robotik sistemler gibi birçok sektörde tercih edilen motor türlerinden biridir. Ayrıca, rejeneratif frenleme özelliği sayesinde enerji geri dönüşümü sağlayarak daha sürdürülebilir bir enerji kullanımına da katkıda bulunurlar.

Tez çalışması kapsamında, BLDC motora ve Li-ion bataryaya sahip, iki tekerlekli bir elektrikli skuter tasarımı yapılmış ve prototip ürün ortaya çıkartılmıştır. Elektrikle çalışan bir skuter üretiminin sağlanmasıyla, benzin ile çalışan taşıt araçlarının daha az tercih edilerek kullanımının azaltılması hedeflenmiştir. Kısa vadede taşıt kullanımını sonlandırması beklenmese bile fosil yakıt tüketen araçların trafikten azaltılması hedeflenmektedir. Böylelikle hem karbon salınımı olmayan yeşil bir ulaşım modeli yaygınlaştırılmış hem de her geçen gün artan trafik sorununda iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Elektrikli Skuterler ve Gelişimi

Elektrikli skuterler, elektrik motoruna sahip trotinet türüdür. Elektrikli skuter, tekerlekleri üzerinde ilerleyen, direksiyonu sayesinde yönü ve hızı ayarlanabilen, elektrik ile şarj edilerek çalışan, bir çeşit ulaşım aracıdır. Elektrikli skuterlerin kullanımı; çevre dostu, ekonomik ve pratik olması nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda karbon salınımının olmayışı, trafiğe etkilerinin çok az olması ve özellikle hizmet/mal taşımacılığında kullanım kolaylığı sağlayışı gibi birçok avantaja sahip oluşu sebebiyle günümüzde kullanımı artmaktadır.

14 Nisan 2021 tarihinde resmî gazetede yayınlanan "Elektrikli Skuter Yönetmeliği" kapsamında elektrikli skuter (e-skuter), hızı en fazla 25 km/sa ulaşan, tekerlekli, fren mekanizmasına sahip, ayak tahtası ve tutamağı olabilen, dikey bir direksiyon mekanizması içerebilen ve ayakta kullanılan elektrikli taşıt olarak tanımlanmıştır [9]. Aynı zamanda kullanılacak e-skuterin; gece diğer araç sürücüleri ve yayalar tarafından rahat bir şekilde fark edilmelerini sağlamak üzere; önde beyaz ışık verecek ve en az 20 metre öne aydınlatabilecek şekilde bir adet far, arkada, kırmızı renkte ışık veren bir lamba ve kırmızı reflektör ile 30 metreden duyulabilecek ses çıkarabilen zil, korna veya benzeri ses aleti ile teçhiz edilmiş olması zorunlu kılınmıştır.

### 2.2. Elektrikli Skuterlerin Yaygınlaşması

Elektrikli skuterlerin yaygınlaşmasında etkili olan çeşitli faktörler bulunmaktadır. İlk olarak, toplumun sürdürülebilirlik ve çevre bilincinin artması, bireyleri çevre dostu ulaşım seçeneklerine yönlendirmiştir. Elektrikli skuterler, düşük karbon salınımı ve enerji verimliliği ile bu beklentilere cevap vererek çevreci tüketicilerin ilgisini çekmiştir. Ayrıca, teknolojik gelişmelerin katkısıyla skuter batarya teknolojileri daha uzun menzil, hızlı şarj özellikleri ve hafif tasarımlar sunarak kullanıcılar için daha cazip hale gelmiştir.

Şehir içi ulaşım ihtiyaçlarındaki artış, yoğun trafik ve park sorunları gibi şehir yaşamının zorlukları, elektrikli skuterleri ideal bir çözüm haline getirmiştir. Hızlı,

çevre dostu ve kolay park edilebilir olmaları, özellikle büyük şehirlerde tercih edilmelerine katkıda bulunmuştur. Ayrıca, elektrikli skuter paylaşım sistemlerinin ortaya çıkması, kullanıcıların anlık ihtiyaçlarına uygun olarak bu araçlara erişim sağlamalarını mümkün kılmıştır.

Şehir planlaması ve teşvik politikaları da elektrikli skuterlerin yaygınlaşmasında rol oynamıştır. Bazı şehirler, sürdürülebilir ulaşımı desteklemek amacıyla altyapı düzenlemeleri ve teşvik politikaları oluşturarak elektrikli skuter kullanımını teşvik etmişlerdir. Bu faktörlerin bir araya gelmesi, elektrikli skuterlerin sadece çevre dostu bir ulaşım aracı olmakla kalmayıp, aynı zamanda şehir içi ulaşım konseptlerinde önemli bir değişimi temsil etmesine katkıda bulunmuştur.

Günümüzde elektrikli skuterler, geleneksel yakıtlı araçların yerini almak için yeni bir yeşil ulaşım teknolojisi olarak kabul edilmekte ve aynı zamandan birçok ülke için gelişmeye açık bir pazar ve potansiyel bir endüstri olarak kabul edilmektedir [10]. Halihazırda motosikletleri, motorlu bisikletleri, motorlu skuterler, mopedleri ve motorlu çekçekleri içeren iki tekerlekli motorlu araçlar, birçok Asya ülkesinde araç filosunun yüzde 50'sinden fazlasını temsil etmektedir. Diğer araçlarla karşılaştırıldığında, çok daha hızlı büyümektedirler. Asya'da skuter kullanıcısı nüfusu 40 milyon ile yılda yüzde 18 büyümektedir. Çin'de ise skuter kullanıcısı nüfusu yüzde 30 ile daha da hızlı artmaktadır [11].

Colella'ya göre, Asya'da motorlu skuterler aşağıdaki nedenlerden dolayı arabalardan daha popülerdir. Bunun sebebi olarak aşağıdaki 3 maddeyi göstermektedir.:

1. Çoğu Asya ülkesinde kişi başına ortalama GSYİH, Avrupa ülkelerinin yüzde 10'u veya daha azı kadardır. Skuterler arabalardan daha çok tercih ediliyor çünkü onda bir maliyetle daha uygun fiyatlılar.
2. Kentsel nüfus yoğunlukları, ortalama olarak, Avrupa şehirlerinden üç ila beş kat daha fazladır ve şehir düzeni, araba altyapısını desteklememektedir. Ayrıca sadece yollar az değil, park yerleri de çok az sayıdadır.

3. Bangkok, Şanghai ve Taipei gibi şehirlerde trafik sürekli bir sorundur. Skuterler trafikte daha kolay manevra yapabildikleri için popülerdir [12].

### 2.3. Elektrikli Skuterler ve Çevre

Enerji sorunları ve trafik sıkışıklığı uluslararası toplumların önemli bir parçası haline gelmiştir. Ayrıca, araç sayısındaki yüksek artış, fosil yakıtların aşırı kullanımına yol açarak sera gazı emisyonlarına, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olmuştur. Aynı zamanda fosil yakıt rezervleri çok sınırlıdır ve önümüzdeki birkaç yıl içinde küresel ihtiyaçları karşılamayabileceği ön görülmektedir. Hafif elektrikli arabalara, özellikle elektrikli skuterler yönelmek, özellikle büyük kentsel alanlarda gerçek bir çözüm olabilir, ancak enerji sorunu her zaman ön planda kalmaktadır [13].

Elektrikli skuterler karbon salınımının olmayışı, trafiğe etkilerinin olmaması ve özellikle hizmet/mal taşımacılığında kullanım kolaylığı sağlayışı gibi birçok avantaja sahip oluşu sebebiyle günümüzde kullanımını artmaktadır.

Ayrıca son yıllarda akaryakıtla çalışan araçların neden olduğu çevre sorunları ve yakıt ekonomisi giderek daha ciddi hale gelmiştir. Yeşil, çevre dostu ve ekonomik olan araçlar, birçok ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınması için önemli bir hedef haline gelmektedir [14].

Elektrikli skuterler, sıfır karbon gazı salınımı olmasıyla ve çevreci bataryasıyla ulaşım araçları kategorisinde ön plana çıkmaktadır. Enerji tüketim oranları da mevcutta trafikte bulunan araçlara kıyasla çok daha düşüktür. Bir kilowatt saatlik enerji, benzinle çalışan bir arabayı bir milden biraz daha az taşımaktadır. Daha verimli bir elektrikli araba ise aynı miktarda enerjiyle yaklaşık dört mil seyahat edebilmektedir. Elektrikli skuter ise bu miktarda bir enerjiyle bir futbol sahasının etrafında 333 turdan fazla (80 mil) seyahat edebilmektedir [15].

Skuter aynı zamanda boyutu itibariyle park etmekle ilgili sorunları da ortadan kaldırmaktadır. Otomobil, dolmuş, otobüs vb. araçlar için geçerli olan park yeri

bulamama, bulunan park yerinin trafik akışını engellemesi gibi sorunlar skuter için geçerli olmamaktadır. Aynı zamanda araçların geçmekte zorlanacağı dar yollardan skuterlerin kolaylıkla geçebiliyor oluşu da öne çıkan avantajlarından.

### **2.3.1. Yeşil Mutabakat**

Dünya çapında yaşanan iklim değişiklikleri birçok ülkenin ve şirketi önlemlerini artırmasına sebep olmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlar da önemli ölçüde karbon emisyonuna sebep olarak iklim değişikliklerinin etkilerini artırmaktadır. Paylaşımlı mobilite ve mikromobilite sistemler, son 15 yıldır dünyanın her yerindeki şehirlerde, mobilite alışkanlıklarının ve yaşam tarzındaki değişimin bir parçası olarak sürekli olarak gelişmektedir. [16]. Bu sebeple de gün geçtikçe elektrikli araçların kullanımı hem kurumsal hem de bireysel olarak popülerleşmektedir. Bu doğrultuda 33 ülke ile birlikte ülkemizin de imzalamış olduğu küresel mutabakatta 2040 yılına kadar sıfır emisyonlu araçlara geçilmesi hedefinde bisiklet ve scooter gibi “0” karbon ayak izine sahip araçların yaygınlaştırılması ülkemizin de öncelikli stratejilerindedir.

Küresel Mutabakatın diğer hedefleri arasında yenilenebilir enerji kullanımının %32’lik bir paya ulaşması bulunmaktadır. AB hedefleri Birleşmiş Milletler’in 17 maddelik Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları içinde 7. Madde olan erişilebilir ve temiz enerji ile tutarlılık göstermektedir [17].

Avrupa ülkelerinin 2019’da Brüksel’de imzalamış oldukları Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYB) içeriğinde 2050 yılında net sera gazı emisyonunun olmadığı, karbon-nötr ilk kıta olma hedeflerini açıklayarak, bu amaca yönelik çeşitli alanlarda yapılması gereken girişimleri belirlemişlerdir [18].



Şekil 2.3.1.1. Avrupa Yeşil Mutabakatı unsurları [19]

AB üyesi ve AB ile iş birliği ve ticaret yapan ülkeler için ciddi ve kapsamlı bir dönüşüm sunan mutabakatın amacı başta Avrupa kıtasında olmak üzere 2030'a kadar sera gazı emisyonlarını %55 azaltma ve 2050'e kadar ise karbon-nötr hale getirmektir. Bu doğrultuda iklim yasası ve karbon sınır vergisi olmak üzere bir dizi önlemlerle birlikte yeşil ürünlerin kullanımına olan ilgi artmaktadır [20].

Türkiye yüzyılında, ülke 2053 net sıfır hedefi belirlenmiş olup, bu hedefe de yeşil kalkınma vizyonu dahilinde ulaşılacağı öngörülmüştür. Bu itibar ile, sürdürülebilir çevre temel ekseninde belli politikalar geliştirilmiş; sanayi, ulaşım ve enerji gibi birçok sektörde başarılı yeşil dönüşüm hareketi gerçekleştirilmiştir [21].

### 2.3.2. Mikromobilite Kavramı

Hareketlilik, yani dolayısıyla ulaşım, sıcaklık, zaman gibi skaler büyüklüklerden etkilenmektedir. Bundan dolayıdır ki aslında gelişen teknolojiler ulaşım faaliyeti esnasında söz konusu faktörler ile ilgili olarak, insan hareketini minimize edecek şekilde evrimleşmektedir. Kentte hareketlilik 3 farklı büyüklükteki ölçekte değerlendirilmektedir. Bu ölçekler makromobilite, mezomobilite ve mikromobilite şeklindedir [22]. Mikro düzeydeki mobilite, ulaşımın tamamlanması ulaşım bileşenleri arası bütünleşme sağlayan spesifik elemanların kullanıldığı hareketlilik olarak değerlendirilmektedir [23].

Mikromobilite, bireylerin kısa mesafeli seyahatlerini gerçekleştirmek için kullanılan küçük, hafif ve genellikle elektrikli ulaşım araçlarına atıfta bulunan bir terimdir. Bu kategoride yer alan araçlar, şehir içi ulaşımın daha etkili, çevre dostu ve pratik olması amacıyla geliştirilmiştir. Mikromobilitenin olumlu sonuçlarının arasında başta yaşam kalitesinde iyileşme, sağlık düzeyinin artması, trafik sıkışmasında azalma, emisyon gazında azalma, hava kalitesinin artması gibi insan sağlığı açısından önem düzeyi yüksek unsurlar gelmektedir [24]. Mikromobilityyi aşağıda bulunan 5 ana başlık altında inceleyebiliriz.

