

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİNEER MOTORLU ENGELLİ ASANSÖRÜ TASARIMI

Osman Onur ORUÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon Programı

Danışman
Prof. Dr. Ferhat DİKMEN

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİNEER MOTORLU ENGELLİ ASANSÖRÜ TASARIMI

Osman Onur ORUÇ tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 03.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferhat DİKMEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ferhat DİKMEN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Vedat TEMİZ, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Ferhat DİKMEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Lineer Motorlu Engelli Asansörü Tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Osman Onur ORUÇ

İmza



Oğluma
ve
biricik eşime

TEŞEKKÜR

Lineer motorun değişik alanlarda, farklı ihtiyaçlara ve kullanımına yönelik çalışma yapanlar için iyi bir örnek oluşturduğuna inandığım yüksek lisans bitirme tezi çalışmalarımda, bana manevi destek olan kıymetli eşim ve oğluma ve tezin hazırlanışı sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ferhat DİKMEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Osman Onur ORUÇ



İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Hipotez.....	7
2 Lineer Motor.....	8
2.1 Lineer Motorlar.....	8
2.2 Lineer Motorun Elemanları.....	9
3 Engelli Asansörü	17
3.1 Engelli Asansörü.....	17
3.2 Engelli Asansörü Çeşitleri.....	17
4 Lineer Motorlu Merdiven Asansörü Tasarımı.....	21
4.1 Tasarım Hedeflerinin Belirlenmesi.....	21
4.2 Tasarımın Yapılması.....	23
4.3 Platform Tip Engelli Asansör Tasarımı.....	42
4.4 Tasarım Sonrası Genel Kontrollerin ve Düzeltmelerin Yapılması.....	47
5 Sonuçlar.....	55
Kaynakça.....	58
Tezden Üretilmiş Yayınlar	60

SİMGE LİSTESİ

a_1	Tırmanma Öncesi İvme (m/s^2)
a_2	Tırmanma Boyunca İvme (m/s^2)
a_3	Tırmanma Sonrası İvme (m/s^2)
A_p	Profil Alanı (m^2)
d_w	Bakır Tel Çapı (mm)
E	Kutu Profil Elastisite Modülü (N/m^2)
$E_{induced}$	İndüklenen voltaj (V)
F_m	Mıknatıs Kuvveti (N)
F_{ort}	Ortalama Kuvvet (N)
F_{x1}	Tırmanma Öncesi Yatay Kuvvet (N)
F_{x2}	Tırmanma Boyunca Yatay Kuvvet (N)
F_{x3}	Tırmanma Sonrası Yatay Kuvvet (N)
F_{y1}	Tırmanma Öncesi Düşey Kuvvet (N)
F_{y2}	Tırmanma Boyunca Düşey Kuvvet (N)
F_{y3}	Tırmanma Sonrası Düşey Kuvvet (N)
g	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)
I_{kp}	Kutu Profil Atalet Momenti (m^4)
I	Akım (A)
J_a	Nominal Armatür Akım Yoğunluğu (A/mm^2)
k_k	Sürtünme Katsayısı
L	Kutu Profil Uzunluğu (m)
L	Efektif Uzunluk (m)
M	Yükeleme Kapasitesi (N)
N	Yer Çekimi Tepki Kuvveti (N)
N	Bakır Tel Sarım Sayısı
P_{ort}	Güç (W)
Q	Merdiven Açısı
r_i	Mıknatıs İç Yarıçapı (mm)
r_o	Mıknatıs Dış Yarıçapı (mm)
R_{rail}	Direnç (Ω)
t_1	Tırmanma Öncesi Yol İçin Süre (s)

t_2	Tırmanma Boyunca Yol İçin Süre (s)
t_3	Tırmanma Sonrası Yol İçin Süre (s)
V	Ortalama Hız (m/s)
V_1	Kalkış Hızı (m/s)
V_2	Eğim Öncesi Son Hız (m/s)
V_3	Eğim Sonrası Hız (m/s)
V_4	Duruş Hızı (m/s)
V	Enerji Yoğunluğu (mm ³)
V_{DC}	Tedarik Edilen Voltaj (V)
W	Platfrom Üzerine Etkiyen Toplam Ağırlık (N)
W_i	İş (j)
w_t	Armatür Diş Kalınlığı (mm)
x_1	Eğimden Önce Yatay Uzaklık (m)
x_2	Yatay Uzaklık (m)
x_3	Eğimden Sonra Yatay Uzaklık (m)
y	Kat Yüksekliği (m)
μ	Verim
τ	Kutup Aralığı (mm)

KISALTMA LİSTESİ

Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
LM	Lineer Motor
TLM	Tubular Lineer Motor
FLM	Flat (Düz) Lineer Motor
FE	Finite Element
EMA	Elektro Manyetik Alan
NdFeB	Neodymium Demir Bor
MAGLEV	Magnetic Levitation
TS	Türk Standartı
TCG	Türkiye Cumhuriyeti Gemisi
3D	Üç Boyut
SW	Solidworks

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Döner motorun açılıp, temsilen, lineer motoru oluşturulması [3].....8
Şekil 2.2	Sekonderi doğal mıknatıs, primeri bobinden oluşan U tipi lineer motor.....9
Şekil 2.3	Lineer motorların sınıflandırılması10
Şekil 2.4	Sekonderi çok levhali, primeri (bobini) hareketli LM.....11
Şekil 2.5	Primeri kısa boyunlu LM (a), sekonderi kısa boyunlu LM (b)11
Şekil 2.6	Düz ve tüp şeklinde lineer motorların arasındaki kuvvet farkı.....12
Şekil 2.7	Lineer motorlu bir takım tezgahı örneği13
Şekil 2.8	Yapımı devam eden TCG Anadolu gemisinin uçak kalkış rampasında kullanılan lineer motor.....13
Şekil 2.9	Çin' in Şangay kentinde kullanılan bir maglev treni.....14
Şekil 2.10	Sabancı Üniversitesi tarafından yapılan, lineer motorla çalışan bir asansör için deneme sürüşü.....14
Şekil 2.11	Sabancı Üniversitesi tarafından yapılan, lineer motorla çalışan bir asansör için deneme sürüşü.....15
Şekil 2.12	Sıcaklığa bağlı olarak doğal mıknatısın uyguladığı kuvvet değişimi..16
Şekil 3.1	Dikey tip engelli asansörü.....18
Şekil 3.2	Dikey tip engelli asansörü örnek asansörü.....18
Şekil 3.3	Platform tip engelli asansörü.....19
Şekil 3.4	Koltuk tip engelli merdiven asansörü.....19
Şekil 3.5	Engelli asansörü uygulama alanları.....20
Şekil 4.1	Hız – zaman grafiği.....25
Şekil 4.2	İvme – zaman grafiği.....25
Şekil 4.3	Birinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.....26
Şekil 4.4	İkinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.....27
Şekil 4.5	Üçüncü durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.....28
Şekil 4.6	F_x grafiği.....28
Şekil 4.7	Lineer motorda mıknatıs (a) radyal, (b) aksenal, (c) Hallbach dizgeleri.....32
Şekil 4.8	Lineer motorun mıknatıs dizgesine göre kuvvet değişimi32
Şekil 4.9	Tüp şeklinde lineer motorun kesit görüntüsü33
Şekil 4.10	Tüp şeklinde lineer motorun 3D görüntüsü.....35
Şekil 4.11	Armatür boyutları.....36

Şekil 4.12	Bir armatürdeki sarım sayısı.....	37
Şekil 4.13	İstenilen kuvvete göre tüp şeklinde lineer motor çizilmesi	38
Şekil 4.14	$x=0$ pozisyonunda akım yönleri.....	39
Şekil 4.15	FEMM programında FE metoduyla EMA analizi.....	39
Şekil 4.16	FEMM ile doğal mıknatıs yüzeyi boyunca manyetik alan eğrisi.....	40
Şekil 4.17	Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklindeki LM'nin SW'da çizilmesi.....	40
Şekil 4.18	Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklindeki LM'nin SW'da çizilmesi.....	41
Şekil 4.19	FEMM programında Hallbach (a) ve eksenel (b) mıknatıs dizgeleri karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.20	TS 9111 : 2011' e göre tekerlekli sandalye ölçüleri.....	42
Şekil 4.21	Lineer motorun kızakları ve eğimi.....	43
Şekil 4.22	Kaldırma platformu destek profilleri SW çizimi.....	43
Şekil 4.23	Dört adet kazağın birbirleri ile uyumlu çalışmasını gösteren SW çizimi.....	44
Şekil 4.24	İkili tekerlek tasarımını gösteren SW çizimi	45
Şekil 4.25	Kaldırma platformunun taşıyıcı dikey kazağa monte edilmesini gösteren SW çizimi.....	45
Şekil 4.26	Kaldırma platformunun taşıyıcı dikey kazağa monte edilmesini gösteren SW çizimi.....	46
Şekil 4.27	Taşıyıcı dikey kazağa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen profilleri gösteren SW çizimi.....	46
Şekil 4.28	Taşıyıcı dikey kazağa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen profilleri gösteren SW çizimi.....	46
Şekil 4.29	Taşıyıcı dikey kazağa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen profilleri gösteren SW çizimi.....	47
Şekil 4.30	Kutu profil kuvvet ve moment diyagramı.....	49
Şekil 4.31	SW programında yer değiştirme simülasyonu.....	49
Şekil 4.32	SW programında gerilme simülasyonu.....	49
Şekil 4.33	Taşıyıcı dikey kızak kuvvet ve moment diyagramı.....	51
Şekil 4.34	SW programında yer değiştirme simülasyonu.....	52
Şekil 4.35	SW programında gerilme simülasyonu.....	52
Şekil 4.36	C profil, kızak kuvvet ve moment diyagramı.....	53
Şekil 4.37	SW programında yer değiştirme simülasyonu.....	54
Şekil 4.38	SW programında gerilme simülasyonu.....	54
Şekil 5.1	Hareket eksenini farklılığı.....	56
Şekil 5.2	Genel hatlarıyla montaj resmini gösteren SW çizimi.....	57

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Hidrolik, pnömatik ve lineer motor sistemlerinin kıyaslanması.....	16
Tablo 4.1	Sürtünme katsayısı tablosu.....	26
Tablo 4.2	Aynı akım girdisine sahip düz (flat) ve tüp şeklinde lineer motorların kıyaslanması.....	31
Tablo 4.3	Doğal mıknatısların mekanik özellikleri.....	34



LİNEER MOTORLU ENGELLİ ASANSÖRÜ TASARIMI

Osman Onur ORUÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ferhat DİKMEN

Lineer motorlar günümüzde hassas üretim süreçleri başta olmak üzere, maglev trenleri, tıbbi cihazlar, savunma sanayii, tekstil sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanı da her geçen artmaktadır. Dolayısıyla ar-ge faaliyetlerine ve akademik çalışmalara daha sıklıkla konu olmaktadır. Bunun sebebi ise diğer motor ve güç üreten sistemlere nazaran seri üretim şartlarına daha uygun olması, daha hızlı hareket elde edilmesi, daha hassas olması ve dolayısıyla da daha kaliteli ürün, çıktı elde edilmesidir. Bu çalışmanın başlangıç noktası budur.

Bu çalışmada, öncelikle lineer motor çalışma şekli, yapısı, çeşitleri üstün yanları ele alınmış olup, engelli asansörü ile ilgili, ne amaçla tasarlanıldığı ve hangi durumlarda kullanıldığı konusunda da kısaca bilgi verilmiştir.

Günümüzde asansörlerde denenen maglev teknolojisinin, bir engelli merdiven asansöründe kullanılmasına ilişkin teorik çalışmasına yer verilmiştir.

Ayrıca mekanik bir tasarımın ayrılmaz parçası olan, kritik parçalara da mukavemet analizi yapılmıştır.