- **Elektrikli Skuterler:** Elektrikli skuterler, genellikle paylaşım sistemleri aracılığıyla kullanılan, küçük, katlanabilir ve elektrikle çalışan ulaşım araçlarıdır. Şehir içindeki kısa mesafelerde popüler bir seçenektir.
- **Elektrikli Bisikletler:** Elektrikli bisikletler, pedal çevrildiğinde veya bir elektrik motoruyla desteklendiğinde çalışan bisiklet türleridir. Elektrikli bisikletler, sürücüye ek güç sağlayarak daha uzun mesafeleri ve dik yokuşları kolayca aşma imkanı sunar.
- **Elektrikli Kaykaylar ve Patenler:** Elektrikli kaykaylar ve patenler, taşınabilirlikleri ve çeviklikleri nedeniyle mikromobilite kapsamında değerlendirilen diğer araçlardır. Bu araçlar genellikle kısa mesafeli seyahatlerde kullanılır ve elektrikle çalışan motorlarla hareket eder.

- **Paylaşım Ulaşım Sistemleri:** Mikromobilité, paylaşım ulaşım sistemlerinin bir parçası olarak da düşünülebilir. Kullanıcılar, bir uygulama üzerinden elektrikli skuter, bisiklet veya diğér mikromobilité araçlarına erişebilir ve kullanım sonrasında belirli bir ücret ödeyerek aracı bırakabilirler.
- **Ulaşım Hizmet Sağlayıcıları:** Mikromobilité alanında faaliyet gösteren birçok şirket ve start-up bulunmaktadır. Bu şirketler, kullanıcıların kısa mesafeli ulaşımını daha verimli ve çevre dostu bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlamak için çeşitli hizmetler sunarlar.

Mikromobilité, şehirlerdeki trafik sıkışıklığını azaltma, çevreyi koruma ve enerji verimliliği gibi avantajları nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak, bu alanda kullanılan araçların güvenliği, trafik kurallarına uyumu ve şehir planlaması gibi konularda dikkat edilmesi gereken bazı zorluklar ve düzenleyici sorunlar bulunmaktadır.

Giderek artan sanayileşme ile birlikte ulaşım sistemlerinin kontrolsüz gelişmesi ve fosile bağımlı hale gelmesi iklim değişikliği etkilerini giderek arttırmaktadır. Bu olumsuz etkiler karşısında günümüzde gelişen teknolojilerin önderliğinde kentlerde bilişsel alanda birçok olumlu gelişme ve dönüşüm yaşanmaktadır. Özellikle ulaşım sektöründe yaygınlaşan akıllı teknolojilerle üretilmiş ulaşım araç ve gereçleri kullanmış olduğu yakıt türü, malzeme vb. envanterler ile sera gazı emisyonlarını düşürmeye yardımcı olabilecek potansiyele sahiptir [25]. Elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara göre enerji verimliliği, enerji geri kazanımı, sessiz çalışma ve gürültü kirliliğinin azaltılması gibi avantajlar sunmaktadır [26]. Kentlerimizde mikromobilité sistemlerini destekleyecek ulaşım planları göz önüne alındığı koşulda, özellikle elektrikle çalışan bisiklet ve skuterlerin şarj olanakları için istasyonların oluşturulması ve uygun bir teknoloji ya da yapıyla donatılmaları bu sistemler için daha temiz, çevreci ve sürdürülebilir bir ulaşım alternatifi ortaya koymak için yararlı olacaktır [27].

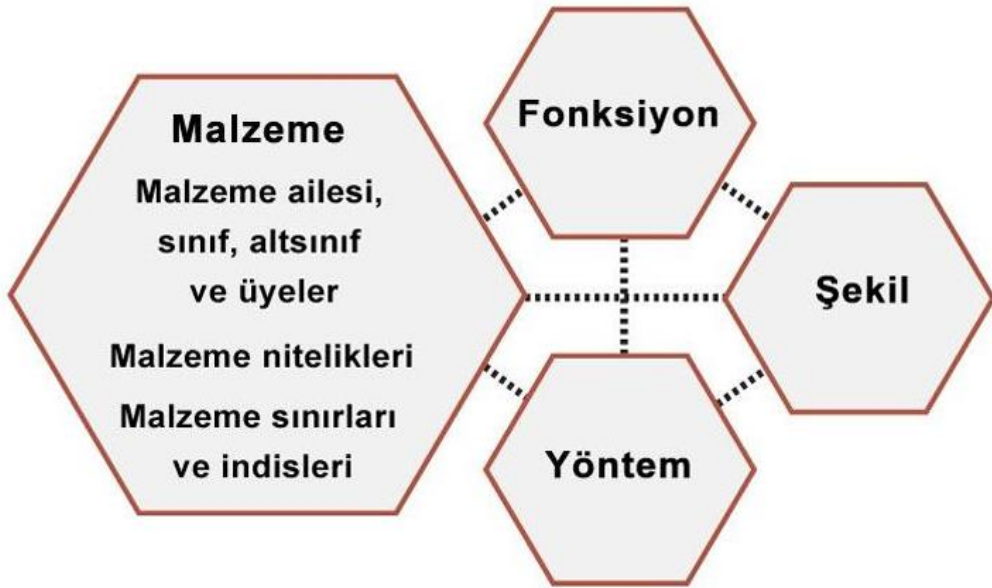
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Yapılan araştırmalar sonucunda, prototip üretiminin St-37 boru malzeme ile yapılmasına karar verilmiştir. Model oluşturulurken ve sayısal analizler yapılırken de malzeme olarak St-37 tercih edilmiştir.

##### 3.1.1. Malzeme Seçimi

Malzeme seçimi üretimi gerçekleştirilecek her ürün için önem teşkil etmektedir. Kullanılacak malzemenin doğru seçilmesi sonucunda, ilgili ürünün hem dayanımının artırılması hem de yüksek çevrim sayılarına sahip olarak uzun süreler boyunca hasara uğramadan kullanılması sağlanabilir. Tasarımda kullanılacak olan malzeme belirlenirken; ürünün kullanılacağı yer, yük altında çalışabilme özellikleri, şekillendirme proseslerine uygunluğu gibi temel özellikleri belirlenmelidir. Bu verilerin ışığında uygun mekanik özelliklere sahip malzeme seçimi yapılması doğru olacaktır. Şekil 3.1.1.1’de malzeme seçiminin 4 temel unsuru gösterilmektedir.



Şekil 3.1.1.1. Malzeme seçimi unsurları [28]

Tasarımın şekli kullanılacak üretim yöntemini kısıtlayabilir. Benzer şekilde ürünün sahip olacağı fonksiyon doğrultusunda şekilde değişikliğe gidilebilir veya malzeme sınıfı değiştirilebilir. Fonksiyon, şekil ve üretim yönteminde belirlenen şartlar doğrultusunda malzeme seçimi yapılması doğru olacaktır.

### 3.1.2. St-37 Malzeme Özellikleri

St-37, Almanya'nın DIN standardına göre belirlenmiş bir yapısal çelik malzemesidir ve bu standart, DIN 17100 olarak bilinir. St-37'nin kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri ve kullanım alanları göz önüne alındığında, genellikle inşaat, makine mühendisliği ve otomotiv endüstrisi gibi çeşitli sektörlerde kullanılan çok yönlü bir malzeme olduğunu söyleyebiliriz.

**Tablo 3.1.2.1.** St-37 çeliği kimyasal kompozisyonu [29]

% C (Karbon)	0,17 (maksimum)
% Mn (Mangan)	-
% P (Fosfor)	0,040 (maksimum)
% S (Kükürt)	0,040 (maksimum)
% N (Azot)	0,009-0,0014 (maksimum)
% Si (Silisyum)	-

Bu çelik türünün tipik kimyasal bileşimi, karbon, manganez, fosfor ve kükürt içerir. Özellikle, yüksek tokluk ve işlenebilirlik özellikleri, St-37'yi yapısal bileşenlerin imalatında ideal kılar. Mekanik özellikleri, çekme dayanımı, akma dayanımı ve uzama gibi faktörlere dayanarak belirlenir ve bu değerler, malzemenin kullanılacağı spesifik şartlara göre değişiklik gösterebilir.

**Tablo 3.1.2.2.** St-37 çeliği mekanik özellikleri [29]

Çekme Dayanımı	350-480 <i>MPa</i>
Poisson Oranı	0.28
% Uzama	25 (en az)
Akma Mukavemeti	235 <i>MPa</i>

Endüstride yaygın olarak St-37 yapı çeliği kullanılmaktadır. Düşük karbonlu, kaynak edilebilirliğinin ve sünekliği iyi olması St-37 yapı çeliğinin en büyük avantajlarından. Düşük karbonlu bir çelik olmasından dolayı düşük üretim maliyeti nedeniyle yapısal ve kaynaklı uygulamalarda, yüksek şekil ve kalınlık alternatifleri sayesinde otomotiv başta olmak üzere pek çok sektörde kullanılan bir çelik türüdür. Düşük karbonlu çeliğin kaynak edilebilmesinden dolayı birleştirilmesi kolaydır [30].

### 3.1.3. Li-ion Batarya Özellikleri

Son zamanlarda Li-iyon, lityum-iyon polimer (Li-Po), sodyum nikel klorür (NaNiCl), lityum demir fosfat (LiFePO<sub>4</sub>), çinko hava (Zn-air), lityum sülfür (LiS), lityum hava (Li-air) ve ultra-kapasitör üzerine yapılan çalışmalar sonucu elektrikli araçlarda bu bataryalar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, silikon, kükürt ve hava (oksijen) içeren lityum bataryalar ise gelecekte en umut verici bataryalar olarak görülmektedir. Ayrıca nano-teknolojideki gelişmeler de batarya gelişiminde önemli rol oynamaktadır [31]. Depolayabildiği enerji miktarı, birim hacmine göre oldukça yüksek verimlilik sağlayan bu grup bataryalar genellikle cep telefonları, müzik çalarlar, dizüstü bilgisayarlar gibi taşınabilir cihazlarda kullanılır [32]. Verebildikleri yüksek kapasitedeki enerji ile en iyi batarya çeşitleri arasında yer almakla beraber, günümüzde kullanımı oldukça yaygın hale gelmektedir [33]. Hafif olmaları, diğer bataryalara göre onlara avantaj kazandırır. Bu da onları küçük ve taşınabilir yapar. Ayrıca bu grup bataryaları şarj etmek için tam olarak boşalmalarını beklemek gerekmemektedir. Bu batarya gruplarının elektrikli araçlarda kullanımı sera gazı emisyonlarını önemli derecede azaltacağı düşünülmektedir [34].

**Tablo 3.1.3.1.** Lityum iyon bataryanın diğere bataryalardan başlıca farkları [35]

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (#)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°C)
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15 - +50
NiCd	1.2	50-80	2000	Var	-20 - +50
NiMH	1.2	70-95	< 3000	Nadir	-20 - +60
Zebra	2.6	90-120	> 1200	Yok	+245 - +350
Li-ion	3.6	118-250	2000	Yok	-20 - +60
LiPo	3.7	130-225	> 1200	Yok	-20 - +60
LiFePO <sub>4</sub>	3.2	120	> 2000	Yok	-45 - +75
Zn-air	1.65	460	200	Yok	-10 - +55
Li-S	2.5	350-650	300	Yok	-60 - +60
Li-air	2.9	1300-2000	100	Yok	-10 - +70

**Tablo 3.1.3.2.** Bataryaların teknik özellikleri [36]

Batarya Türü	Enerji (Wh)	Toplam Enerji(kWh)	Toplam Parça Sayısı	Çevrim Ömrü
Kurşun-Asit	864.0	13.8	16	1.000
Ni-Cd	28.8	13.8	480	2.000
Li-İon	30.0	14.4	480	2.000
LiPo	18.5	13.7	738	2.000
Jel	960.0	15.4	16	2.500

Skuterde kullanılacak olan batarya sistemi kızaklı bir yapıda tasarlanmıştır. Bu sayede kullanıcının şarjının bitmesi durumunda kolaylıkla batarya değişimini sağlamasına imkân verecektir. Kullanılacak olan batarya;

- 36 Volt,
- 10 Ah,
- 360 W/h,

teknik özelliklerine sahip olacaktır. Bataryanın motor ile sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi adına aynı volt değerlerinde olması gerekmektedir. Kullanılmış olan motorun 36 Volt olması sebebiyle bataryada 36 Volt olacak şekilde seçilmiştir.

Bataryanın şarj dolma süresini doğrudan etkilemesi sebebiyle 10 Ah özelliğinde bir batarya tercih edilmiştir. Bu tercih sayesinde ortalama 3-4 saat gibi bir sürede bataryanın tam dolumu gerçekleşmiş olacaktır.

#### **3.1.4. BLDC Motor Özellikleri**

BLDC motorları, son yıllarda enerji verimliliği, yüksek hız kapasitesi, kompakt boyutları ve uzun ömürleri nedeniyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılan motor tipi haline gelmiştir. Geleneksel DC motorlara kıyasla, Fırçasız Doğru Akım (BLDC) motorları daha düşük bakım gereksinimleri ve daha geniş hız ayar aralığı sunarlar. Fırçaların ve komütatörün yokluğu, bu motorların mekaniksel sürtünmeyi azaltmasına, daha yüksek hızlara ulaşabilmesine ve daha az ısınmasına olanak sağlar [37].

Fırçasız motorların avantajları; verimlerinin yüksek olması, fırçasız yapıları sebebi ile sürtünme yoktur, ark yapmaz, karbon tozu üretmez, sessiz çalışmaları, çok daha uzun ömürlü olmaları, bakıma ihtiyaç duymamaları, çok yüksek devrilerde çalışmaları, boyutları diğer motorlara göre daha küçük, devir, tork ve momenti daha yüksektir, diğer motorlara göre daha az ısınmaları olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise; karışık bir kontrol devresine sahip olmaları, konum bilgisine ihtiyaç duymaları, maliyetlerinin yüksek olmalarıdır [38].

#### **3.1.5. Lastik Seçimi**

Her türlü çevre koşuluna uygun olabilmesi için 24 inç ön ve 20 inç arka merkezden elektrik motorlu tekerlek kullanılması hedeflenmektedir.

Aynı zamanda kullanılacak tekerleklerde havalı tekerlekler yerine dolgu teker kullanılacaktır. Dolgu tekerler engebelerde absorbe yeteneği sayesinde daha konforlu bir kullanım sağlayacaktır.

Bağımsız yaylanma hareketi ile sürüş konforunu ve güvenliğini arttırması için 2 adet süspansiyon kullanılarak, dengeli bir kullanım sağlanacaktır.



**Şekil 3.1.5.1.** Skuterlerde kullanılan dolgu tekerlek örnek görseli

## **3.2. Yöntem**

### **3.2.1. Model Oluşturma**

Tez çalışması kapsamında üretilen prototip ürün için öncelikle, karşılaması gereken teknik özellikler belirlenerek bu çerçevede tasarım yapılmıştır. Tasarım gerçekleştirilirken bisiklet için geçerli standartlar esas alınmıştır. Model oluşturma çalışmaları, bilgisayar destekli tasarım programlarından yararlanılarak sanal ortamda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2.1.1 üretimi gerçekleştirilecek olan ürüne ait üç boyutlu katı model çalışması gösterilmektedir.



**Şekil 3.2.1.1.** Prototipe ait katı model çalışması

### **3.2.1.1.SolidWorks Çalışmaları**

SolidWorks, Dassault Systèmes tarafından geliştirilen bir 3D modelleme ve tasarım yazılımıdır. Kullanıcılarına 3D nesnelere tasarlama ve analiz etme yeteneği sunar. Mekanik parçalar, montajlar ve çeşitli tasarımlar oluşturmak için kullanılabilir.

Montaj tasarımını destekler, birden çok parçanın bir araya getirilmesiyle ürün veya makine montajlarının tasarlanabilmesine olanak tanır. Parçaların etkileşimleri ve montaj süreci simüle edilebilir.

Simülasyon ve analiz araçları içerir, bu sayede tasarım hatalarını önceden tespit etmeye ve iyileştirmeye yardımcı olur.

Tasarımlardan otomatik olarak teknik çizimler ve belgeler oluşturabilir. Bu, üretim süreçlerinde kullanılmak üzere standart belgelerin hızlı bir şekilde hazırlanmasını sağlar.

Diğer CAD yazılımlarıyla uyumlu olup geniş bir dosya formatını destekler, bu da farklı tasarım ekipleri arasında veri paylaşımını kolaylaştırır.

Kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir ve mühendislerin, tasarımcıların ve ürün geliştiricilerin karmaşık tasarımları hızlı bir şekilde oluşturmalarına olanak tanır.

Çeşitli eğitim kaynakları ve destek materyalleri sunar. Çevrimiçi topluluklar aracılığıyla bilgi ve deneyim paylaşımına olanak tanır.

Endüstride sıkça kullanılmakta olan SolidWorks, geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından benimsenmiş ve mühendislik tasarımlarından üretim süreçlerine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tez kapsamında, SolidWorks programı ürün tasarımı yapılması aşamasında kullanılmıştır. Program sayesinde tasarımın katı modellemesi yapılmış ve bu model üzerinde ilgili testlerin yapılması için analiz programının girdisi olarak hazırlanmıştır.

### 3.2.1.2. Ansys Çalışmaları

ANSYS, mühendislik simülasyonu ve analitik yazılım sağlayıcısıdır. Ürün tasarımından performans değerlendirmeye kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılır. Çoklu fiziksel alanları modelleme yeteneği vardır ve yapısal analiz, akışkanlar dinamiği, ısı transferi, elektromanyetik alanlar gibi fiziksel etkileşimleri simüle edebilir. Tasarım optimizasyonu, yeniden şekillendirme ve geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından tercih edilmesi ANSYS'in öne çıkan özelliklerindedir. Ayrıca, öğrenci ve akademik kullanım için uygun bir yazılımdır.

- **Simülasyon ve Analiz Yetenekleri:** ANSYS, mühendislerin ürün ve sistemlerin gerçek dünya performansını sanal olarak simüle etmelerine ve analiz etmelerine olanak tanır. Yapısal analiz, akışkanlar dinamiği, ısı transferi ve elektromanyetik alanlar gibi birçok farklı fiziksel etkileşimi modelleyebilir.
- **Çoklu Fiziksel Alanlar:** ANSYS, yapısal mukavemetten akışkanlar dinamiğine, ısı transferinden elektromanyetizmaya kadar bir dizi fiziksel alanı bir araya getirerek çoklu fiziksel etkileşimleri modelleme yeteneği sunar. Bu, ürün tasarımının tüm yönlerini kapsayabilen bütünsel bir simülasyon sağlar.
- **Optimizasyon ve Tasarım Yeniden Şekillendirme:** ANSYS, mühendislerin tasarımlarını optimize etmelerine ve iyileştirmeler yapmalarına olanak tanıyan araçlar içerir. Bu, ürün performansını artırmak ve tasarım sürecini iyileştirmek için kullanılabilir.
- **Geniş Kullanıcı Kitlesi:** ANSYS, birçok endüstri ve mühendislik disiplinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılık, otomotiv, enerji, elektronik, inşaat ve daha birçok sektördeki mühendisler tarafından tercih edilmektedir.

- **Öğrenci ve Akademik Kullanım:** ANSYS, birçok üniversite ve eğitim kurumunda öğrencilere ve araştırmacılara mühendislik simülasyonu konusunda eğitim ve deneyim imkanı sunmaktadır.

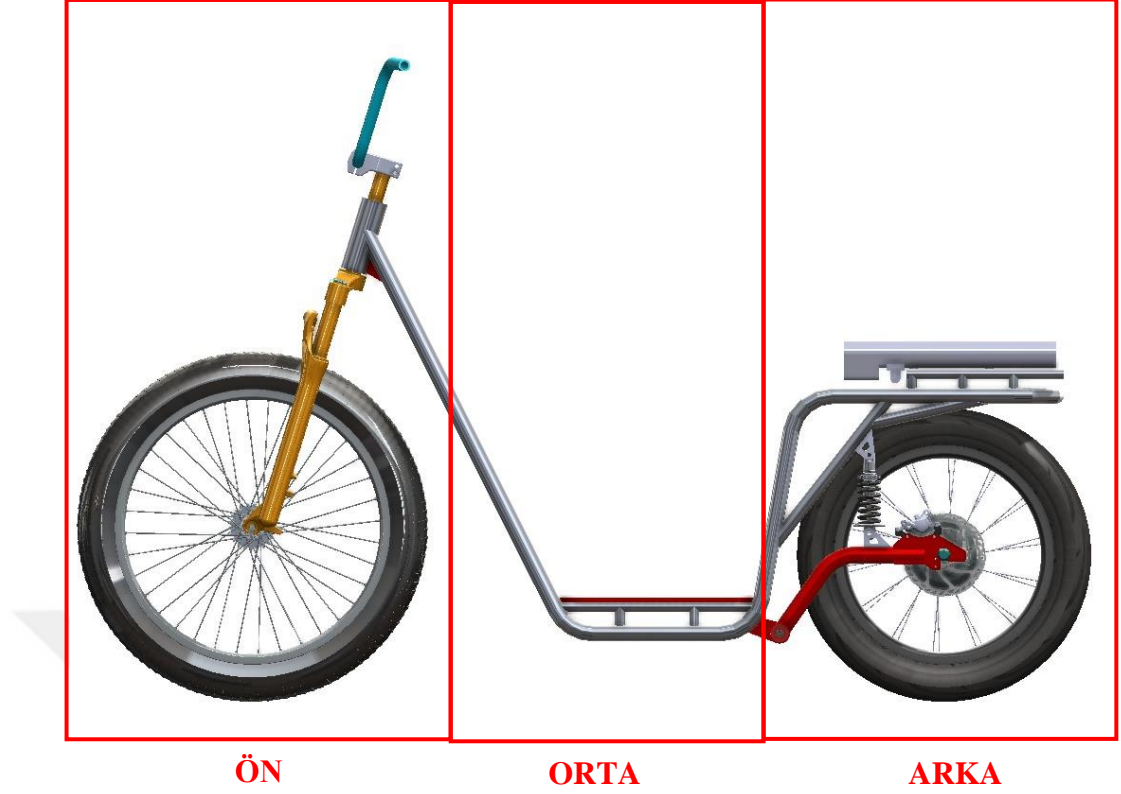
Tez çalışması kapsamında ANSYS programında katı modeli hazırlanmış olan tasarım üzerinde sanal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda tasarımda gerekli revizeler yapılarak yapı dayanımı arttırılmıştır.

### 3.2.2. Prototip İmalatı

Prototip üretim sürecinde, aracın ana gövdesini oluşturacak boru malzeme kullanılacak ve bu malzemeye büküm ve kaynak işlemleri uygulanmıştır. Bu süreçte öncelikle Boru malzeme seçimi yapılır. Prototipin ana gövdesi için kullanılacak boru malzeme, dayanıklılık, hafiflik ve mukavemet gibi kritik özelliklere sahip seçilmiş bir malzemedir. Bu malzeme, aracın genel performansını ve taşıma kapasitesini etkiler. Prototipin arka tarafına uygulanacak büküm işlemi, taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını taşıyacak olan bölümdür.

Skuterin arka tarafı, aracın yük taşıma yeteneklerini artırmak ve dengesini sağlamak için özel bir büküm sürecine tabi tutulur. Büküm işlemi sonrasında kaynak işlemine geçilir. Prototipin orta kısmında, aracın ağırlığını taşıyacak olan ana gövde bölgesine, boru malzemenin birleştirilmesi ve sabitlenmesi için kaynak işlemi uygulanacaktır. Bu, aracın genel dayanıklılığını ve stabilitesini sağlamak amacıyla önemli bir adımdır. Daha sonrasında direksiyonun bulunduğu ön tarafta, boru malzemenin birleştirilmesi ve sabitlenmesi için montaj işlemi kullanılacaktır.

Yapılan eylemler, aracın tasarımında belirli gereksinimlere ve performans beklentilerine dayanmaktadır. Arka tarafta büküm işlemi, yük taşıma yetenekleri üzerindeki etkisiyle öne çıkar, orta bölgedeki büküm işlemi ise sürücü ağırlığını taşıma kapasitesini güçlendirmeye yöneliktir. Ön tarafta birleştirme işlemi ise hassas direksiyon mekanizmasının sağlıklı bir şekilde entegre edilmesini sağlar.



Şekil 3.2.2.1.Skuterin bölümleri

Prototip üretim, sırasıyla kaynakhane, kumlama, boyahane, etiket ve montaj bölümlerinde gerçekleştirilecektir. Bu kapsamda otomatik boru büküm makinası ile bükümü gerçekleştirilen şasinin birleştirme işlemi için gaz altı kaynak yöntemleri kullanılacaktır. Çelik hammaddeli alt komponentleri ise CNC lazer yöntemi ile imalatı gerçekleştirilecektir. Lityum-iyon bataryaya sahip olacak ürünün, batarya değişimini kolaylaştıracak raylı bir sistem entegre edilecektir.

Gerçek imalat koşulları altında üretimi sağlanan scooter tasarımının fiziksel ve mekanik özelliklerinin analizi, performans özelliklerinin değerlendirilmesi, sanal-simüle ortamda elde edilen analiz sonuçları ile karşılaştırılmalı olarak ele alınması saha testlerinin gerçekleşmesinin ardından yapılacaktır. Testler (EMC, LVD, Saha, performans ve yol testleri, menzil testleri, yorulma testleri) uygulanarak, ürüne ait fiziksel ve mekanik özellikler ortaya konulacak, kalite standart (EN15194, ISO4210-2, 2006/AT/42) ve gereklilikleri göz önüne alınarak değerlendirilecektir.

### 3.2.3. Kaynak İşlemi

Kaynak iki ya da daha fazla malzemenin ısı, basınç ya da ısı-basınç birlikte kullanılarak eritilmesi ve eritilen metallere ilave dolgu metali eklenerek ya da eklenmeden birleştirilen önemli bir üretim yöntemidir [39]. Endüstriyel olarak metallerin kaynağında yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemleri gazaltı ark kaynağı, elektrik ark kaynağı, TIG kaynağı ve toz altı ark kaynağıdır [40].

Kaynak ile birleştirme işlemleri için gaz altı tungsten kaynağı (GTAW) sanayide bilinen adı ile tungsten asal gaz kaynağı (TIG) yöntemi kullanılmıştır.

TIG yönteminin adı İngilizce Tungsten Inert Gas kelimelerinin baş harflerinden gelmektedir. Bu yöntemde, koruyucu gazın bir asal gaz olması sebebiyle kaynak bölgesinde oksidasyon ve erimiş metalin azot kapması önlenmiş olur. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar; argon, helyum, karbondioksit ve karışım gazlardır [41]. Standart bir TIG kaynak donanımı hava veya su ile soğutulan bir kaynak pensesi, akım üretici, koruyucu gaz tüpü ve bir de otomatik kumanda cihazından meydana gelir [42].