Son bölümde ise sonuçlar ortaya konulup, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gereken kısımlar çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lineer Motor, Tubular Lineer Asenkron Motor, Engelli Asansörü, Engelli Merdiven Asansörü



Disable Stair Lift Design With Linear Motor

Osman Onur ORUÇ

Department of Mechanical Engineering

Master's Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ferhat DiKMEN

Nowadays, linear motors are used in many areas, such as maglev trains, medical devices, defense industry, textile sector, sensitive production processes. As the areas of usage is rising, their coverage in R&D activities and academic studies have been gradually increased as well, due to high relevance for mass production, ability to obtain faster movement, precision and having high quality outputs/products compared to other engine and power generating systems. This is the main starting point of this study.

This study especially reviews how linear motors work, its structure, types and superior features. In addition, a brief information is provided about the purpose of disabled stair lift design and areas of use.

This study presents a theoretical study on disabled stair lift design with Maglev Technology, which has recently started to be applied on elevators.

In addition to this, mechanical strength analysis, the integral part of mechanical design, was performed for some critical parts.

In the last section, the results are presented with the areas open for improvement and development.

Key Words: Linear Motor, Tubular Linear Synchronous Motors, Disable Lift, Disable Stair Lift.



29 Ağustos 1831 tarihinde Michael Faraday, bakır bir diskin U şeklindeki bir mıknatıs içinde döndürülmesiyle bunun bir telde akım meydana getirdiğini keşfetmiştir [1]. Bu keşif jeneratörün ilk halini meydana getirmekle beraber, günümüzde kullanılan maglev (magnetik levitasyon) teknolojisinin de temelini oluşturmaktadır.

Lineer motorun ilk keşfi 1840'lara kadar dayanmaktadır. Bu ilk çalışmayan modeli Londra Kraliyet Akademisi'nden (King's College) Charles Wheatstone yapmıştır. İlk makul çalışabilecek olan lineer motor ise, 782312 US (ABD) patent numarası ile 1905 yılında Frankfurt'lu kâşif Alfred Zehden tasarlamıştır. Alman mühendis Hermann Kemper, ilk çalışan modeli ise 1935 yılında yapmıştır. İngiliz elektrik mühendisi Prof. Eric Laithwaite ise 1940'ların sonunda yaptığı çalışma ile gerçek boyutlarda ilk çalışan lineer motorun kâşifi olmuştur [2].

Lineer motorun günümüzde çok sayıda kullanım alanı vardır. Yüksek hızlı, yüksek hassasiyet gerektiren proseslerde kullanımı dolayısıyla günümüzde büyük öneme sahiptir. Çin' den Japonya' ya, Almanya' ya kadar, maglev teknolojisinin gelişmesi için dünya genelinde birçok çalışma yapılmaktadır. Her geçen gün farklı sektörlerde kullanımı artan lineer motor, hali hazırda ülkemizde ve dünyada da asansörlerde kullanımı için çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalarda güncel bilgileri içeren tasarım ve üretim konulu kitaplar, çeşitli bilgilere erişimi sağlayabilecek güvenilir internet siteleri ve görseller ile patentler kullanılmıştır. Mevcut sistemler üzerinde kıyaslama çalışması yapılmış, eksiklikler ve geliştirilebilecek unsurlar belirlenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Lineer motor teknolojisinde maliyet, üretilebilirlik ve bakım gibi temel tasarım kriterlerinin gelişmesi sonucunda, birçok farklı alanda (sağlık, savunma, uzay ve

havacılık) kullanımı artmıştır. Bu yeni kullanımlar, tasarımsal olarak, birçok farklı ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. Birçok çalışma, lineer motor analizi için FEM' nin uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca lineer motorun asansörlerde kullanılmasına rağmen, engelli asansöründe kullanımına ilişkin bir kaynağa rastlanmamıştır. Literatür taraması için Ulusal Tez Merkezi, Dergipark, TRDizin' den aşağıdaki tezler dikkate alınmıştır.

2009 yılında E. Kazan tarafından *“Çok kabinli asansörler için lineer motor tasarımı ve uygulaması”* isimli çalışmada, çok kabinli asansör sistemleri, aynı anda birden fazla asansörün bir asansör boşluğunda birbirlerinden bağımsız olarak kullanılmasıdır. Bu sistemler, yüksek binalar için büyük ekonomik faydalar sağlar, ancak aynı zamanda kaldırma, güvenlik ve sürüş konularında yeni teknolojik çözümler gerektirir. Bu tez, gerekli olan güvenlik sisteminin kaldırma sistemi ile nasıl birleştirilebileceğini, kaldırma için kullanılacak lineer motorun çok kabinli asansör sistemleri için nasıl optimize edilebileceğini, ve yüksek binalarda kullanılabilecek hareket kontrol sistemini içermektedir. Analiz edilip çözüm olarak sunulan bu yeni yöntemler, deneysel olarak başarıyla test edilmiştir. Gösterilmiştir ki optimize edilmiş lineer motor, yeni geliştirilen güvenlik sistemi ve sürüş yöntemi, çok kabinli asansör sistemleri için baz yöntem olarak kullanılabilir [3].

2010 yılında M.E. Çepni tarafından yapılan araştırmada; *“Lineer servo motor ve kontrolü”* isimli yapılan çalışma çerçevesinde öncelikle mevcut lineer motor sistemlerinin çalışma ilkesine, kullanım yerlerine değinilmiş ve lineer motorun diğer lineer hareket sistemlerine üstünlükleri tartışılmıştır. Şu ana kadar yapılan lineer motorların eksik kaldıkları yönlerden hareketle yeni bir lineer motor tasarım sürecine gidilmiş, tasarlanmakta olan lineer motoru üstün kılan yönleri, hedeflenen performans ölçütleri, teorisi ve manyetik benzetimi konuları ele alınmıştır [4].

Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi'nde İsmail Topaloğlu tarafından 2012 yılında yayınlanan, *“Lineer elektromanyetik fırlatıcı sistem tasarımı ve eşdeğer devre modeli kullanarak geliştirilmiş fırlatma performansı için boyut optimizasyonu”* isimli makalede; insansız hava araçları için mekanik fırlatma sistemlerine alternatif olarak elektromanyetik bir fırlatıcı sistemde kullanılmak üzere tek taraflı lineer indüksiyon motor tasarlanmıştır. Çalışmada tasarlanan

motor özellikleri 3 fazlı, 8 kutuplu, 380 V, 6 m/s, yükü 5,84 kg ve itme kuvveti 409,55 N'dur. Yapılan tasarımın klasik fırlatıcılara karşı yeni bir alternatif sunması beklenmektedir. Bu çalışmanın amacı fırlatma maliyetlerini azaltmak ve mobil bir fırlatma sistemi oluşturmaktır. Bu amaç için tasarlanan örnek motor tasarım parametreleri ve geometrik boyutlandırma eşitlikleri çalışmada sunulmuştur. Motorun geometrik boyutlarını hesaplayabilmek için analitik hesaplama yapabilen bir program geliştirilmiştir. Program, geliştirilen algoritma ile iteratif olarak en iyi geometrik boyut değerlerini elde etmeye çalışmaktadır. Çalışmada eşdeğer devre modeli kullanılarak fırlatma performansını geliştirmek için boyut optimizasyonu yapılmıştır. Amaç fonksiyonu, tasarım parametrelerinden verim, güç faktörü ve sistem ağırlığında denenmiş ve fırlatma performansına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar iki boyutlu sonlu elemanlar analizinde değerlendirilmiştir [5].

2012 yılında R. Hurmadaloğlu'nun, "*Lineer motor ile levha hareketi*" isimli yayınlanan yüksek lisans tezinin konusu doğrusal hareketli asenkron makine ile levha hareketi sağlamaktır. Doğrusal hareketli motor klasik döner hareketli motorun ortadan kesilip açılmış haline benzer. Amaç lineer bir manyetik alan üreten makine tasarlayıp bu makine ile levha hareketi gerçekleştirmek ya da bir hareketli kısım(araba) yaparak lineer bir manyetik alanda bu arabayı düz bir çizgi boyunca ilerletmek ve uygulama olarak belli ağırlıklarda yükler taşınmayı gerçekleştirmektedir [6].

Sabancı Üniversitesi'nde, K. Karayağız tarafından 2013 yılında, "*Uzun armatürlü lineer motorlar için ağ topolojileri*" isimli yapılan yüksek lisans tezinde, uzun armatürlü lineer motor, büyük sayıda motor sürücü içeren bir çeşit dağıtık kontrol sistemidir. Bu gibi sistemlerde, motor sürücüler arasındaki bilgi alışverişi doğru ve kayıpsız olmalıdır. Fakat, kullanılan ağ protokolüne göre sabit, sınırlı veya rastgele zaman gecikmeleri ve kayıplar oluşabilmektedir. Haberleşme ağlarında, bu gibi zaman gecikmesi ve paket kaybı problemlerinden tamamen kurtulmak mümkün olmasa da seçilen uygun bir haberleşme protokolü ve ağ topolojisine göre bu dezavantajları en düşük seviyeye indirmek mümkündür. Bu çalışmada, uzun armatürlü lineer motorun motor sürücülerinin haberleşmesinde kontrol sistemleri için güvenilir bir gerçek-zamanlı haberleşme protokolü olan CAN protokolü

kullanılmış, topoloji A ve topoloji B isimli iki farklı ağ topolojisi önerilmiştir. Topoloji A, motor sürücüleri, ana bilgisayar ve bu ikisi arasındaki gateway bilgisayarlardan oluşan hiyerarşik bir sistemdir. Bir gateway bilgisayar ve belirli sayıda motor sürücülerden oluşan bölüme bir "motor bölümü" denilmektedir. Bu topolojinin yapısı, itici motor bölümlerinin sınırlarını geçerken, komşu motor bölümlerle haberleşmek için gateway bilgisayarlara kullanmayı gerektirir. Buna bağlı olarak, komşu motor bölümler ile haberleşmelerde daha fazla zaman gecikmesi meydana gelmektedir. Topoloji A'ya benzer olarak, topoloji B'de motor sürücüler, ana bilgisayar ve gateway bilgisayarlardan oluşan hiyerarşik bir sistemdir. Fakat, bu topolojinin yapısı sayesinde, komşu motor bölümlerle haberleşmelerde gateway bilgisayarların kullanılması gerekmemektedir. Amaçlanan topolojiler, gerçek-zamanlı dağıtık kontrol sistemlerinin simülasyonu için geliştirilmiş olan TrueTime yazılımı ile simüle edilmiştir. Sistem pek çok bilgisayardan oluştuğu için, simülasyon modelini oluştururken, standart grafiksel kullanıcı ara yüzüne dayalı Matlab işlemlerini kullanmak kolay değildir ve verimsiz bir metottur. Ayrıca, topolojileri analiz ederken, sistem parametrelerinin performansa etkisini gözlemlemek için veya başka amaçlarla pek çok defa değiştirilmeleri gerekmektedir. Bu gibi büyük ve karmaşık modelleri kolaylıkla oluşturmak ve değiştirmek için, Matlab kodlarına dayalı bir metot kullanılmıştır. Her iki topolojinin avantaj ve dezavantajları tartışılmış ve zaman gecikme miktarları kıyaslanarak da performansları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, beklenen gibi topoloji B'nin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu yüzden, uzun armatürlü lineer motorun haberleşmesi için topoloji B ağ yapısı önerilmektedir [7].

2015 yılında Ö. Taşkın tarafından, *"Çift taraflı hava çekirdekli lineer motor tasarımı ve gerçekleştirilmesi çift taraflı hava çekirdekli lineer motor tasarımı ve gerçekleştirilmesi"* isimli yüksek lisans tezinde; doğru akım makineleri komutasyon ve homopolar olarak iki ana gruba ayrılır. Komutasyon ile çalışan motorlardan biri de sabit mıknatıslı makinedir. Yani sabit mıknatıslı makineler doğru veya alternatif akımla çalışabilir. Sabit mıknatıslı doğru akım makineleri adında doğru akım bulundursa da aslında alternatif akım makineleri altında yer almaktadırlar. Tasarlanan lineer motor fırçasız doğru akım makinesi özelliklerini taşımaktadır. İndüklenen gerilimi ise sabit mıknatıslı senkron makineye benzer. Bunun yanında lineer motorların

tasarımlarına ilişkin özel sınıflandırmaları da bulunmaktadır. Örneğin, fırça tipine göre fırçalı ya da fırçasız lineer motorlar; stator şekline göre tüp şeklinde, çift yanlı ya da yassı lineer motorlar; çekirdek tipine göre ise demir çekirdekli, hava çekirdekli ve slotsu lineer motorlar olarak sıralanabilir. Tasarlanan lineer motor her grubun bir özelliğine sahip olmak üzere fırçasız, çift yanlı ve hava çekirdekli olarak bu listede yerini alır. Tasarlanan lineer motor sargıları üzerinde önemli optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Sonuçta üretilen motordaki tasarımda 4 mıknatısın karşısında 3 sargı olacak şekilde bir düzenleme yapılmış ve bunun diğer çalışmalarla kıyaslandığında en yüksek kuvvet değerini oluşturduğu görülmüştür. Motor tasarımının her aşaması sırasında bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Analizler sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır ve sargılar bu yöntemle yapılan analizler sonucunda optimize edilmiştir. Yapılan tetkiklerden sonra, motor üretimi ve montajı gerçekleştirilmiştir [8].