Bu yöntemde, uygun bir başlık (Torch) vasıtası ile taşınan bir tungsten elektrod, esas metalle ark oluşturur. Ark, tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Oluşan ark ile esas malzeme ergiyip, birleşim meydana gelir. Kaynak ilave malzemesi elle eklenebildiği gibi otomatik olarak da eklenebilir [43]. Oluşturulan bu ark sonucu, açığa çıkan ısının ergitme gücü, esas ve ilave metalin ergitilmesinde kullanılır. Koruyucu gaz, bir tüpten çekilip başlık aracılığı ile kaynak bölgesine gönderilir. Böylece, oluşumu muhtemel kaynak hataları, bölgenin korunması ile önlenmiş olur [44]. TIG kaynak yöntemi ile paslanmaz çelikler, ısıya mukavim çelikler dökme demir ve çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, titanyum, nikel (Ni), molibden (Mo), niyobyum (Nb), tungsten (W) gibi bütün metal ve alaşımları kaynaklanabilir [45].



Şekil 3.2.3.1. Skuterde kullanılan kaynağın görseli

#### 3.2.4. Boya İşlemi

Metalik malzemelerin korozyona karşı korunmasında boyalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu boyaların malzeme yüzeylerine yapışması korozyon direncinin devamlılığı için önemli bir unsurdur [46]. Toz boya kalınlığı istenilen kalınlıkta olmazsa burada uygulanan boyanın birincil fonksiyonu olan fiziksel ve kimyasal etkilere karşı parçayı koruma görevini tam olarak yerine getiremeyecektir. Aynı zamanda ikincil fonksiyon olan estetik özelliğinden görsel bozukluk gibi kalitesizlik problemlerinden dolayı müşteri tarafından beğenilmeyecektir [47].



Şekil 3.2.4.1. Boya sonrası skuter şasisi

### 3.2.5. Montaj İşlemleri

Prototip üretim süreci, boyanmış ürünün gövdesinin yanı sıra maşa, tekerlekler, batarya ve diğer gerekli ekipmanların bir araya getirilmesini içerir. Bu süreç, dikkatlice tasarlanmış bir montaj prosedürü üzerinden gerçekleştirilir.

İlk adım, boyanmış ürünün gövdesinin hazırlanmasıdır. Boya, estetik bir görünüm sağlamak ve koruma katmanı oluşturmak amacıyla uygulanır. Ardından, maşa (şasi), tekerlekler, batarya ve diğer parçalar, gövde üzerine yerleştirilir. Bu noktada, her parçanın doğru konumda ve doğru oryantasyonda olması sağlanarak montajın doğruluğu önemlidir.

Maşa, aracın iskeletini oluşturan temel yapıdır. Tekerlekler, aracın hareketini sağlar ve belirlenmiş tasarım parametrelerine uygun bir şekilde monte edilir. Batarya, aracın güç kaynağını temsil eder ve enerji sağlamak için belirlenen konuma yerleştirilir. Diğer ekipmanlar, prototipin özelliklerine bağlı olarak uygun yerlere monte edilir.

Montaj işlemi, her bir parçanın sıkıca sabitlenmesini, bağlantı noktalarının güvenli bir şekilde birleştirilmesini ve parçaların birbirleriyle uyumlu bir şekilde entegre edilmesini içerir. Bu, prototipin sağlam, dayanıklı ve işlevsel olmasını sağlamak adına kritiktir.

Son olarak, tamamlanan prototip bir dizi kontrol ve test aşamasından geçer. Bu aşamada, hareket kabiliyeti, enerji verimliliği, bağlantı noktalarının güvenilirliği ve genel performans gibi kritik özellikler test edilir. Test sonuçları, prototipin tasarımının ve montajının başarıyla tamamlandığını doğrulamak üzere kullanılır.

Prototip üretimi, tasarımın pratikte nasıl çalıştığını değerlendirmek ve geliştirmeler yapmak için kritik bir adımdır. Bu aşama, sonraki üretim süreçlerine ve ürünün ticarileştirilmesine geçmeden önce önemli bir değerlendirme ve mükemmelleştirme fırsatı sunar.



Şekil 3.2.5.1. Prototipi tamamlanmış skuter

### 3.2.6. Saha Testleri

Elektrikli skuterin montaj işlemleri tamamlandıktan sonra, elektronik komponentlerin sorunsuz bir şekilde çalıştığını ve kullanım konforunun sağlandığını doğrulamak adına, skuter bir bisiklet parkurunda titiz bir teste tabi tutulmuştur. Bu test aşamasında, kullanılan ekipmanların doğruluğu büyük bir önem arz etmektedir. Özellikle, skuterin yol tutuşu ve frenleme sistemleri gibi teknik detaylar dikkatle incelenmiş ve kontrol edilmiştir.



Şekil 3.2.6.1. Skuterde kullanılmış olan ön tekerleğin görseli

Ayrıca, skuterin performansını etkileyen önemli bir faktör olan arazi lastiği seçimi üzerinde durularak, ürünün engebeli yollardaki performansı özel bir test sürecine tabi tutulmuştur. Bu, skuterin farklı zemin koşullarında nasıl tepki verdiğini değerlendirerek, kullanıcının çeşitli yol şartlarında güvenli ve etkili bir sürüş deneyimi yaşamasını sağlamak amacını taşımaktadır. Bu detaylı testler, ürünün kalitesini ve güvenilirliğini sağlamak adına yapılmış önemli adımlardır.



Şekil 3.2.6.2. Skuterde kullanılmış olan arka tekerlek ve motor

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Simülasyon Analiz Sonuçları

Çelik malzemeler ortaya koyduğu yüksek dayanım ve yorulma dayanımı gibi özellikleri sebebiyle bisiklet üretiminde geçmişten günümüze tercih edilen en yaygın malzeme grubu arasında yer almaktadır [48]. Ülkemizde son dönemlerde alüminyum kadroya sahip bisikletlerin popülerliği artmış olsa dahi, fiyat-performans olarak bakıldığında çelik kadroya sahip bisikletler popülerliğini korumaktadır. Bisiklet sektöründe sıkça kullanılmasından dolayı tez konusu elektrikli skuterde de malzeme seçimi noktasında ilk akla gelen St-37 olmuştur. Tablo 4.1.1.'de bisiklet sektöründe alternatif olarak kullanılan Al6061-T6 alaşımının mekanik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4.1.1.** Al6061-T6 mekanik özellikleri [49]

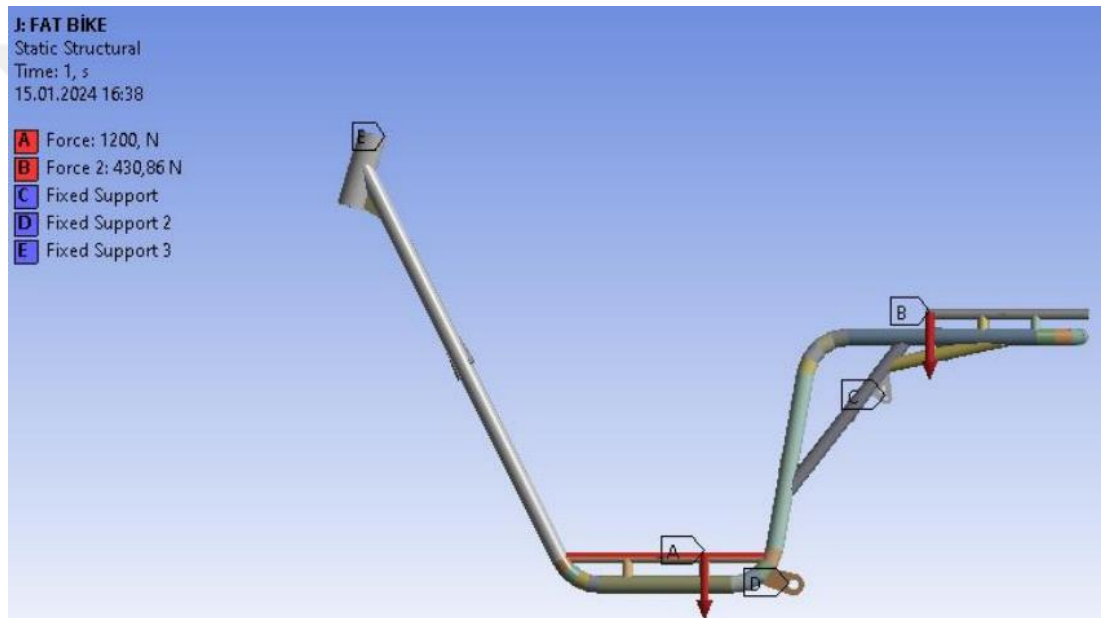
Elastisite Modülü	$6.9e4 \text{ N/mm}^2$
Poisson Oranı	0,33
Gerilme Mukavemeti	$310 \text{ N/mm}^2$
Akma Mukavemeti	$275 \text{ N/mm}^2$
Termal Genişleme Katsayısı	$2.4e-5 /K$
Kütle Yoğunluğu	$2700 \text{ kg/m}^3$

**Tablo 4.1.2.** Al6061-T6 kimyasal kompozisyon [50]

% Al	95.8-98.6
% Cr	0.04-0.35
% Cu	0.15-0.4
% Fe	0.7 (maksimum)
% Mg	0.8-1.2
% Mn	0.15 (maksimum)
% Si	0.4-0.8
% Ti	0.15 (maksimum)
% Zn	0.25 (maksimum)
% Diğer	0.15

Tasarım aşamasında St-37 ya da Al6061-T6 boru malzeme kullanılması düşünülmüştür. Ham maddeyi tedarik edebilme ve işletirebilme aşaması daha kolay olması sebebiyle St-37 çelik malzeme tercih edilmiştir.

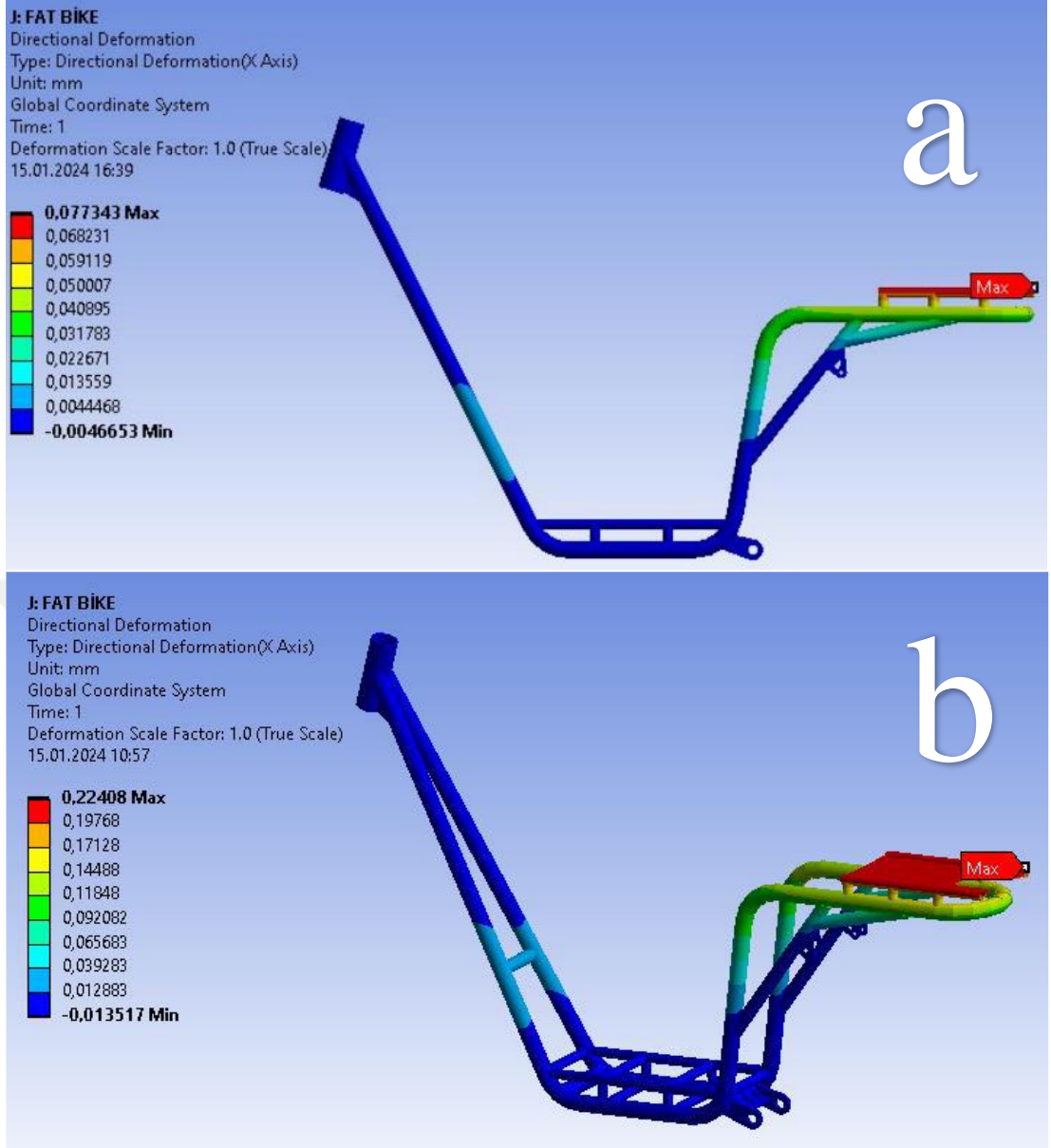
Bilgisayar destekli yazılım programları ile katı modeli oluşturulmuş olan skuterde sürücünün bulunacağı, arka sepetin ve bataryanın yerleştirileceği yere yük altındaki davranışını görüntülemek üzere analizler yapılmıştır. Analizler aynı tasarıma sahip, St-37 ve Al6061-T6 malzemeden imal edilmiş skuter üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1.1 de sanal testlerin yapılmış olduğu tasarım gösterilmektedir.



Şekil 4.1.1. Skuter üzerinde analizlerin uygulandığı alan

#### 4.1.1. Eksenel Deformasyon

Eksenel deformasyonun aşırı olması durumunda malzeme plastik deformasyona uğrayabilir, yani orijinal şeklini kaybedebilir. Bu durum, bir malzemenin taşıma kapasitesini, dayanıklılığını ve yapısal bütünlüğünü etkileyebilir. Aynı zamanda, malzeme elastik bir şekilde deformasyona uğradığında, kuvvet uygulama sona erdiğinde orijinal şekline geri dönebilir.



**Şekil 4.1.1.1.** (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için X ekseninde aksel deformasyon analiz sonuçları

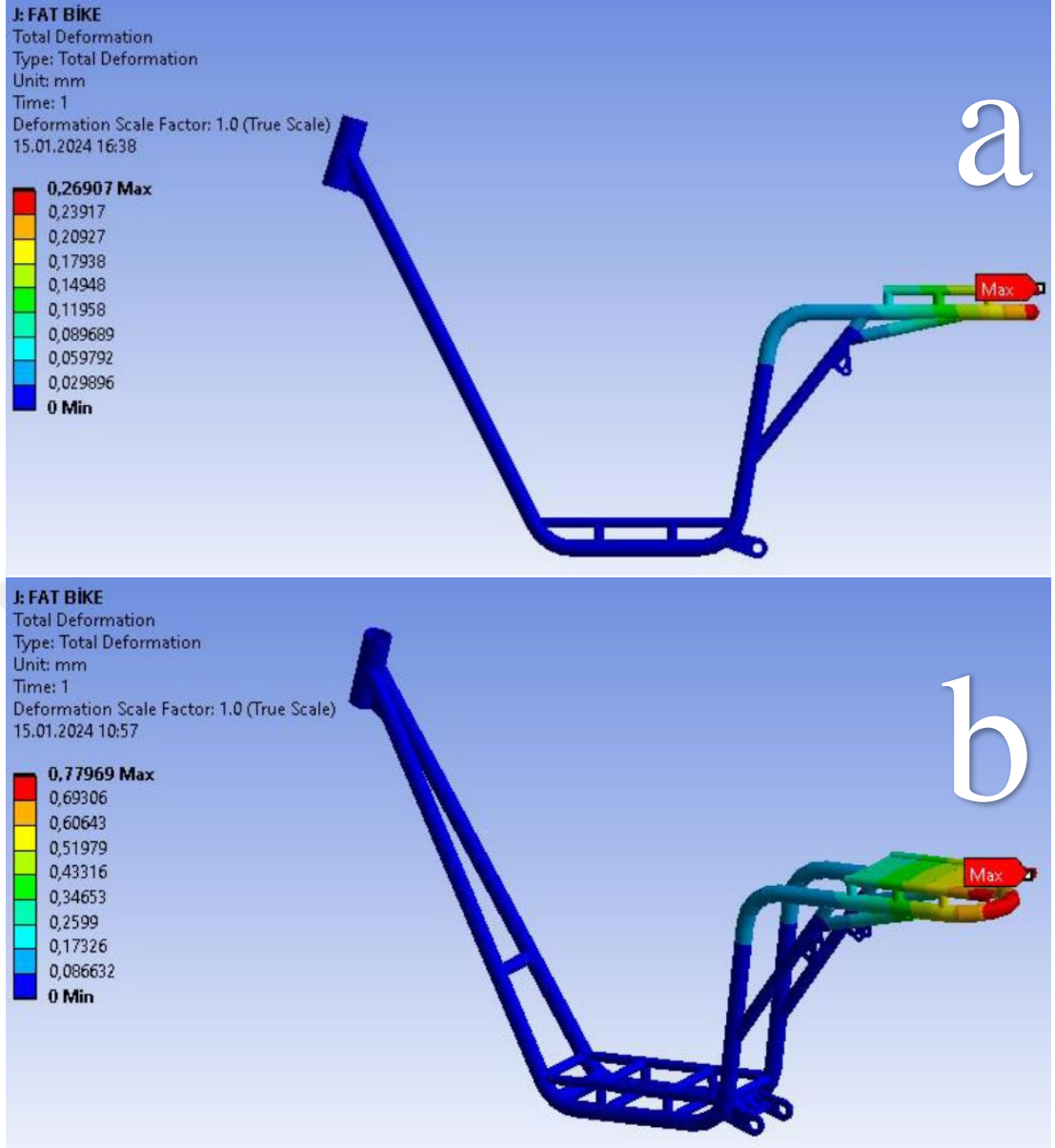
Bu analiz sonucunda, modelin belirli bir yük altında nasıl davrandığı görülebilir. Bu analiz sonucunda, skuterin arka kısmının davranışı gösterilmiştir. Renkler, belirli koşullar veya yükler altında meydana gelen deformasyon miktarını gösterir. Kırmızı maksimum deformasyonu, mavi ise minimum deformasyonu gösterir. X ekseninde aksel gerilme analizi St-37 ve Al6061-T6 boru malzemedan yapılmış skuter için gerçekleştirilmiştir. Her iki analizi karşılaştırdığımız takdirde St-37 için olan analizde maksimum aksel deformasyon  $0,077 \text{ mm}$  iken aynı analiz Al6061-T6 malzemedan yapılan skuter için tekrarlandığında maksimum değerin  $0,224 \text{ mm}$  olduğu

görülmektedir. Analiz sonucuna bakıldığında her iki malzemedenden de imal edilen skuterin, arka tarafına gelecek olan yükü deformasyona uğramadan taşıyabileceği görülmektedir.

#### **4.1.2. Toplam Deformasyon**

Toplam deformasyon, elastik ve plastik deformasyonların toplamını ifade eder ve genellikle bir mühendislik problemi veya malzeme tasarım sürecinde önemli bir parametredir. Bir malzemenin üzerine uygulanan kuvvetin etkisi altında nasıl davrandığını anlamak, malzemenin kullanım koşullarında nasıl performans göstereceğini değerlendirmek açısından önemlidir.

Bu değerlendirme, malzemenin dayanıklılığı, mukavemeti, taşıma kapasitesi ve genel yapısal bütünlüğü ile ilgili kritik bilgiler sağlar. Toplam deformasyon analizi, malzemenin belirli uygulamalara uygunluğunu değerlendirmek ve tasarım süreçlerinde güvenilir sonuçlar elde etmek için önemli bir araçtır.



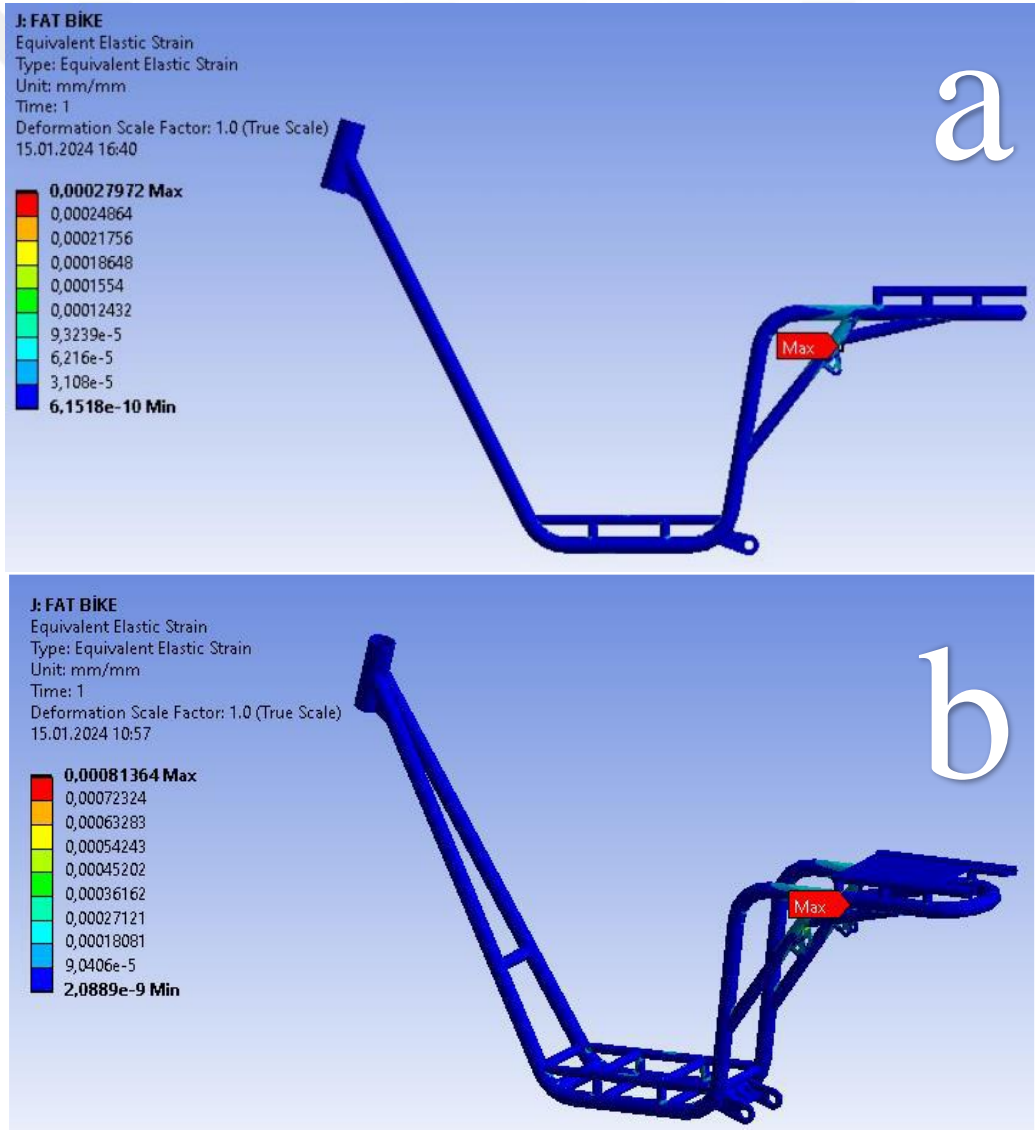
**Şekil 4.1.2.1.** (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için toplam deformasyon analiz sonuçları

Bu analiz sonucunda, toplam deformasyon analizi St-37 ve Al6061-T6 boru malzemeden yapılmış skuter için gerçekleştirilmiştir. Her iki analizi karşılaştırdığımız takdirde St-37 için olan analizde maksimum toplam deformasyon miktarı 0,269 sonucu edilirken aynı analiz Al6061-T6 malzemeden yapılan skuter için tekrarlandığında elde edilen maksimum deformasyon miktarının 0,779 olduğu görülmektedir.

#### 4.1.3. Eşdeğer Elastik Birim Şekil Değişirme

Eşdeğer elastik birim şekil değişirme (EESD), bir malzemenin elastik özelliklerini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bu, bir malzemenin elastik bölgesinde uygulanan stres ve deformasyon arasındaki ilişkiyi ifade eder. Eşdeğer elastik birim şekil değişirme genellikle Young Modülü veya Elastisite Modülü ile ilişkilidir.

EESD, malzeme mühendisliğinde tasarım ve analiz süreçlerinde önemli bir role sahiptir. Bu değerler, bir malzemenin dayanıklılığı, mukavemeti ve elastik davranışı hakkında önemli bilgiler sağlar. Mühendisler, malzemenin belirli bir uygulama için uygunluğunu değerlendirmek ve tasarım yaparken malzemenin davranışını anlamak için EESD'yi kullanır.



Şekil 4.1.3.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için eşdeğer elastik birim şekil değişirme analiz sonuçları

Görselde bulunan bu analiz, şasinin belirli bölgelerindeki gerilme ve deformasyonu renklerle göstermektedir. Skuter şasisinin arka tarafının davranışı gösterilmiştir. Görselde de görüldüğü üzere, elde edilen her iki değer de yapı bütünlüğüne zarar veremeyecek kadar düşük çıkmıştır. St-37 ve Al606-T6 için yapılan elastik birim şekil değiştirme analiz sonuçları arasında çok büyük fark gözlemlenmemiştir. Maksimum değer gözlemlendiği bölgeler aynı yerler olmakla beraber, Al6061-T6 için maksimum değer  $0,000813 \text{ mm}$  iken St-37 için  $0,000279 \text{ mm}$  olarak sonuçlanmıştır.