Mehmet Taner Tuncay'ın, *"Sabit mıknatıslı DC lineer motor tasarım ve denetimi"* başlıklı doktora tezi çalışmasında çift yanlı sabit mıknatıslı DC lineer motor geliştirilmiştir. Geliştirilen motorun manyetik devre yapısının basit ve sürücü devrelerinin karmaşık olmaması en belirgin avantajıdır. Lineer motorların en önemli performans kriterlerinden biri olan kuvvet/akım oranı mevcut motorlardan iki kat daha yüksektir. Ayrıca önerilen lineer motor tasarımında geleneksel lineer motorlarda olduğu gibi uzunluk sınırlaması bulunmamaktadır. Başka bir ifade ile yeni modüllerin eklenmesi ile istenen uzunlukta lineer motor üretilebilme esnekliği mevcuttur. Tasarlanan motorun laboratuvar şartlarında bir adet prototipi üretilmiş ve dinamik modelleri geliştirilmiştir. Elde edilen dinamik model esas alınarak konum ve hız denetleyicileri tasarlanmış, Simulink yazılımı ortamında benzetimleri yapılmış ve gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Benzetim ve deneysel sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiş ve uyumlu olduğu gözlenmiştir. Endüstride ve otomasyon sistemlerinde lineer hareket ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Söz konusu ihtiyaç genellikle hidrolik ve pnömatik sistemler veya kayış, kasnak ve dişli gibi ilave mekanizmaların birlikte kullanıldığı elektrik motorlarından temin edilmektedir. Diğer taraftan lineer elektrik motorları doğrusal hareketi direk olarak üretmektedirler. Söz konusu üstünlüklerine rağmen lineer motorların yaygınlaşamamalarının sebepleri: uzunluk sınırlamaları, düşük kuvvet/akım

oranları ve karmaşık sürücü sistem ihtiyaçlarıdır. Bu çalışmada geliştirilen DC lineer motor ise söz konusu ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliktedir [9].

Ferhat Bozbuğa, *“Yaşlı ve Engelliler İçin Merdiven Asansörü Geliştirme”* başlıklı yüksek lisans tezinde; yasal düzenlemelere göre 2012 yılından itibaren ülkemizdeki tüm genel/kamu binaları, ortak alanlar/yapılar vb. yerlerde ortopedik/diğer engellilerin ulaşımalarını mümkün kılacak altyapı ve imkânların olması gerekir. Yukarıdaki tespitlerden hareketle bu tez 'Yaşlı ve Engelliler için Merdiven Asansörü Geliştirme' amaçlı bir araştırmayı içermektedir. Burada yapılan çalışmalara benzer asansör sistemleri gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerde üretilmekle birlikte bu konu ülkemiz için bir ilktir. Geliştirilen sistem hem yaşlı hem de engellilerin ihtiyaçlarını karşılayacak özellikler taşımaktadır. Ayrıca bu sistem; ergonomik ve katlanabilir koltuk, kolluk, emniyet kemeri vb. mevcut benzer sistemlerde olmayan bazı yenilikleri de içermektedir. Tez kapsamında yapılan merdiven asansörü tasarımı ve geliştirilmesinde Pahl ve Beitz'in sistematik tasarım yaklaşımı yanında TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) ve QFD (Kaliteli Fonksiyon Yayılımı) gibi etkin yöntemler de kullanılmıştır. Ayrıca bu tez bir SANTEZ projesi kapsamında ve HAS Asansör Firması ile müşterek yürütülen çalışmaları da içermektedir. Kavramsal ve şekillendirme tasarımları yapılan sistemlerin CAD modelleri hazırlanmış, hareket simülasyonları ve dayanım hesap ve analizleri yapılmış, imalat resimleri çizilmiş, prototip bir sistem imal edilmiş, çalıştırılmış ve yapılan testlerden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Tez kapsamında yapılan çalışmalar bu tür bir sistemin yerli ve milli imkânlar ile üretilebileceğini göstermiştir [10].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez ile amaçlananlar, mevcut lineer motor çeşitleri ve tasarımlarının incelenip, uygun olan tasarımın modelinin teorik olarak bir engelli merdiven asansörüne uygulanmasıdır. Lineer motorun kullanım alanlarındaki genişleme ile beraber, daha önce bir lineer motorun engelli merdiven asansöründe kullanımı bulunmamaktadır.

1.3 Hipotez

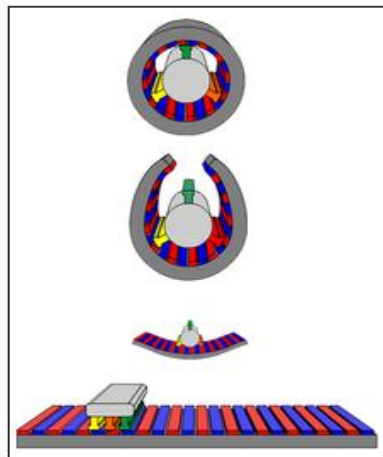
Günümüzde kullanımı yaygınlaşan merdiven asansörlerinin, yine kullanım alanı her geçen gün artan lineer motorlar tarafından, teorik olarak bile olsa, tahrikleneceğinin ispatıdır. Daha önce yapılan çalışmalarda lineer motor tahrikli engeli asansörüne rastlanmamış olup, böyle bir tasarımda tubuler tip lineer motor kullanılması uygun olacaktır.



Asenkron motorlar, stator sargılarıyla aldığı elektrik enerjisini, hareket enerjisine dönüştüren makinelerdir. Lineer motorların döner elektrik motorlarından farkı, hareketi dairesel olmayıp, bir düzlemde vektör yönünde hareket üretmeleridir. Bu kısımda lineer motorların genel olarak çalışma prensibi, çeşitleri, elemanları, önemi, geçmişten günümüze kullanım alanları, avantajları ve dezavantajlarından bahsedilecektir.

2.1 Lineer Motorlar

Lineer motorlar, yani lineer endüktans motorlar, alternatif akım (AC) ile çalışan asenkron motorlardır. Çalışma prensipleri endüktans motorlarla aynı olup rotor ve statordan oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde rotor (hareketli, döner parça) üzerinde elektro mıknatıs ve stator (sabit parça) üzerinde doğal mıknatıslar bulunmaktadır. Yine aşağıdaki şekilde, çalışma prensibinin benzerliğini daha iyi anlamak için, üç aşamada endüktans bir elektrik motoru açılarak lineer asenkron motora dönüşmektedir. Rotor ve stator üzerindeki parçalar, lineer motor çeşidine göre doğal mıknatıs veya elektro olarak değişiklik gösterebilir.

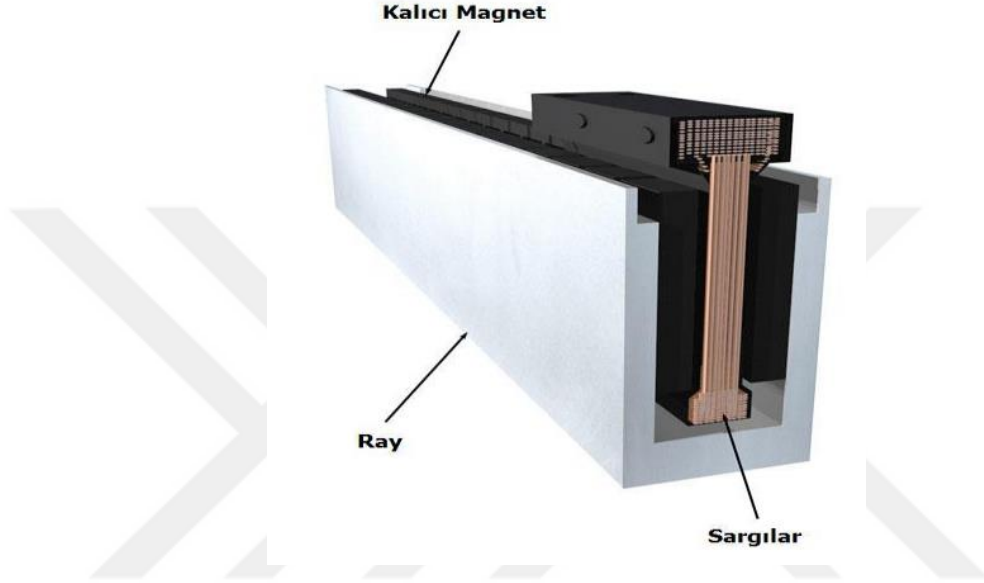


Şekil 2.1 Döner motorun açılıp, temsilen, lineer motoru oluşturulması [3].

2.2 Lineer Motorun Elemanları

Lineer motorların elemanları genel olarak hareketli ve sabit olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır.

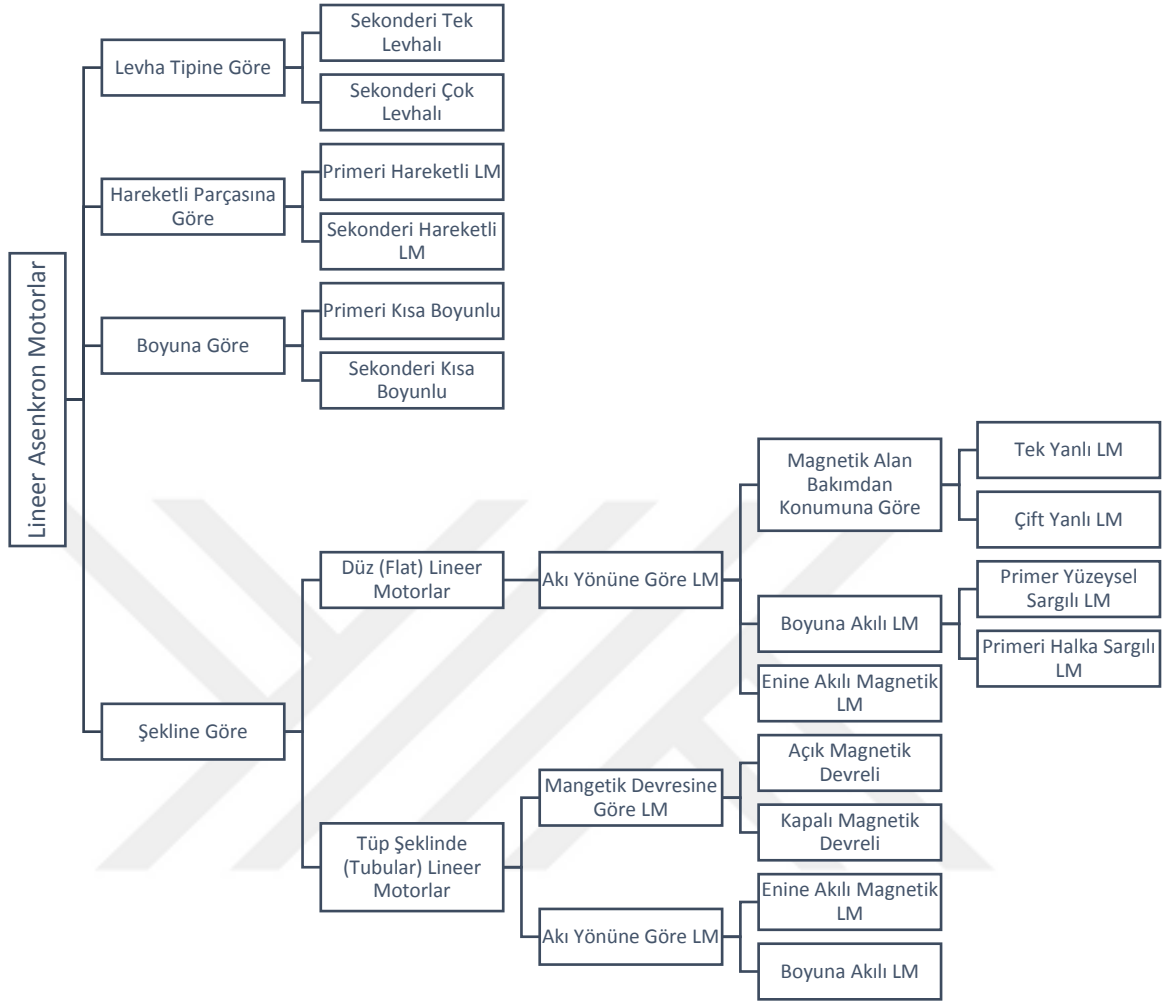
Sekonder; doğal mıknatısların bağlandığı, monte edildiği kısımdır. Primer ise bobinin bağlandığı kısımdır. Lineer motorlarda bobin (primer) bazı lineer motor tiplerinde hareketli kısımda olurken, bazı tiplerinde sabit kısımda olabiliyor.



Şekil 2.2 Sekonderi doğal mıknatıstan, primeri bobinlerden oluşan U tipi lineer motor [8].

2.2.1 Lineer Motor Çeşitleri

Lineer asenkron motorlar Tablo 2.1' de de görülebileceği gibi levha tipine, hareketine, boyuna ve şekline olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır.

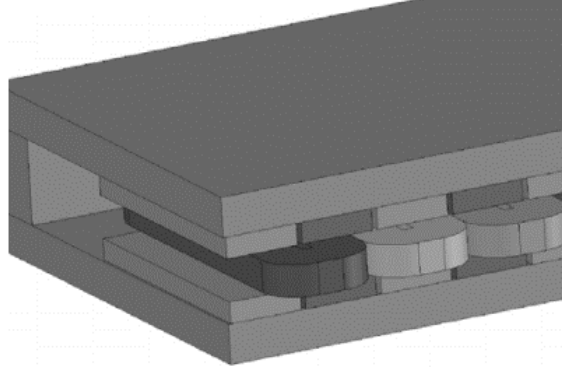


Şekil 2.3 Lineer motorların sınıflandırılması [12].

Levha tipine göre lineer motorlar iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar, sekonderi tek levhali ve sekonderi çok levhali tipleridir. Sekonderdeki levha sayısı magnetik alanla doğru orantılıdır. Bu tip şekildeki lineer motorlarda daha az manyetik alan kaçağı gözlemlenir. Bu tip bir lineer motorda sınırlayıcı özellikler mevcut sekonder boyudur.

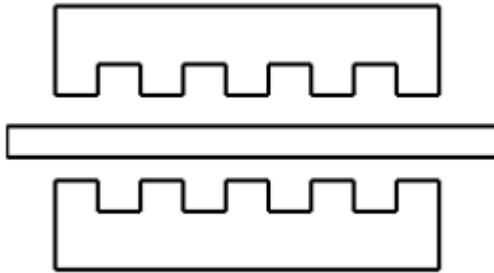
Lineer motorlar sekonderi veya primeri hareketli olmasına göre de sınıflandırılıyor. Genellikle primeri (bobin) hareketli tipler çok daha az maliyetli ve üretimi daha

kolay olduğundan dolayı tercih edilirler. Primeri hareketsiz, sekonderi hareketli lineer motorlarda, her bir sargıda ayrı ayrı kontrol ve sistemin genelinde ayrı bir kontrol gerektirdiğinden, otomasyon çok daha zordur.

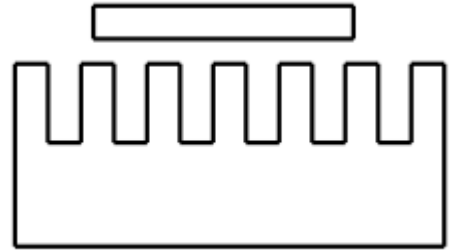


Şekil 2.4 Sekonderi çok levhalı, primeri (bobini) hareketli LM.

Diğer bir lineer motor sınıflandırması ise primer veya sekonder boyuna göre yapılmaktadır. Şekil 2.4’de görüleceği gibi primerin ve sekonderin boylarına göre sınıflandırılır. Sekonderi kısa tip lineer motorlar, kısa mesafede çok yüksek hızda, hassasiyette veya kuvvette bir hareket gerektiği durumlarda tercih edilebilir.



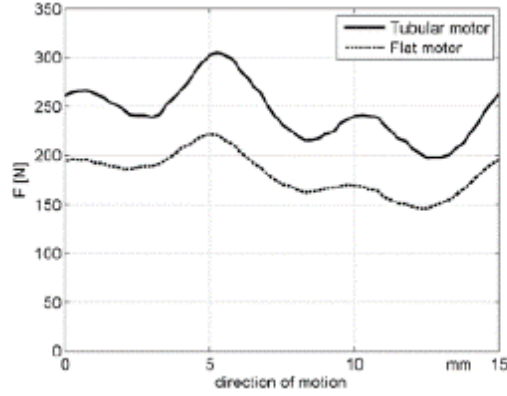
(a)



(b)

Şekil 2.5 Primeri kısa boyunlu LM (a), sekonderi kısa boyunlu LM (b) [12].

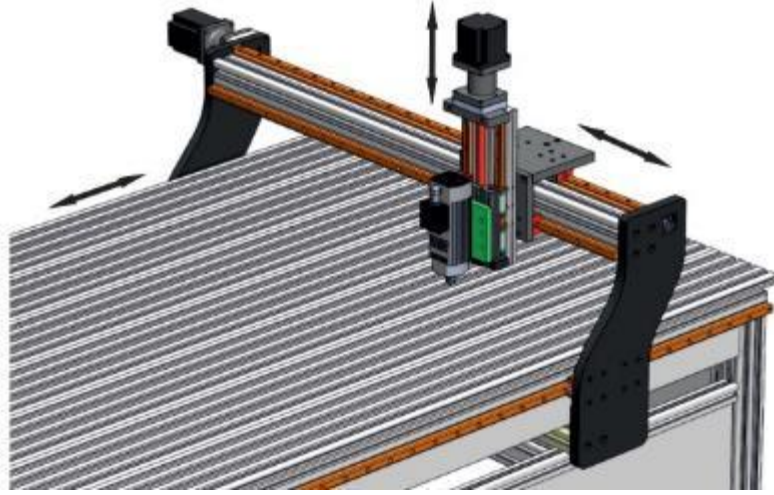
Lineer motorlar aynı zamanda da şekline göre iki sınıfa ayrılırlar. Bular düz (flat) ve tüp şeklinde (tubuler) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tubuler tip lineer motorlar ortaya çıkan kuvvet bakımından düz tip lineer motora göre daha üstündür.



Şekil 2.6 Düz (flat) ve tüp şeklinde (tubuler) lineer motor arasındaki kuvvet farkı [13].

2.2.2 Lineer Motor Kullanım Alanları

Lineer motorların birçok sektörde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ulaşımında hızlı trenlerde ve kren yürüyen köprü gibi doğrusal hareketli ulaşım araçlarında, savunma sanayiinde uçak ivmelendirme ve geliştirmede rüzgâr türbinlerinde tekstilde dokuma ve mekik tezgahlarında, üretim ve sanayide takım tezgahlarında tablanın veya kesicinin ötelenmesinde, hareketinde, gemicilikte gemi geliştirmede modelin hareketinde, otomotiv sektöründe hız ve yapay kaza testlerinde, tekstil sektöründe mekiklerde ve örgü makinesinin iplik taşıyıcının sürülmesinde, robotik sanayide, optik cihazlarda, tıp elektroniği, ayrıca şerit testere çalıştırmada, kapı açma-kapamada, iletken sıvılarının pompalanmasında, doğrusal hareketli pompalarda ve doğrusal hareketli lazer tarayıcılarda, konveyör sistemlerinde, öteleme hareketinin konum kontrolünde kullanılmaktadır.



Şekil 2.7 Lineer motorlu bir takım tezgâhı örneği [14].

Lineer motorlar, savaş uçaklarının uçak gemilerinden kalkışta istenilen hıza ulaşması için de kullanılmaktadır.



Şekil 2.8 Yapımı devam eden TCG Anadolu gemisinin uçak kalkışı rampasında kullanılan lineer motor [15].



Şekil 2.9 Çin' in Şangay kentinde kullanılan bir maglev treni.

Lineer motorlar üzerine ülkemizde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sabancı Üniversitesi'nde bu konuda Sayın Dr. Ahmet Onat'ın yaptığı bir çalışma da mevcuttur. Lineer motorla tahrik edilen bir asansör çalışması mevcuttur.



Şekil 2.10 Sabancı Üniversitesi tarafından yapılan, lineer motorla çalışan bir asansör için deneme sürüşü [16].



Şekil 2.11 Sabancı Üniversitesi tarafından yapılan, lineer motorla çalışan bir asansör için deneme sürüşü [16].

2.2.3 Lineer Motorların Avantaj ve Dezavantajları

Lineer asenkron motorların, döner hareketli endüktans motorlara göre avantajları;

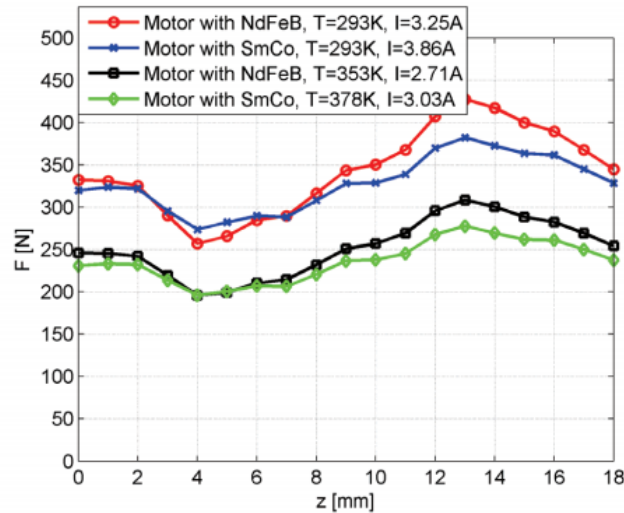
- Yüksek hızlanma ve ivme sayesinde çevrim sürelerinde kısalma,
- Daha az sürtünmeden dolayı kayıp enerjiden kazanç,
- Basitlik, doğrusal harekette daha az mekanik parça gerekliliğinden dolayı kolay montaj ve işçilik,
- İstenildiği pozisyonda ve yerde montaj yapma kolaylığı,
- Ayarlanabilir hız ve ivme,
- Daha az sürtünme olduğundan daha yüksek hızlara çıkabilme,
- Çalışma mesafesinde esneklik,
- Uzun mesafelerde performans düşüşü olmaması,
- Düşük bakım maliyeti ve düşük işletme giderleri,
- Boyutlandırmadan alan kazancı,
- Düşük geri tepme,
- Yüksek devamlılık ve yüksek tekrarlanabilirlik sayesinde daha kaliteli ürünlerdir.

Lineer asenkron motorların, döner hareketli endüktans motorlara göre dezavantajları;

- Henüz yeteri kadar yaygın olmadığından yüksek maliyet,
- Doğal mıknatısların aşırı ısındığında veriminin düşmesi,
- Uzun mesafelerde kontrol ve otomasyon zorluğu,
- Uzun mesafelerde elektrik veya mıknatıslara karşı emniyet gerekliliği,
- Mıknatıs temizliği ve tozdan korunmadır.

Tablo 2.1 Hidrolik, pnömatik ve lineer motor sistemlerinin kıyaslanması [4].