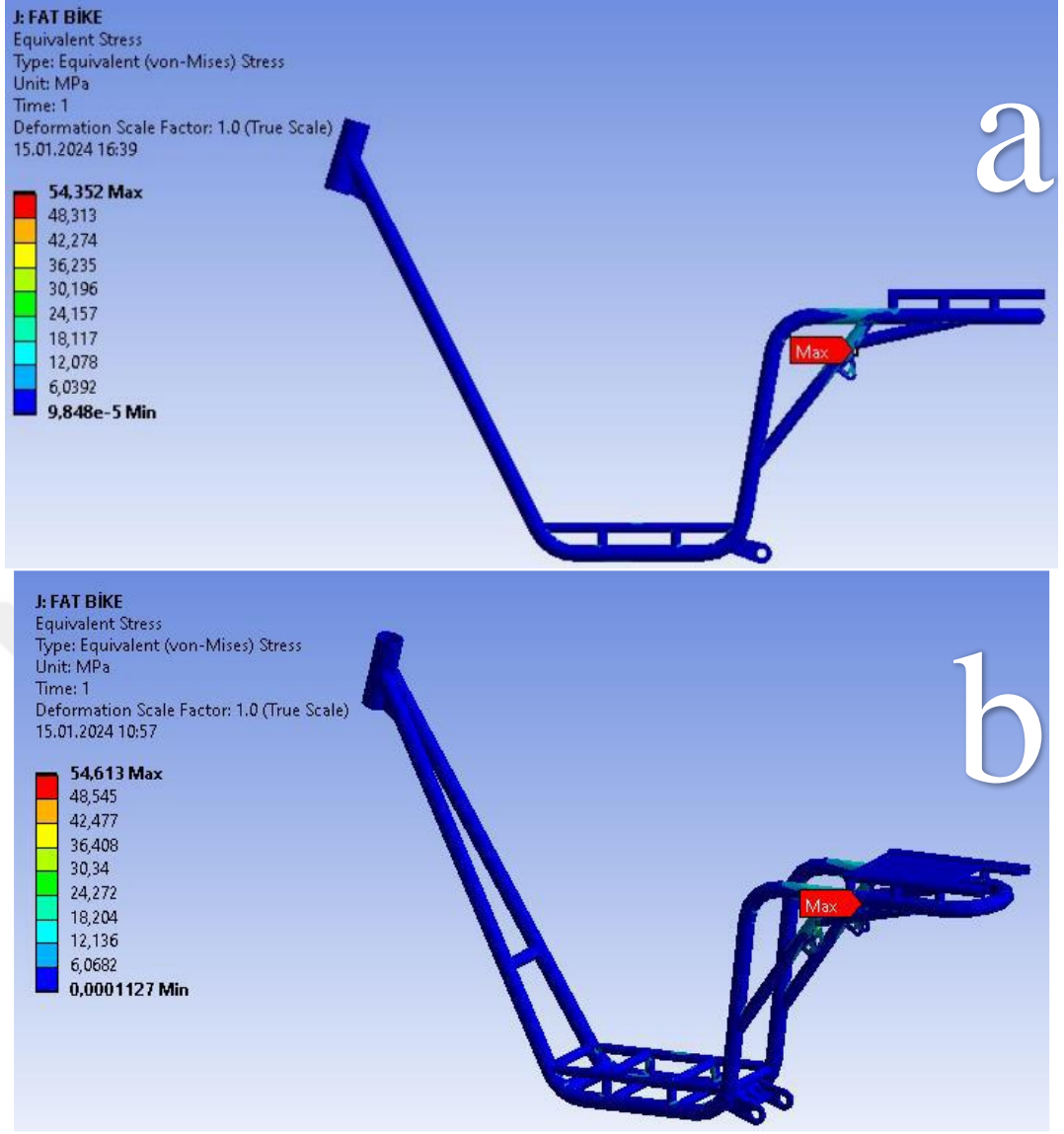
#### **4.1.4. Gerilmeler**

##### **4.1.4.1. Von Mises Gerilmeleri**

Von Mises gerilmeleri, malzeme mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan bir gerilme değerlendirme metodu olup, bir malzemenin üzerine etkiyen çeşitli gerilme bileşenlerini tek bir gerilme değeriyle birleştirir. Genellikle matematiksel bir formülle ifade edilen Von Mises gerilme kriteri, malzemenin genel gerilme durumunu anlamak için kullanılır. Bu kriterin temel amacı, farklı yönlere etkiyen gerilmelerin etkilerini tek bir ölçüde birleştirerek, malzemenin çeşitli yük ve etkiler altında nasıl davrandığını değerlendirmektir.

Von Mises kriterine göre, bir malzeme çatlama eğilim gösterdiğinde, bu gerilme değeri belirli bir kritik seviyeyi aştığında ortaya çıkar. Bu nedenle, Von Mises gerilme analizlerini kullanarak malzeme seçimi, yapısal tasarım ve dayanıklılık değerlendirmeleri gerçekleştirilebilir.

Von Mises gerilmeleri hem elastik hem de plastik deformasyon durumlarında geçerli olup, genellikle karmaşık yapıların davranışını anlamak ve optimize etmek için sayısal analizlerde sıklıkla tercih edilen bir metottür. Bu analizler, malzemenin çeşitli yük ve koşullar altında nasıl davranacağını anlamak, çatlamaların oluşma potansiyelini değerlendirmek ve güvenilir tasarımlar oluşturmak için önemli bir araç sağlar.



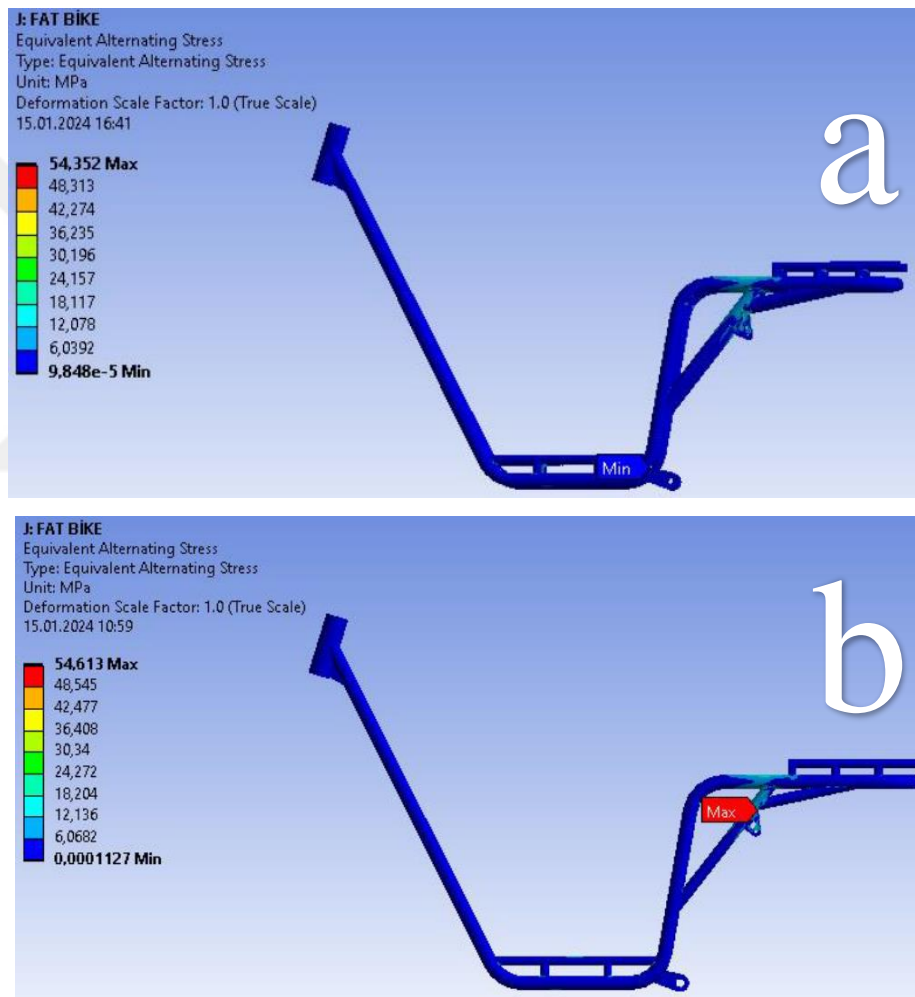
**Şekil 4.1.4.1.1.** (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için Von-Mises gerilme analiz sonuçları

Yapılan analiz sonucunda St-37 için olan analizde Von Mises gerilmesi 54,352 MPa iken aynı analiz Al6061-T6 malzemedan yapılan skuter için elde edilen sonucun 54,613 MPa olduğu görülmektedir.

#### 4.1.4.2.Eşdeğer Alternatif Gerilme

Eşdeğer Alternatif Gerilme" (Equivalent Alternating Stress), genellikle malzemenin yorulma ve mukavemet analizlerinde kullanılan bir terimdir. Bu kavram, bir malzemenin tekrarlayan yükler altındaki dayanıklılığını değerlendirmek ve malzemenin yorulma davranışını anlamak için önemlidir.

Bir malzemenin üzerine etkiyen tekrarlayan yükler altında, malzeme genellikle plastik ve elastik deformasyonlar yaşar. Bu deformasyonlar malzeme içinde çatlaklara neden olabilir ve bu çatlaklar zamanla büyüyerek malzeme başarısızlığına yol açabilir. Eşdeğer Alternatif Gerilme, bu çatlak oluşumu ve büyümesini tahmin etmeye yardımcı olan bir ölçüdür. Eşdeğer Alternatif Gerilme, tekrarlayan yükler altında çalışan malzemelerin dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla genellikle S-N eğrileri ile beraber değerlendirilir. Bu değer, genellikle gerilme ve sayısal bir faktör içerir ve malzemenin belirli bir koşul altında ne kadar süre dayanabileceğini tahmin etmeye yardımcı olur.



**Şekil Hata!** Burada görünmesini istediğiniz metne 0 uygulamak için Giriş sekmesini kullanın.Hata! Burada görünmesini istediğiniz metne 0 uygulamak için Giriş sekmesini kullanın.**4.1.4.2.1** (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için eşdeğer alternatif gerilme analiz sonuçları

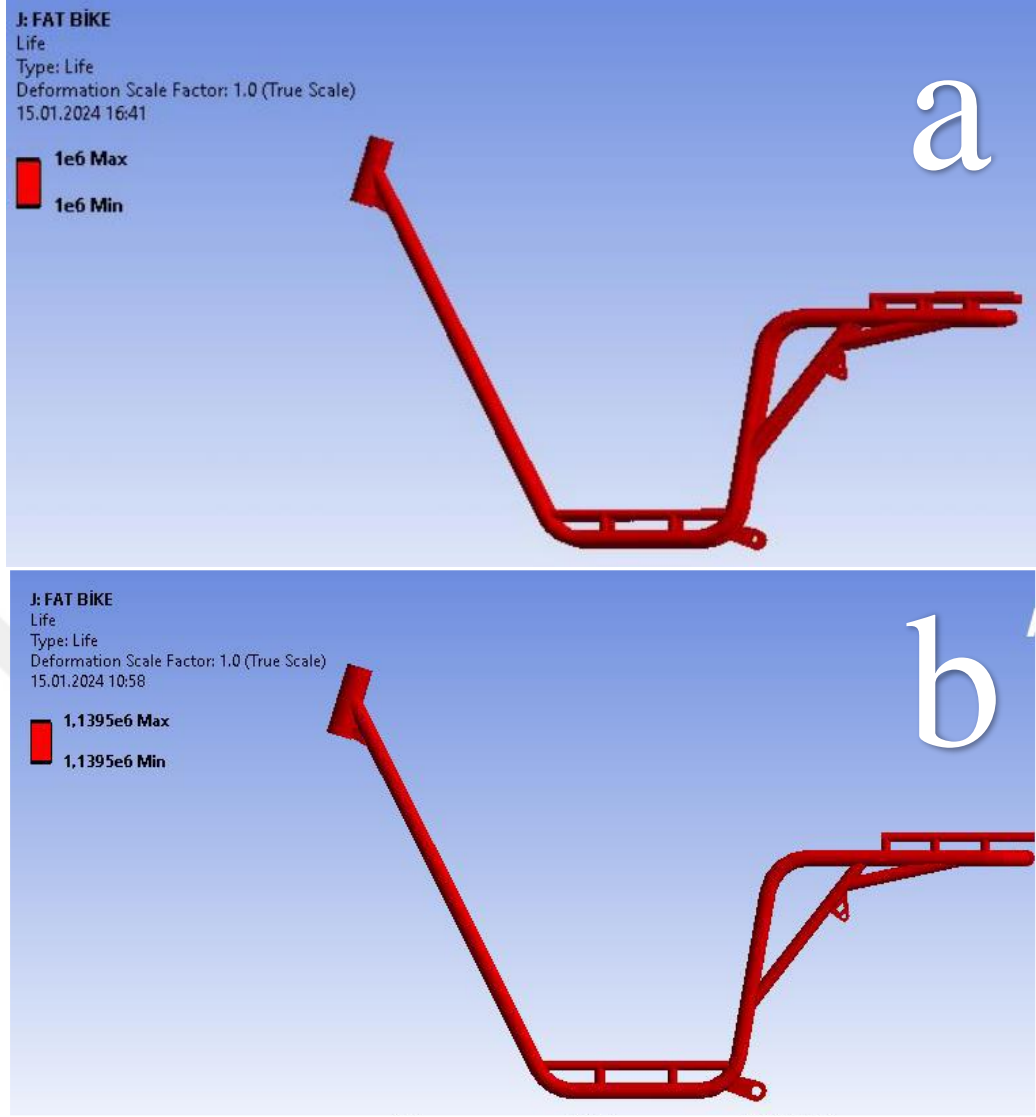
St-37 ve Al6061-T6 için yapılan eşdeğer alternatif gerilme analizi incelendiğinde, elde edilen değerlerin St-37 için 54,352 MPa, Al6061-T6 için 54,613 MPa olduğu görülmektedir.