	Pnömatik	Hidrolik	Yuvarlak tipli Doğrusal Motor	Düz Tipli Doğrusal Motorlar
Azami Hız	İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Azami Güç	Orta	Çok İyi	İyi	Orta
Hassasiyet	Orta	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Pozisyonlama	Orta	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Maliyet	Az	Orta	Çok	Çok Fazla
Enerji Verimliliği	Kötü	Orta	Çok İyi	İyi
Çevrecilik	İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Bakım İhtiyacı	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi



Şekil 2.12 Sıcaklığa bağlı olarak doğal mıknatısın uyguladığı kuvvet değişimi [13].

3.1 Engelli Asansörü

Bir merdiven veya yükseltiyi çıkmak isteyip de çıkamayan insanların (yaşlı veya engelli) kullanması için tasarlanan asansör tiplerine engelli asansörü denir. Engelli asansörleri, bu yükselti veya engelleri aşmak isteyenlerin kolayca engelleri aşmak, başka kimseye ihtiyaç duymadan yapabilmelerini sağlamak için uygulanır. Engelli kişiye rahatlık ve hareket esnekliği kazandırır.

Mevcut imar ve asansör yönetmeliklerine (TS EN 81-70:2018) göre bu durum göz önünde bulundurmalarına ve bunu yönetmeliklere göre yeni binalar tasarlanmalarına ve üretilmelerine rağmen eski binalarda bu durum söz konusu değildir.

Bu tip eski binalarda ihtiyaç durumunda, harici olarak engelli merdiven asansörleri mevcut yerim fiziki şartlarına göre tasarlanıp, üretilmektedirler.

3.2 Engelli Asansörü Çeşitleri

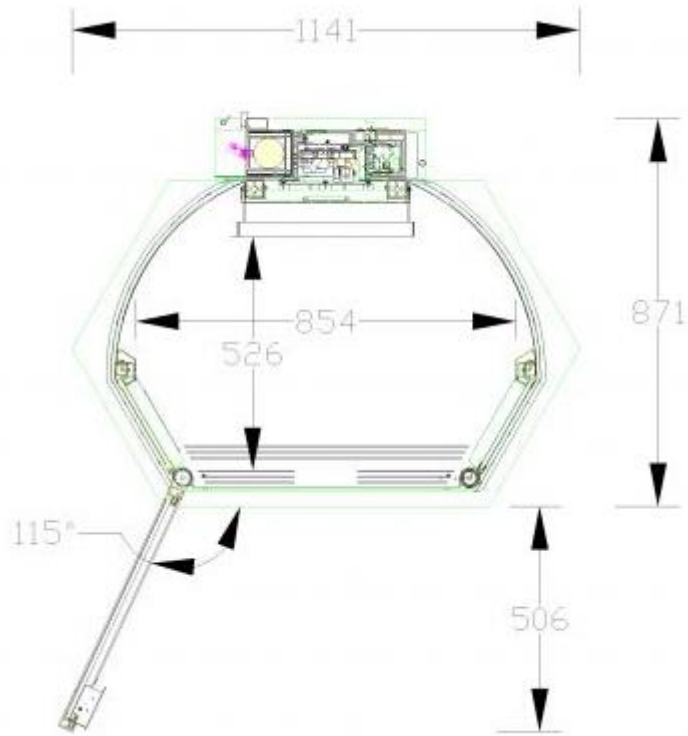
Engelli asansörleri kullanım amacı olarak iki ana gruba ayrılmaktadır; dikey tip engelli asansörü ve ev asansörüdür.

3.2.1 Dikey Tip Engelli Asansörü

İç ve dış mekanlara kurulabilen makaslı açık kabin ve hidrolik, vidalı açık kabin gibi modelleri vardır [17]. Bu tip asansörlerde bir yükselti dikey olarak aşılmasının yanında harici olarak merdiven yoktur. Binalara veya iş yerlerine sonradan engelli kullanımı için yapılabilmektedir.



Şekil 3.1 Dikey tip engelli asansörü [18].



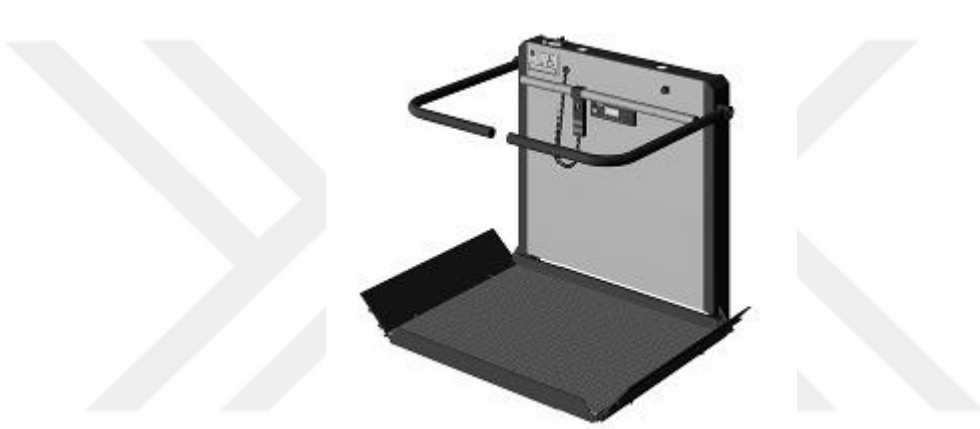
Şekil 3.2 Dikey tip engelli asansörü örnek ölçüleri [18].

3.2.2 Ev Tipi Engelli Asansörü

Ev içerisinde dikey tip asansör kurulu için yeterli alan bulunmadığı durumlarda, merdiven kenarında yürütülen, çalıştırılan asansörlerdir. Engelli Merdiven Asansörü diye de adlandırılır. Bu tip asansörler hem kullanılan ekipmanlar hem de proje bazlı olduklarından ve seri üretim şartlarına uymadıklarından dikey asansörler göre daha maliyetli asansörlerdir.

Ev asansörlerinde iki amaca yönelik tasarım ve üretim yapılmaktadır.

- Platform Tip: Tekerlekli sandalye taşımaya uygun olarak tasarlanan ve üretilen asansörlerdir.



Şekil 3.3 Platform tip engelli merdiven asansörü [19].

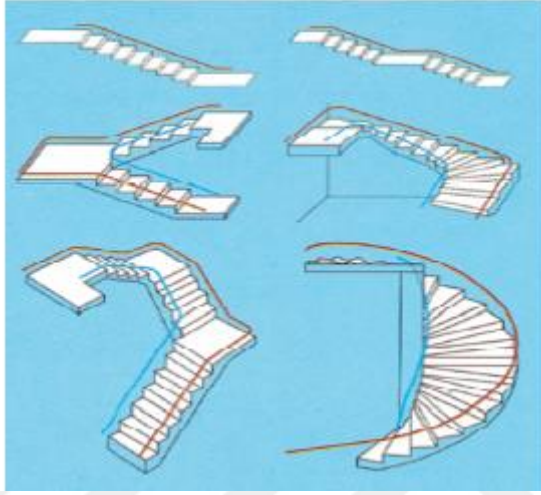
- Koltuk Tip: Asansöre dahili olarak koltuk, oturak bulunan, merdiven çıkması zor olan fakat yürüyebilen kişiler için kullanılan asansörlerdir.



Şekil 3.4 Koltuk tip engelli merdiven asansörü [19]

3.2.2.1 Uygulama Alanları

Engelli asansörleri gelişen teknoloji, üretim kolaylığı sayesinde ve birçok uluslararası firmanın bu sektörde rekabeti sayesinde her tip ve tasarımda merdivende kullanılmaktadır. Şekil 3.5’ te birkaç farklı tipte merdiven detayı görülmektedir.



Şekil 3.5 Engelli asansörleri uygulama alanları [19].

Lineer Motorlu Merdiven Asansörü Tasarımı

Tasarım, yarım asırlık bir zaman dilimi öncesine kadar mühendislik biliminden çok bir sanat dalı olarak kabul ediliyordu. Ancak genelde Alman bilim adamlarının çaba ve araştırmaları sonucu teknik bir süreç haline dönüşmüştür. Pahl ve Beitz, mühendislik tasarımı için sistematik bir yaklaşım önermiş ve öğrencileri Feldhusen ve Grote bu yaklaşımı daha da geliştirmişlerdir [20]. ‘Sistematik Mühendislik Tasarımı (SMT)’ yaklaşımı, tasarımı bilimsel temeller ve izlenmesi gereken bazı kurallara bağlar. Bir başka ifade ile metodolojik teknikler kullanılarak tasarım işlemi, salt sezgi veya tasarımcı yeteneğinden bağımsız yapılabilmektedir. Böylece orta düzey tasarımcılar tarafından dahi iyi tasarımlar elde edilebilecektir [21].

4.1 Tasarım Hedeflerinin Belirlenmesi

Tasarımın genel olarak, üretilebilir olması, uygun fiyatlı olması ve müşteri kalite beklentisini karşılaması bakımından optimum olması beklenmektedir. Dolayısıyla yapılan tasarımın hem işlevsel olarak hem de üretilebilirlik açısından müşterinin bütün beklentilerini karşılamalıdır. Yapılan tasarımın kullanım yeri ve özellikleri bakımından farklı beklentiler de olabilmektedir.

Lineer motor tasarımında da tasarım aşamalarını 3 bölüme ayırabiliriz;

1. Tasarım Öncesi Hedeflerin Belirlenmesi;
2. Tasarım Yapılması;
3. Tasarım Sonrası Düzeltme;

Tasarım öncesi hedeflerin belirlenmesi genel olarak, pazar analizi, hedef pazar belirlenmesi, yıllık üretim hedefleri, müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi, ürün özelliklerinin, fiyatının ve tasarım süresinin belirlenmesi ve piyasaya çıkış tarihi gibi pazarlama faaliyetleri sıralanabilir.

Tasarımı yapılacak olan lineer motorlu engelli asansörünün tasarım hedefleri belirlenmesi tasarım öncesi aşamada değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmeler

tersine mühendislik yöntemi gibi rakip firmaların ürünlerinin üstün ve eksik yanları incelenerek de yapılabilir.

Lineer motorlu engelli asansörün tasarım öncesi ana hedefleri;

- En fazla 300kg'lık bir kütlenin taşınması,
- En fazla 67°'lik bir açıda çalışmalı,
- En az 3m'lik bir yüksekliğe taşıma yapılması,
- Ortala hızın, insan konforunu etkilememesi ve hızın en az 0,05m/s, en fazla 0,15m/s olması,
- Emniyet açısından herhangi bir risk teşkil etmemesi, yolcunun güvenli bir şekilde taşınması, ilgili yönetmeliklere uyumu,
- Asansör ömrünün en az 10 yıl olması,
- En fazla yılda 1000TL' lik hedef bakım ve çalışma maliyeti olması,
- İnsan rahatını etkilemeyecek kadar sessiz çalışması,
- Bina içinde çalışacağından, neme ve suya karşı dayanım aranmaması,
- Bir merdivende çalışacağından, motorun mümkün olduğunca az yer kaplamasıdır.

Lineer motorlu engelli asansörün yardımcı hedefleri ise,

- Ergonomik açıdan insan rahatına ve konforuna uygun olmalı,
- Ürün estetiği bakımından uygun olmalı,
- Kullanımı kolay olmalı,
- Üretim ve montajı kolay olmalı,
- Elle kontrolü kolay ve anlaşılır olmalıdır.

Tasarım aşamasında yukarıdaki ana ve yardımcı hedeflerimiz dikkate alınacak olup, yine buradan yola çıkarak, lineer motorun genel olarak anlatıldığı bölümde de konu edildiği üzere, tüp şeklinde lineer motorun üreteceği güç ve kuvvet daha fazla olacağından ve merdiven asansörü gibi dar bir alanda çalışma yapılacağından dolayı, daha küçük bir hacimde daha fazla güç elde edileceğinden tüp şeklinde lineer motor tahrikli, platform tip engelli merdiven asansörü tasarımı yapılacaktır.

4.2 Tasarımın Yapılması

4.2.1 İstenilen Hız ve İvme Değerlerinin Hesaplanması

Normal insan asansörlerinde en düşük çalışma hızı 1m/s olmasına rağmen, bu tip merdiven asansörü için 1m/s hız rahatsız edici derecede hızlı ve konforsuz olacaktır. Dolayısıyla, mevcut üreticilerin kataloglarında da belirtildiği üzere rahat, sarsıntısız bir ulaşım gerçekleşmesi için aşağıdaki merdiven asansör hızının 0,05 ile 0,15 m/s hızları arasında olması gerekmektedir.

Bu örnekte kullanacağımız hız, denk. 4.1'de;

$$V = \frac{0,05+0,15}{2} = 0,1 \text{ m/s} \quad (4.1)$$

Bu tip merdiven engelli asansörlerinde tırmanma açısı en fazla 45° olarak istenmesine rağmen tasarımda ülkemiz şartları da gözetilerek 67° olarak belirlenmiştir.

Yine mevcut üreticilerin kataloglarında belirtilen yükleme kapasitesi genelde 1250N olmasına rağmen, bu tasarımda yükleme kapasitesi 1500 N olarak belirlenmiş olup, teçhizat ağırlığı da göz önüne alınarak, taşınacak olan toplam kütle 3000 N olarak belirlenmiştir.

Türkiye' deki yapıların ortalama kat arası yükseklikleri 3m olduğundan, tasarımda bu ölçü seçilmiştir.

$$M: \text{Yükleme Kapasitesi (N) + Teçhizat Ağırlığı (N)} = 3000 \text{ N}$$

$$Q: \text{Merdiven Açısı (Tırmanma Açısı)} = 0 - 67^\circ$$

$$V: \text{Hız (m/s)} = 0,1 \text{ m/s}$$

$$y: \text{Kat Yüksekliği (m)} = 3 \text{ m}$$

$$x_1: \text{Eğimden Önce Yatay Uzaklık (m)} = 1 \text{ m}$$

$$x_2 = y / \sin \Phi \text{ (m)} = 3 / \sin 67 = 3,26 \text{ m}$$

$$x_3: \text{Eğimden Sonra Yatay Uzaklık (m)} = 1 \text{ m}$$

Yukarıdaki bilgilere göre ivme ve hızlarımızı bulmak istersek;

$$V_1: \text{Kalkış Hızı (m/s)} = 0 \text{ m/s};$$

$$V_2: \text{Eğim Öncesi Son Hız (m/s)} = 0,10 \text{ m/s;}$$

$$V_3: \text{Eğim Sonrası Hız (m/s)} = 0,10 \text{ m/s;}$$

$$V_4: \text{Duruş Hızı (m/s)} = 0 \text{ m/s ise;}$$

x_1, x_2 ve x_3 yollarının süreleri;

$$t_1 = \frac{x_1}{2(V_2 - V_1)} \quad (4.2)$$

$$t_1 = \frac{1}{2 \times (0,1 - 0)} = 20 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{x_2}{V_3} \quad (4.3)$$

$$t_2 = \frac{3,26}{0,1} = 32,6 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{x_3}{2(V_3 - V_4)} \quad (4.4)$$

$$t_3 = \frac{1}{2 \times (0,1 - 0)} = 20 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

İvme değerleri için;

$$a_1 = \frac{V_2 - V_1}{t_1} \quad (4.5)$$

$$a_1 = \frac{0,1}{20} = 0,005 \text{ m/s}^2$$

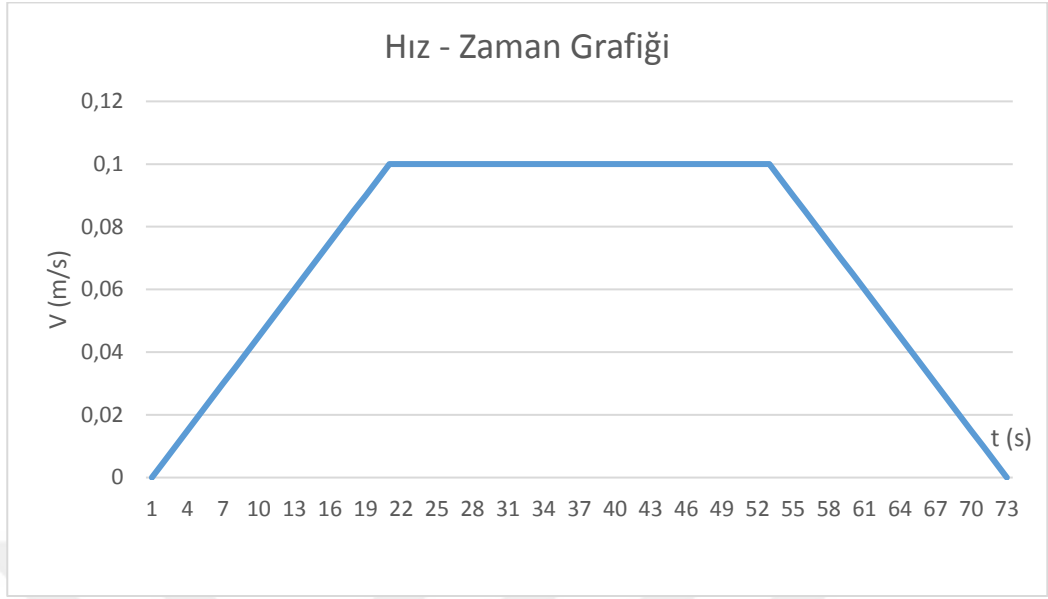
$$a_2 = \frac{V_3 - V_2}{t_2} \quad (4.6)$$

$$a_2 = \frac{0}{32,6} = 0 \text{ m/s}^2$$

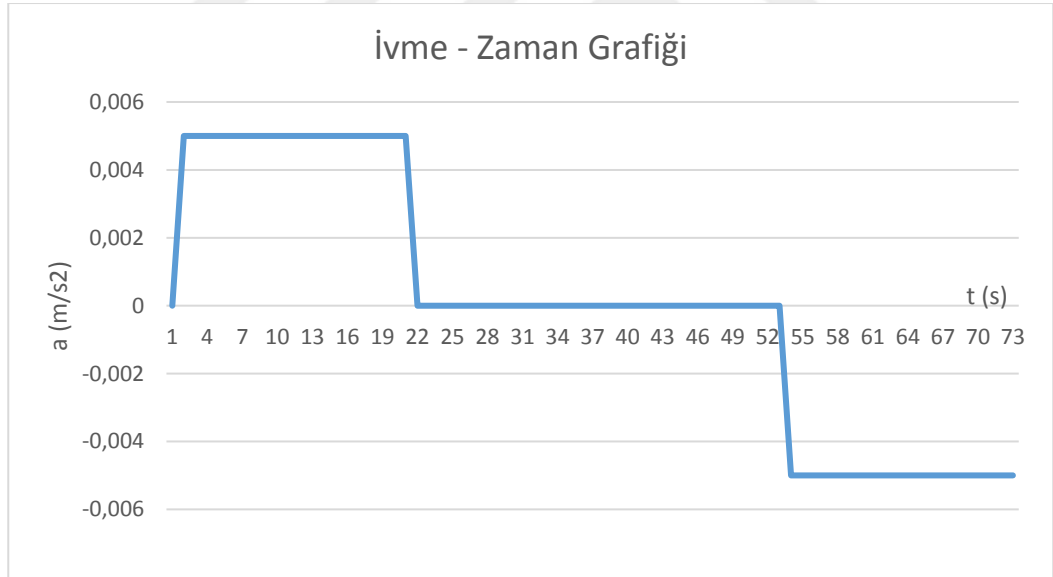
$$a_3 = \frac{V_4 - V_3}{t_3} \quad (4.7)$$

$$a_3 = \frac{0,1}{20} = - 0,005 \text{ m/s}^2$$

Hız - zaman ve ivme zaman grafiklerini çizmek istersek;



Şekil 4.1 Hız – zaman grafiği.



Şekil 4.2 İvme – zaman grafiği.

Yukarıdaki hız-zaman ve ivme-zaman grafiklerinden de görülebileceği üzere, asansörün hareketi 3 parçaya bölünüyor. Birinci durum hızlanma, ikinci durum sabit hız ve üçüncü durumda yavaşlama olmaktadır.

Yine Tablo 4.2' de de görülebileceği üzere, asansör 3 farklı durumda hareket etmektedir. İlk durumda yatay düzlemde ilerleme, ikinci durumda eğik düzlemde ilerleme ve üçüncü durumda yatay düzlemde ilerlemedir.

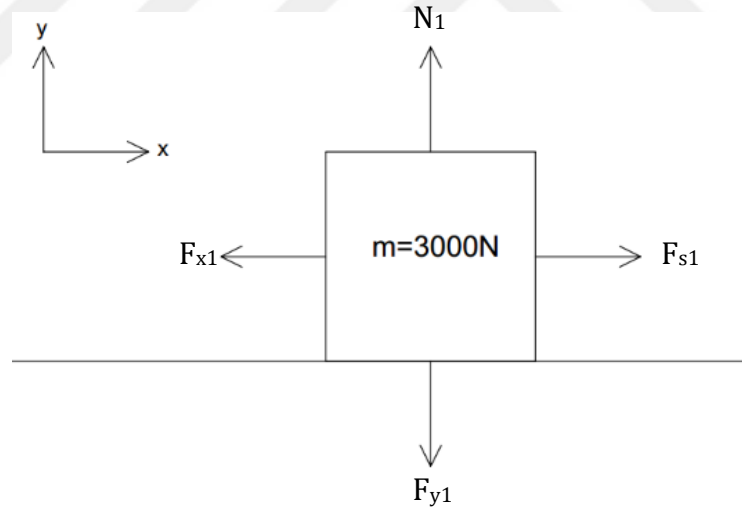
Bu iki farklı durumu, yani hızlanma – sabit hızda gitme – yavaşlama durumu ile yatay ilerleme – eğik düzlemde ilerleme – yatay düzlemde ilerleme durumlarının bir arada düşünürsek;

İlk durumda istenen hıza ulaşma ve yatay düzlemde ilerleme ($x_1 = 1 \text{ m}$), ikinci durum eğik düzlemde sabit hızda ilerleme ($x_2 = 32,6\text{m}$) ve üçüncü durumda yine yatay düzlemde yavaşla olarak belirlenmiştir.

4.2.2 Linear Motorun Üretmesi Gereken Gücün Hesaplanması

Hızlanma – sabit hızda gitme – yavaşlama durumları için farklı farklı kuvvet gereksinimlerimiz olacaktır. Her bir durum için kuvvet hesabı yapıp, motorun üretmesi gereken en fazla gücü ve kuvveti aşağıdaki şekilde buluruz;

Birinci durumda $F_{x_{\max 1}}$ bulunması;



Şekil 4.3 Birinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

$g = \text{Yer Çekimi İvmesi} = 9,81 \text{ m/ s}^2$

$$\sum F_{y1} = 0 \quad (4.8)$$

$$\sum F_{y1} = m \cdot g - N_1 \cdot k_k \quad (4.9)$$

$$N_1 = m \cdot g \quad (4.10)$$

$$N_1 = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ N}$$

Tablo 4.1 Sürtünme katsayısı tablosu.