#### **4.1.5. Yorulma Performansı**

Yorulma Analizleri, bir malzemenin veya yapısal elemanın sürekli tekrarlayan yükler altında nasıl yorulduğunu, bu süreçte nasıl davrandığını ve ne kadar dayanıklı olduğunu değerlendirir. Bu, özellikle malzeme yorgunluğu, çatlamaların meydana gelme olasılığı ve ömür tahminleri gibi konularda bilgi sağlar.

Yorulma analizlerinin temelinde genellikle S-N eğrisi (gerilme-ömür eğrisi) bulunur. Bu eğri, belirli bir gerilme seviyesi altında malzemenin dayanma ömrünü gösterir. Bu bilgi, tasarımcılara belirli bir uygulama veya yapı için uygun malzeme seçimi konusunda rehberlik sağlar. Eşdeğer alternatif gerilme sonuçları ile beraber değerlendirmek tasarım hakkında daha doğru bilgi edinilmesini sağlayacaktır.

Yorulma analizleri, malzeme üzerindeki tekrarlayan yüklerin etkisi altında meydana gelebilecek çatlamaların büyümesini ve yayılmasını değerlendirir. Bu, malzeme ömrü ve güvenilirliği hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu analizler aynı zamanda belirli bir malzemenin veya yapısal elemanın ne kadar süre boyunca dayanabileceği konusunda ömür tahminleri yapma yeteneği sunar.



**Şekil 4.1.5.1.** (a) St-37 çelik, (b) Al6061-T6 malzeme için yorulma analiz sonuçları

Yorulma analizi sonuçları St-37 çelik malzeme için ve Al6061-T6 malzeme Şekil 4.1.5.1.'de gösterilmektedir. Aşağıda ki tabloda elektrikli skuter şasisine yorulma analizi yapılması sonucunda yükün uygulanma süresi ve uygulanan yükün maksimum, minimum ve ortalama kuvveti gösterilmiştir

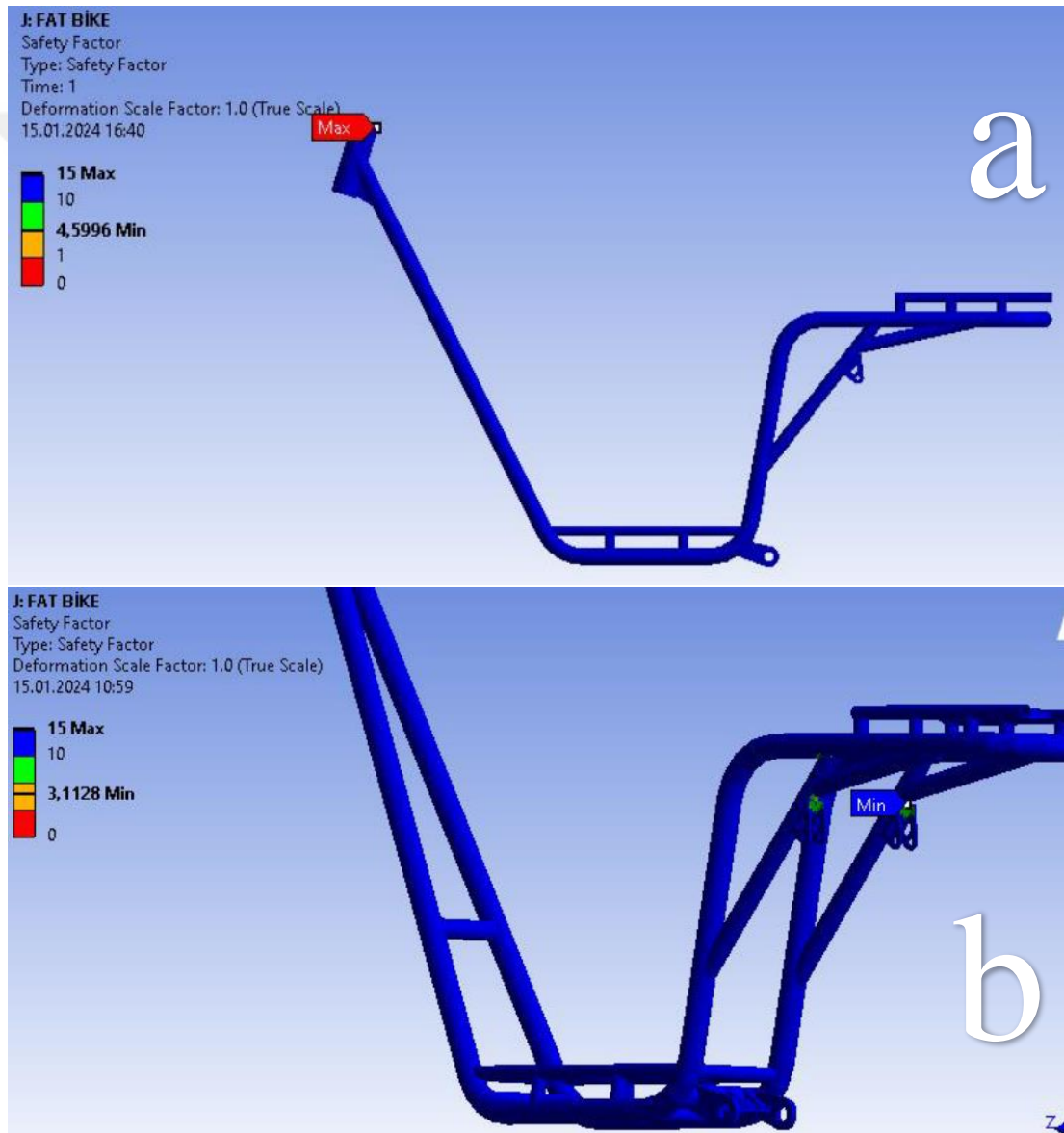
**Tablo 4.1.5.1.** St-37 için yorulma analizine ait veriler

Zaman (saniye)	Minimum Yük Altında	Maksimum Yük Altında	Ortalama Yük Altında
1	1e+006	1,e+006	1e+006

#### 4.1.6. Güvenlik Katsayısı Etkisi

Malzeme mühendisliğinde, güvenlik katsayısı, bir malzemenin belirli bir gerilme, basınç veya eğilme koşulu altında nasıl davranacağını değerlendirmek için kullanılır. Bu, malzemenin dayanıklılığını ve tasarım kapasitesini belirler.

Güvenlik katsayısı analizleri, mühendislik, yapısal tasarım, malzeme değerlendirmesi ve diğer benzeri alanlarda yaygın olarak kullanılan önemli bir kavramdır. Bu analizler, bir sistemin, yapısal elemanın veya tasarımın belirli yük ve etkiler altında nasıl davranacağını değerlendirirken kullanılır.



Şekil 4.1.6.1. (a) St-37 çelik, (b) Al6061 malzeme için güvenlik katsayısı analiz sonuçları

Güvenlik katsayısı değerleri analiz sonucunda St-37 için 4,599 çıkarken Al6061-T6 için 3,112 çıkmıştır. Malzemelerin akma dayanımları göz önünde bulundurulduğunda sonuç, beklenen değer aralığı içerisinde dir.

Tablo 4.1.6.1’de elektrikli skuter şasisinde güvenlik katsayısı analizi yapılırken şasiye yükün uygulanma süresi ve uygulanan yükün maksimum ve minimum değerlerde olduğu yerler gösterilmiştir. Bu analize bakarak maksimum yükün şasinin orta tarafında olacağını ve yapılan tasarımın bu yükü deforme olmadan taşıyabileceği söylenebilir.

**Tablo 4.1.6.1.** Güvenlik katsayısı analizine ait veriler

Zaman (saniye)	Minimum	Maksimum	Ortalama
1	4,5996	15	14,985

## 4.2. Tartışma

Analiz sonuçlarına bakıldığında, elektrikli skuter şasi imalatında St-37 çelik malzeme veya Al6061-T6 malzemesinin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Her iki malzemenin Von Mises gerilme analizi sonuçlarına bakıldığında St-37 için 54,352 MPa ve Al6061-T6 için 54,613 MPa çıkan değer her iki malzemedен yapılmış olan skuterin birbirine yakın dayanıma sahip olduğunu göstermiştir.

Tasarım analizlerinin yapılması sonrasında ham maddeye ulaşılabilirlik, maliyet ve işleyebilme konularının araştırılmasıyla St-37 malzemenin kullanılmasına karar verilmiştir. Al6061-T6 malzemenin istenen ölçülerde bulunamaması, büküm derecelerinin kısıtlı olması, St-37 çeliğin de bu sıkıntılara çözüm bulunabiliyor ve maliyet açısından Al6061-T6'nın önüne geçiyor olması sebebiyle St-37 çeliği tercih edilmiştir.

Kullanılacak olan St-37 çeliğinde, şasi yapılırken kaynak ile birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Literatürde araştırmasında görüldüğü üzere, çarpılma ve distorsiyonu önlemek için kalıp hazırlanmış ve kaynaklı birleştirme esnasında sabitlenerek kullanılmıştır. Aynı araştırma sonucunda, 235JR-S235JR malzemelerinin kaynak işlemi ile birleştirilmesi sonucunda çekme dayanımlarının ( $363 N/mm^2$ ) eşit olması yapılan kaynak işlemlerinin başarısını göstermektedir. Bir başka ifade ile kaynaklı bağlantıların, ana malzemelerden ölçülen çekme dayanımlarının üstünde bir performans sergiledikleri ifade edilmiştir [51].

S235JR karbon çeliğinin kaynak edilebilirliğinin incelendiği bir çalışmada, ısı tesiri altındaki bölge görüntüleri incelendiğinde artan tel ilerleme hızına (kaynak akımına) paralel olarak tanelerde büyümeler görülmüştür [52]. Başka bir çalışmada da S235JR karbon çeliğinin ısı tesiri altındaki bölgede iri ve ince taneli bir yapı meydana geldiği bildirilmiştir [53]. Tanelerde meydana gelen bu değişime, artan tel ilerleme hızına paralel olarak artan ısı girdisi sebep olmuştur. Yine başka bir çalışmada Bendikiene, Janusas ve Zizys S235JR karbon çeliğini MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve yaptıkları çalışmada kaynak sıcaklığına ve soğuma hızına bağlı olarak tanelerde kabalaşmaların meydana geldiğini bildirmişlerdir [54].

Yine benzer bir çalışmada S235 çelik sac için yapılmıştır. S235 çeliğinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve ısı ve yapısal analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda uygulanan kuvvet nedeniyle kaynak çekirdeği etrafında deformasyon

oluşmuştur. En yüksek gerilme değerleri anlık olarak yüksek değerlerde gözükmüş fakat daha sonra düşüş göstermiştir. En yüksek gerilme değeri çekirdek çevresinde ve elektrotun baskı yaptığı ara yüzeyde görülmüştür [55].

Bir başka çalışmada, paletli zırhlı bir askeri araçta gövde üzerine monte edilmiş mekanik bir yapının titreşim kaynaklı yorulma hasarı sonlu elemanlar metodu kullanılarak rastlantısal titreşim ve titreşim kaynaklı yorulma analizleri ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen titreşim kaynaklı yorulma analizleri sonucunda Al5083-H32 malzeme yapıda hasar görülmüş, S235 (St-37) malzeme için yapıda hasar görülmemiştir. Bu nedenle yapı için uygun malzemenin S235 (St-37) olduğu belirlenmiştir [56].

Kaynak malzemesinin ve kaynak kalitesinin incelendiği başka bir çalışmada, kaynak ile birleştirilmiş kaynak bağlantılarının yorulma özelliklerini etkileyen faktörler ve yorulma ömrünü arttırmaya yönelik teknikler özetlenmiştir. Kaynak tipi, kaynak geometrisi, çentik etkisi ve malzeme seçimi gibi birçok parametrenin etkilerinin özetlendiği çalışmada, daha yüksek dayanıma sahip kaynak malzemesi kullanarak, kaynak dikişleri üzerindeki yorulma davranışı iyileştirilmiştir [57].

Pamukkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde yapılan çalışma sonucunda, kaynaklı birleştirmeler doğası gereği yorulmaya zorlanan elemanlar olduğu ve kaynaklı birleştirmenin yorulma direncini etkileyen pek çok faktör bulunmakta ve bu faktörlerin tasarım aşamasında belirlenerek etkilerinin dikkate alınması bilhassa dinamik zorlama durumunda gerektiği belirtilmiştir. Aksi halde istenmeyen ve fonksiyonunu yerine getiremeyen emniyetsiz bir bağlantı ortaya çıkacaktır [58].

Yapılan başka bir araştırmada, S235JR düşük karbonlu çelik ile AISI 304 paslanmaz çeliğin, farklı kaynak parametrelerinde MIG kaynak yöntemiyle birleştirildiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, kaynaklı numunelere uygulanan çekme deneyi sonucunda kaynak bölgesi dayanımının düşük karbonlu çelik malzemedenden daha yüksek olduğu görülmüş ve deformasyonun kaynak bölgesinde değil, düşük karbonlu çelik malzeme bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum AISI 304 ile S235JR malzemenin kaynak edilebilirliğinin mümkün olduğunu göstermektedir [59].