Malzeme çifti	Sinter bronz/çelik	Sinter demir/çelik	Kağıt esaslı/çelik	Sert. Çelik/Sert. çelik	Sinter bronz/çelik	Nitr. çelik/Nitr. çelik	Organik mal/dökme demir
	YAĞLI ÇALIŞMA			KURU SÜRTÜNME			
Kinetik sürtünme katsayısı	0,05...0,10	0,07...0,10	0,10...0,12	0,05...0,08	0,15...0,3	0,3...0,4	0,3...0,4
Statik sürtünme katsayısı	0,12...0,14	0,12...0,14	0,08...0,10	0,08...0,12	0,2...0,4	0,4...0,6	0,3...0,5
Max. Çevre hızı [m/sn]	40	20	30	20	25	25	40
Max. Yüzey basıncı [MPa]	4	4	2	0,5	2	0,5	1
Bir devreye gir-medeyim birim alan başına izin verilen sürtünme işi [J/mm ²]	1...2	0,5...1	0,8...1,5	0,3...0,5	1...1,5	0,5...1	2...4
Birim alan başına izin verilen sürtünme enerjisi [W/mm ²]	1,5...2,5	0,7...1,2	1...2	0,4...0,8	1,5...2	1...2	3...6

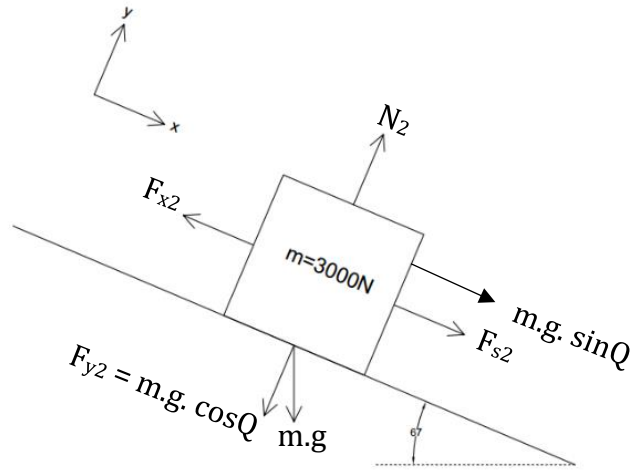
k

$k_k = \text{Sürtünme katsayısı} = 0,3$ olarak seçilmiştir.

$$\sum F_{x1} = m \cdot a_1 - (-N_1 \cdot k_k) \quad (4.11)$$

$$F_{x1} = 300 \cdot 0,005 + 2943 \cdot 0,3 = 884,4 \text{ N}$$

İkinci durumda $F_{x\max2}$ bulunması;



Şekil 4.4 İkinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

Denklem (4.10)' dan N_2 bulunmak ve denklem (4.11)' den F_{x2} bulunmak istenirse;

$$\sum F_{y2} = 0$$

$$\sum F_{y2} = m \cdot g \cdot \cos Q - N_2$$

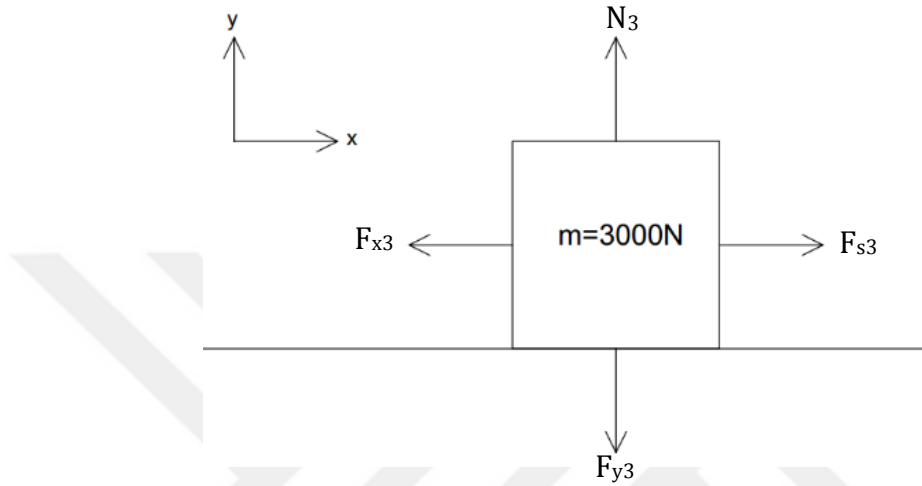
$$N_2 = m \cdot g \cdot \cos Q$$

$$N_2 = 300 \cdot 9,81 \cdot \cos 67^\circ = 1149,83 \text{ N}$$

$$\sum F_{x2} = m \cdot a_2 + m \cdot g \cdot \sin Q - (-N_2 \cdot k_k)$$

$$F_{x2} = 300 \cdot 0 + 300 \cdot 9,81 \cdot \sin 67^\circ + 1149,83 \cdot 0,3 = 3053,97 \text{ N}$$

Üçüncü durumda $F_{x\max 3}$ bulunması;



Şekil 4.5 Üçüncü durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

Denklem (4.10)' den N_3 bulunmak ve denklem (4.11)' den F_{x3} bulunmak istenirse;

$$\sum F_{y3} = 0$$

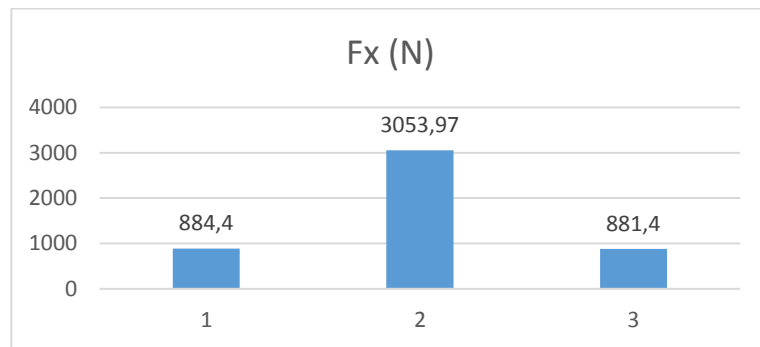
$$\sum F_{y3} = m \cdot g - N_3$$

$$N_3 = m \cdot g$$

$$N_3 = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ N}$$

$$\sum F_{x3} = m \cdot a_3 - (-N_3 \cdot k_k)$$

$$F_{x3} = -300 \cdot 0,005 + 2943 \cdot 0,3 = 881,4 \text{ N}$$



Şekil 4.6 F_x grafiği.

Her üç durumda da F_x değerleri Şekil 4.6'da belirtildiği üzere, en yüksek kuvvet ihtiyacı ikinci durumda, yani tırmanmanın olduğu durumda olmaktadır.

F_{ort} bulmak için;

$$F_{ort} = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + F_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \quad (4.12)$$

$$F_{ort} = \sqrt{\frac{884,4^2 \cdot 20 + 3053,97^2 \cdot 32,6 + 881,1^2 \cdot 20}{72,6}} = 2148,84 \text{ N}$$

İş; bir yol boyunca harcanan kuvvet olduğundan,

$$W_{ort} = F_{ort} \cdot x_t \quad (4.13)$$

$$W_{ort} = 2148,84 \cdot 5,26 = 11302,9 \text{ J}$$

Denklem (4.14)' ten her bir durum için iş hesabı [13];

$$W_i = F_i \cdot x_i$$

$$W_1 = 884,4 \cdot 1 = 884,4 \text{ J}$$

$$W_2 = 3053,97 \cdot 3,26 = 9955,94 \text{ J}$$

$$W_3 = 881,4 \cdot 1 = 881,4 \text{ J}$$

Güç hesabı içinse,

$$P_{ort} = \frac{W_{ort}}{t_t} \quad (4.14)$$

$$P_{ort} = \frac{11302,9}{72,6} = 115,68 \text{ W}$$

Denklem (4.14)' ten her bir durum için güç hesabı [13];

$$P_i = \frac{W_i}{t_i}$$

$$P_1 = \frac{884,4}{20} = 44,22 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{9955,94}{32,6} = 305,39 \text{ W}$$

$$P_3 = \frac{881,4}{20} = 44,07 \text{ W}$$

4.2.3 Lineer Motor Genel Formülü

V_{DC} : Tedarik Edilen Voltaj = 220 V

I : Akım (A)

R_{rail} : Direnç (Ω)

$E_{induced}$: İndüklenen voltaj (V)

$$V_{DC} = I \cdot R_{rail} + E_{induced} \quad (4.15)$$

$$E_{induced} = B \cdot L \cdot u \quad (4.16)$$

L: Efektif uzunluk = Sarım Sayısı x Sarım Uzunluğu (m)

$$P_{in} = V_{DC} \cdot I \quad (4.17)$$

$$P_{out} = E_{induced} \cdot I \quad (4.18)$$

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4.19)$$

$$P_2 = 305,39 \text{ W}$$

olduğundan emniyetli olması açısından;

$$P_{out} = 400 \text{ W}$$

$$\mu = 0,92$$

Denklem (4.19)' de değerler yerine konursa [13],

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\mu} = \frac{400}{0,92} = 434,78 \text{ W}$$

İstenilen akımı bulmak için denklem (4.17) kullanılırsa [13],

$$I = \frac{P_{in}}{V_{DC}} = 434,78 / 220 = 1,989 \text{ A}$$

$E_{induced}$ bulmak için denklem (4.18) kullanılırsa[13],

$$E_{induced} = \frac{P_{out}}{I} = \frac{400}{1,989} = 201,1 \text{ V}$$

Denklem (4.16)' da değerler yerine konulup direnç bulunmak istenirse [13];

$$V_{DC} = I \cdot R_{rail} + E_{induced}$$

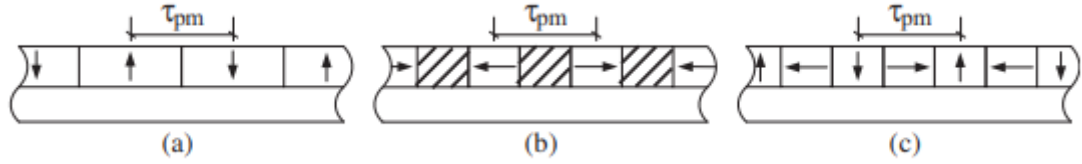
$$R_{rail} = 9,50 \Omega$$

4.2.4 Lineer Motor Boyutlandırılması

Tasarım ana hedeflerinde de belirtildiği üzere 3000N kütlesinde bir cismi 3m yukarıya çıkarmak için gerekli kuvvet büyük olduğundan ve konunun başında da belirtildiği gibi, merdiven gibi dar bir alanda çalışması istenildiğinden ötürü asansörün toplam hacmi ve boyutları önem kazandığından, tüp şeklinde (tubuler) bir lineer motor tasarlanacaktır. Ayrıca Tablo 4.5' te de tüp şeklinde lineer motor ile düz lineer motorun, kuvvet farklılıkları belirtilmiş olup, tüp şekilde lineer motorun düz bir lineer motora göre, manyetik alanı daha iyi kullandığından oluşturacağı güç daha fazladır.

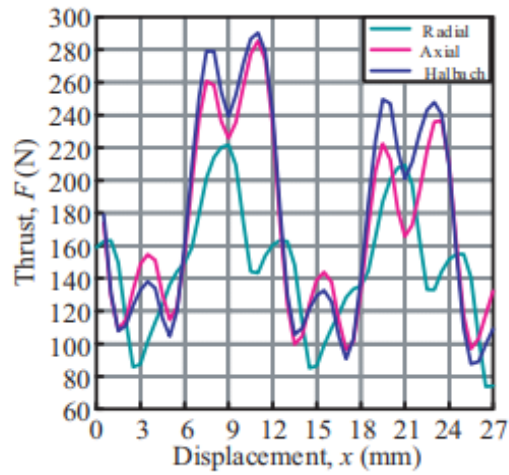
Tablo 4.2 Aynı akım girdisine sahip düz (flat) ve tüp şeklinde lineer motorların kıyaslanması [13].

Parametreler	Birim	Flat (Düz) Motor	Tubular Motor
F_{max} (En Büyük Kuvvet)	[N]	221	305
F_{min} (En Küçük Kuvvet)	[N]	146	198
F_{av} (Ortalama Kuvvet)	[N]	180	244
k_r (Dalgalanma Kuvveti Sabiti)	-	0,42	0,44
F_{cmax} (En Büyük Tetikleme Kuvveti)	[N]	20	45
I_a (Armatür Akımı)	A	8	8



Şekil 4.7 Lineer motorda mıknatıs (a) radyal, (b) eksenel, (c) Halbach dizgesi [22].