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlgili yüksek lisans tezi kapsamında iki tekerlekli elektrikli skuter tasarımı gerçekleştirilerek prototip üretimi tamamlanmıştır. Gerçekleştirilen sanal analizler, prototipi yapılmış olan skuterin, hedeflenen yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Çalışılan yüksek lisans tezi kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- İlgili ürünün Li-ion bataryaya sahip oluşu sebebiyle fosil yakıt ile çalışan araçlara kıyasla daha çevreci bir alternatif oluşturmaktadır. Aynı zamanda yük taşıma kapasitesi ile özellikle motorlu kuryeler gibi teslimat işi ile ilgili meslekler için yeni bir ulaşım aracı modeli geliştirilmiştir.
- Ön ve arka tekerleklerin taban genişliği ve arazide kullanıma elverişli lastik seçimlerinin yapılması ile iyi bir yol tutuşunun sağlandığı saha testleri sonucunda görülmüştür. Bu durum, yüksek lisans tezi çıktısı ürünün kullanım alanını genişleterek yaygınlaşmasının önünü açmıştır.
- Dünya çapında imzalanmış olan Yeşil Mutabakat Eylem Planı ve Türkiye'nin hedeflemiş olduğu 2053 Net Sıfır Emisyon amacına yönelik, ulaşım alanında faydalı olabilecek bir çıktı elde edilmiştir.
- İlgili yüksek lisans tezine konu olan ve prototip üretimi gerçekleştirilmiş olan ürünün faydalı model başvurusu yapılmış olup, 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu kapsamında 17/12/2021 tarihinden itibaren 10 yıl süre ile korunmak üzere Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından faydalı model olarak tescillenmiştir.
- Prototipi yapılacak ürünün malzemesi için ilk olarak Al6061-T6 alaşımı düşünülmüş olsa da istenen çap ve et kalınlığında boru malzemenin görüülen tedarikçilerde bulunamaması, var olan boyutlarda malzeme kullanılması durumunda ise istenen derecelerde büküm yapılmasının

zorlayıcı olması sebebi ile malzeme St-37 olarak seçilmiştir. Bu durum, sanayide alüminyum malzeme işleme kısıtlılığını ortaya koymaktadır.

- Toplumsal alanda yaygınlaşmasıyla, ulaşımda kullanılmakta olan fosil yakıt tüketimi azalacaktır. Bu durum sonucunda, hem fosil yakıtların işlenmesi sırasında salınan hem de fosil yakıtın araçlar tarafından tüketilmesiyle salınan sera gazında azalma meydana gelmiş olacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] Canzler, & Wittowsky. (2016). “The impact of Germany's “Energiewende” on the Transport Sector – Unsolved Problems And Conflicts”. Utilities Policy, (s. 41). Poland.
- [2] Gündüz İ., Yakar S. “Avrupa Birliği Ve Türkiye'de Elektrikli Otomobillere Yönelik Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi”. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 29, Sayı 4, 2020, Sayfa 204-222
- [3] Yeşil Mutabakat Eylem Planı. (2021). Ankara: T.C. Ticaret Bakanlığı.
- [4] D. Banister, H. (2019). “The Sustainable Mobility Paradigm”. Transport Pol.
- [5] Khande1 M.S. , Akshay S. P., Gaurav C. A., Rohan S. S. “Design and Development of Electric Scooter.”International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056 Volume: 07 Issue: 05 | May 2020
- [6] Mühendis V. “Li - İon Pillerin Farklı Kullanım Koşullarında Performanslarının Ölçülmesi”. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Aralık- 2019. (Yüksek Lisans Tezi)
- [7] Vidyanandan K. “Batteries For Electric Vehicles” Power Management Institute, 2019.
- [8] Zahab, E. E. A., Zaki, A. M., “Design and Control of A Standalone PV Water Pumping System”, 2017. Journal of Electrical Systems and Information Technology, pp. 322-337.
- [9] Ulaştırma ve Altyapı, Çevre ve Şehircilik ile İçişleri Bakanlıklarından. (2021, Nisan 14). “Elektrikli Skuter Yönetmeliği”  
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/04/20210414-3.htm> adresinden alındı
- [10] Chou, J. –R., Hsiao, S.-W. “An Anthropometric Measurement for Developing an Electric Scooter”. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005. 35(11), 1047-1063
- [11] Jyh-Rong Chou J.R., Hsiao, S.W., “Product Design And Prototype Making For An Electric Scooter”, 2005. Materials and Design 26, 439–449.
- [12] Colella, W.G. “Market Prospects, Design Features, and Performance Of A Fuel Cell-Powered Scooter”, 2000. J Power Sources Volume:86, Issue:186, 255–60.
- [13] Nasri, A., Gasbaoui, B. “Four Wheel Electric Vehicle Behavior Using Fuel Cell Supply Moving on Mountain Region Condition”, 2017. International Journal on Electrical Engineering and Informatics, pp. 469-481.

- [14] Khande, M.S., Patil, A.S., Andhale, G.C., Shirsat, R.S. “Design and Development of Electric Scooter”, 2020. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume:07, Issue:5.
- [15] Tilleman, L., Feasley, L. “Let’s Count The Ways E-Scooters Could Save The City”. <https://www.wired.com/> , 2018.
- [16] Latinopoulos, C., Patrier, A., Sivakumar, A., (2021). “Planning For E-Scooter Use İn Metropolitan Cities: A Case Study For Paris”. Transp. Res. Part D: Transp. Environ. 100.
- [17] Aril Y. O. “Küresel Elektrikli Otomobil Piyasasına Genel Bakış”. Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (e-ISSN : 2602-4314), Aralık-2020
- [18] Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions. (2021) “The European Green Deal”
- [19] Küçük, G., & Yüce Dural, B. (2022). “Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Yeşil Ekonomiye Geçiş: Enerji Senaryoları Üzerinden Bir Değerlendirme”. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 22(1), 137-156.
- [20] A. Şenbayram, E. (2022). “Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinden Yeşil Finans”. Social Sciences Research Journal, 11 (3), 399-409.
- [21] Birpınar, M.E.- Gürtepe, E. (2023). “Türkiye Yüzyilinda Sürdürülebilir Çevre”. Çevre, Şehir ve İklim Dergisi. Yıl:2. Sayı: 3. ss. 1-22.
- [22] Önder, H., & Akdemir, F. (2022). “Sürdürülebilir Ulaşım Altyapısının Pandemi Döneminde Yeniden Kurgulanması: Mikromobilité Trendleri ve Türkiye” İDEALKENT, 13(36), 748-770.
- [23] Moradi, A., ve Vagnoni, E. (2018). “A Multi-Level Perspective Analysis Of Urban Mobility System Dynamics: What Are The Future Transition Pathways? ”. Technological Forecasting and Social Change, 126, 231-243.
- [24] Sperling, D. (2018). “Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better Future” Island Press, Washington DC. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-906-7>
- [25] Polat Erkan, Ünal Eda (2023). “İklim Değişikliği Ve Akıllı Ulaşım Teknolojileri”. 6th International Congress On Life, Social, And Health Sciences In A Changing World
- [26] Özbay, H., Közkurt, C. , Dalcalı, A. & Tektaş, M., (2020). “Geleceğin Ulaşım Tercihi: Elektrikli Araçlar”. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 3 (1), 34-50.
- [27] Eker Ş., Dündar S. “E-Skuter Şarj İstasyonu Yerlerinin Seçimine İlişkin Bir Yöntem”. Türkiye İnşaat Mühendisliği 18. Teknik Kongre ve Sergisi, 7-9 Kasım 2022, İstanbul

- [28] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Malzeme Seçimi Ders Notları. <https://malzememuh.mcbu.edu.tr/malzeme-secimi.22975.tr.html>
- [29] Gökdaş, M. (2018). “OPTİM 700 MC–St 37 Çelik Malzemelerin Plazma Transfer Ark Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliği”. Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ. (Yüksek Lisans Tezi).
- [30] Akduman M. “Düşük Karbonlu St37 Yapı Çeliğinin Isıl İşlem Sonrası Yapısı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, Temmuz 2021.(Yüksek Lisans Tezi)
- [31] Duleep, G., Essen, H.V., Kampman, B. & Grünig, M. (2011).” Impacts Of Electric Vehicles, Deliverable 2, Assessment Of Electric Vehicle And Battery Technology”. CE Delft.
- [32] Lin D, Liu Y, and Cui Y. “Reviving The Lithium Metal Anode For High-Energy Batteries”. Nature Nanotechnology, 2017; 12: 194-206.
- [33] Tarascon J.M. and Armand M. “Issues And Challenges Facing Rechargeable Lithium Batteries”, Nature 2001; 414: 359-367.
- [34] Vikström H, Davidsson S, and Höök M. “Lithium Availability And Future Production Outlooks”, Applied Energy 2013; 110: 252-266.
- [35] Çetin, M. S., Karakaya, B., & Gençoğlu, M. (2021). “Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi”. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(2), 755-763. <https://doi.org/10.35234/fumbd.953296>
- [36] Yücenurşen, A., & Samancı, A. (2023). “Battery Selection Criteria For Electric Vehicles: Techno-Economic Analysis”. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 12(2), 65-74. <https://doi.org/10.18245/ijaet.1216888>
- [37] Koçaş G. “Elektrikli Araçlar İçin BLDC Motor Sürücü Tasarımı”. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Haziran-2023. (Yüksek Lisans Tezi)
- [38] Alaca, Ö., Selbaş, R., & Türkkalesi, M. (2022). “Fırçasız Motor Sürücülerin Enerji Verimliliği” Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 6(1), 1-9
- [39] Al-Khafaji, L. (2020). “The Effect of Welding Methods in the Weldment Design on the Distortions, Hardness and Stresses Generation of Steel Type S355J2C+N”. Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. (Doktora Tezi)
- [40] Özkan, E. (2019). “Kaynak Sonrası S355J2N Yapı Çeliğinde Oluşan Gerilmeleri Gıdermek İçin Uygulanan Isıl İşlemi Etkilerinin Tahribatli-Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Belirlenmesi”. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ. (Yüksek Lisans Tezi)

- [41] Emet, A. O. (2019). “Lazer ve TIG kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin ve Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi”. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa. (Yüksek Lisans Tezi)
- [42] Prof. Dr. Anık, S.,: “ 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi” İstanbul, Türkiye,1993
- [43] Altuntaş, M. (2015). “AISI 304L Paslanmaz Çeliğin MIG ve TIG Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi”. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. (Yüksek Lisans Tezi)
- [44] Tımaç G., “Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi İle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi”, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı Metal Eğitimi Programı, İstanbul 2006. (Yüksek Lisans Tezi)
- [45] Gözütok, E. (2009). “Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi”. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük. (Yüksek Lisans Tezi)
- [46] Özakin B, Yılmaz E. “Sac Malzemelere Uygulanan Farklı Boya Kalınlıklarının Yapışma Mukavemetine Etkisi”, 1 st International Conference on Trends in Advanced Research, 2023,
- [47] Özden E. “Elektrostatik Toz Boya Proses Parametrelerinin Deney Tasarımı Yöntemleri İle Optimizasyonu Ve Endüstriyel Uygulaması”, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2020. (Yüksek Lisans Tezi)
- [48] Noyan, Z., Yılmaz, T., Korkmaz, A., Çanakçı, A., & Çulha, O., (2022). “Şehir İçi Kullanıma Uygun Yeni Nesil Çelik Bisiklet Tasarımı ve Geliştirilmesi”. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi.
- [49] Metals Handbook, Vol.2- Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, ASM International 10th Ed. 1990.
- [50] Yılmaz O.D., Nadimi Babil Babil Oliaei S. “Alüminyum Al6061-T6'nın İşlenmesinde Sürtme Kuvvetinin Hesaplanması ve Sürtünme Katsayısının Etkisinin Araştırılması”. MATİM. 2020;17(2):46-50.
- [51] Kaya Y., (2018). “S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması”, Politeknik Dergisi, 21(3): 597-602.
- [52] Yürük, A., Bozkurt, B., & Kahraman, N. (2017). “An Investigation On The Weldability Of S235JR Carbon Steels And Aisi 430 Ferritic Stainless Steels With Gas Metal Arc Welding”. Sakarya University Journal of Science, 21(2), 90-97. <https://doi.org/10.16984/sofenbilder.296811>

- [53] Çelik O. “Gazaltı (MAG) Kaynağında Kullanılan Rutil, Bazik ve Metal Özlü Tellerin Kaynak Metali Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013. (Yüksek Lisans Tezi)
- [54] Bendikienė R., Janušas G., Žižys D., (2015). “Comparative Analysis Of Microstructure And Quality Of Gas Metal Arc Welded And Shielded Metal Arc Welded Joints.” *Mechanika*: vol. 21, no.4, pp. 323-328.
- [55] Yavuz, B., (2017). “S235’in Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Isıl Ve Yapısal Analizi”. *Altınbaş Üniversitesi Mühendislik Sistemleri Ve Mimarlık Dergisi*. Volume 1, no. 1, 126-131.
- [56] Demirkaya Ö., F. “Paletli Zırhlı Bir Askeri Araçta Gövde Üzerine Monte Edilmiş Mekanik Bir Elemanın Titreşim Kaynaklı Yorulma Hasarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi” *Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 2020. (Yüksek Lisans Tezi)
- [57] Alkan, D. “Kaynaklı Birleştirmelerin Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler”. *Bias Mühendislik*, <https://www.bias.com.tr/>, 2023.
- [58] Karakaş, Ö., & Gülsöz, A. (2007). “Kaynaklı Birleştirmelerin Statik ve Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler”. *Makine ve Mühendis*, 48(573).
- [59] Çetin, M. H., Korkmaz, Ş., Elgaddafi K. A. B., & Harun, Ç. U. Ğ. (2018). “Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu”. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 1068-1081.

## EKLER



## ÖZGEÇMİŞ