Ayrıca tasarımı yapılan lineer motorda eksenel tip mıknatıs yerleşimi yapılmıştır. Şekil 4.7’de de gösterildiği şekilde Halbach tipi mıknatıs yerleşimi yapıldığında ise istenilen kuvvet elde edilememiştir. Halbach dizgesinde alt ve üst yüzeyleri ayrı ayrı değerlendirdiğimizde, birbirlerine göre iki farklı manyetik alan oluşmaktadır. Bu durumda, tezde tasarımı yapılan motor tubular yani tüp şeklinde olduğundan farklı manyetik alanlar, motorun titreşimli çalışmasına sebep olabileceği gibi ek kılavuzlama ve titreşim oluşumu gibi ilaveten sorunlara sebep olabilir. Şekil 4.8’ te Eksenel ve Halbach dizgeleri, bu tasarım için karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.8 Lineer motor mıknatıs dizgesine göre kuvvet değişimi [22].

Hesaplama aşamasında en fazla kuvvet ihtiyacı, asansör yukarı doğru çıkış eğiliminde iken oluşmaktadır. İhtiyacının en fazla olduğu durumdaki kuvvet (F_{x2}), yani motorun üretmesi gereken en büyük kuvvet, yani F_{max} olur.

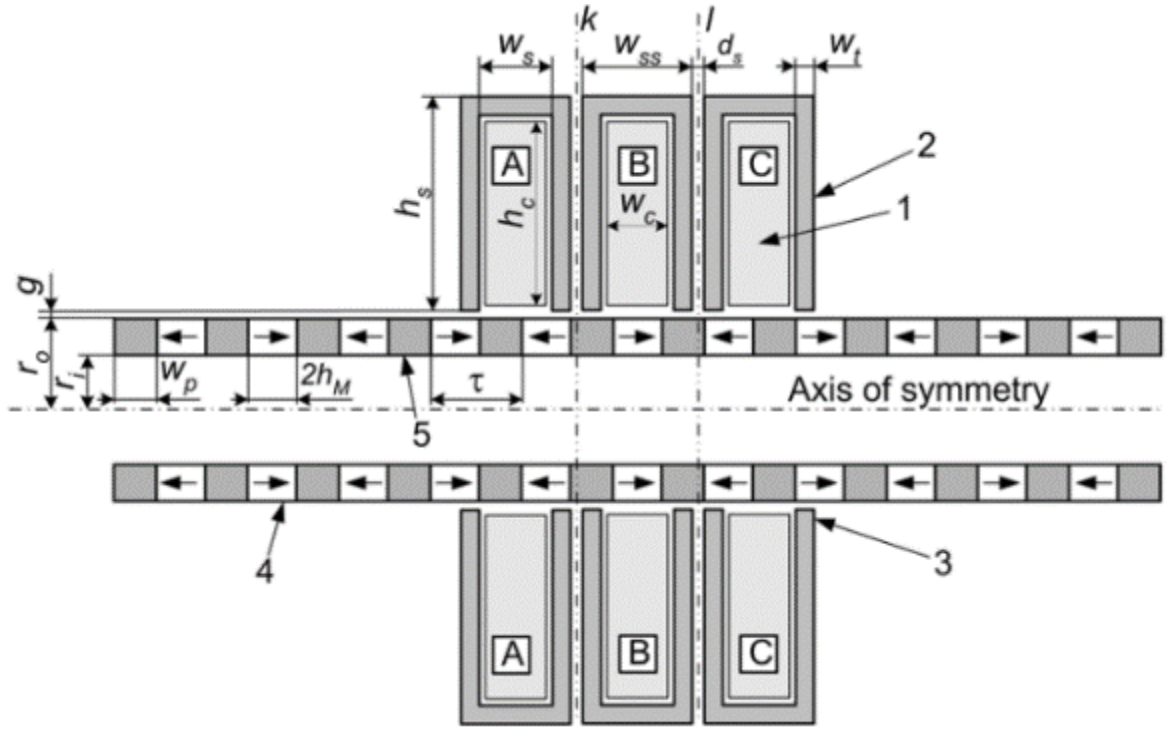
$$F_{max} = 3053,97 \text{ N} \approx 3100 \text{ N (yuvarlama yapılırsa)}$$

Motor tasarımı ile ilgili diğer kabuller;

$$J_a = 10 \text{ A / mm}^2 \text{ (Nominal Armatür Akım Yoğunluğu)}$$

$d_w = 2 \text{ mm}$ (Bakır Tel Çapı)

$\tau = 50 \text{ mm}$ (Kutup Aralığı)



Şekil 4.9 Tüp şeklinde lineer motorun kesit görüntüsü [13].

Kabule göre, toplam mekanik enerji, doğal mıknatısların depoladığı toplam enerjiye eşit olmalıdır.

İstenilen itme kuvveti için, en az 7 adet doğal mıknatıs (PM, doğal magnet) ve 3 segman (armatür) olmalıdır. Tasarım, boyutlandırma bu kabule göre yapılacaktır.

Doğal mıknatıslar seçimi için, Tablo 4.6' da da görülebileceği gibi, düşük çalışma sıcaklığında, aynı akım aralığında daha fazla kuvvet alınabilen NdFeB seçilmiştir.

Doğal mıknatısın mekanik ve elektrik özellikleri aşağıdaki tablada belirtilmiştir.

Tablo 4.3 Doğal mıknatıs mekanik özellikleri [13].

Parametreler	Birim	NdFeB	SmCo
B_T	[T]	1,25	1,01
H_c	[kA/m]	950	724
μ_r	-	1,048	1,11
T_c	[°C]	300	850
<i>Çalışma Sıcaklığı</i>	[°C]	80	300
$(BH)_{max}$	[kJ/m³]	310	203
B_T için Sıcaklık Sabiti	[%/°C]	-0,11	-0,04
H_c için Sıcaklık Sabiti	[%/°C]	-0,5	-0,27

Ayrıca yukarıdaki tabloya ek olarak [13];

w : Mıknatısların Enerji Yoğunluğu = 400 kJ/ m² (NdFeB için)

Elektro magnetik kuvvetle, τ kutup aralığında gereken enerji;

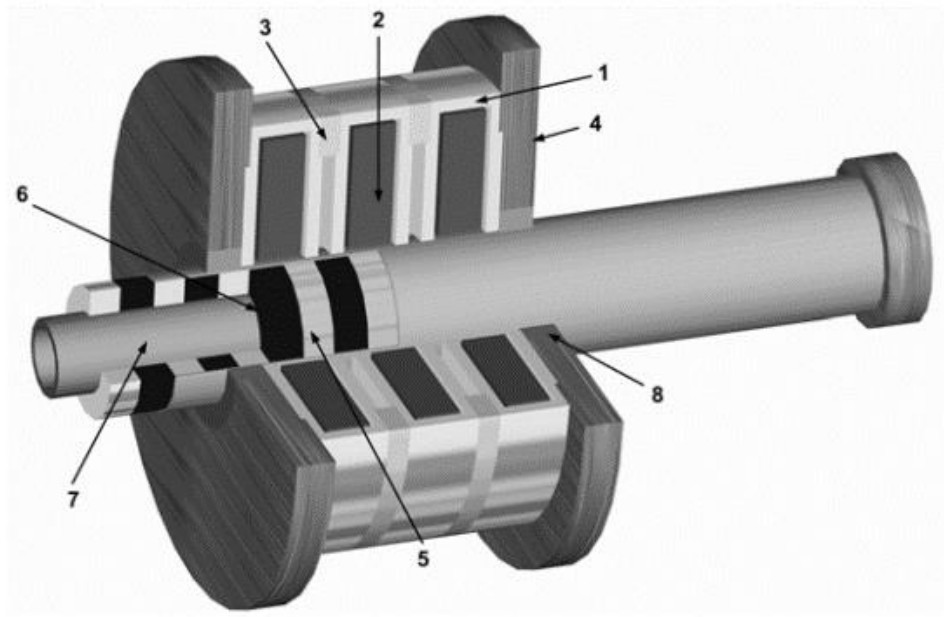
$$W = F \cdot \tau$$

$$W = 3100 \cdot 0,05 = 155 \text{ J} \quad (4.20)$$

V , Enerji yoğunluğunu bulmak için;

$$V = \frac{W}{w}$$

$$V = \frac{155}{400.000} = 3,875 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (4.21)$$



Şekil 4.10 Tüp şeklinde lineer motorun 3D görüntüsü [13].

Tek magnet üzerine düşen enerji yoğunluğunu bulmak için, 3 armatüre 7 magnet üzerinden kabul yapıp, çalışmaya başlandığından [13];

$$V_m = \frac{V}{7} \quad (4.22)$$

$$V_m = \frac{3,875 \times 10^5}{7} = 55.357,142 \text{ mm}^3$$

Kutup aralığı, $\tau = 50\text{mm}$ seçildiğinden ve magnet ile ferromagnetik ring (halka) eşit genişliğe sahip oluğu düşünülerek [13];

$$2. h_m = w_p = \frac{\tau}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm}$$

Mıknatısların iç yarı çapı, mümkün olduğunca çok küçük olmalı [13];

$$r_i = 4\text{mm},$$

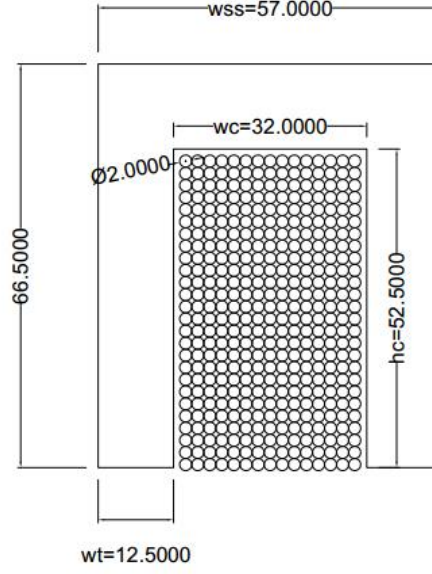
Dış yarı çapı ise denklem (4.23)' ten bulunarak;

$$r_o = \sqrt{\frac{V_m}{\pi \cdot 2 \cdot h_m} + r_i^2} \quad (4.23)$$

$$r_o = 27 \text{ mm}$$

w_t armatür dış kalınlığı, magnet ve ring kalınlıklarının yarısı kadar seçilebilir.

$$w_t = \frac{w_p}{2} = 12,5 \text{ mm} \quad (4.24)$$



Şekil 4.11 Armatür boyutları.

İki kutuplu doğal mıknatısın kuvvetini bulmak için [13];

$$F_m = 2 \cdot h_m \cdot H_c \quad (4.25)$$

$$F_m = 0,025 \cdot 950.000 = 23.750 \text{ N}$$

Akım hesabı;

$$I_{amax} = J_a \cdot \pi \cdot \frac{d_w^2}{4} \quad (4.26)$$

$$I_{amax} = 31,4 \text{ A}$$

Bakır tel sarım sayısını belirlemek için [13];

$$N = \frac{F_m/2}{I_{amax}} \quad (4.27)$$

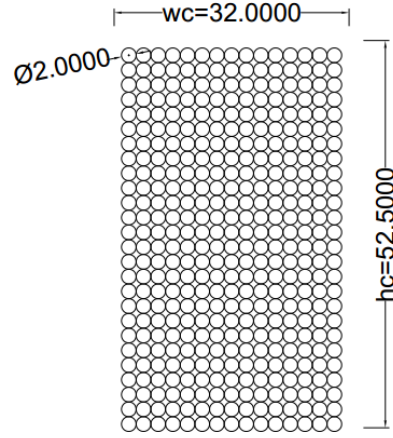
$$N = \frac{23.750}{31,4 \cdot 2} = 378 \text{ sarım}$$

w_c : 30 mm olması durumunda;

$$N = \frac{w_c \cdot h_c}{d_w^2} ;$$

$h_c \approx 50 \text{ mm}$

Sağlama yapılırsa,



Şekil 4.12 Bir armatürdeki sarım sayısı.

Yatay sarım sayısı denklem (4.28)'de;

$$\frac{w_c}{d_w} = \frac{30}{2} = 15 \text{ sıra} \quad (4.28)$$

Toplam sarım sayısına bölündüğünde;

$$N / 15 = 378 / 15 = 25,2$$

Olduğu için 26 sıra dikey sarım sayısı olarak kabul edilmiştir.

Yeni durumda toplam sarım sayısı;

$$N = 15 \cdot 26 = 390$$

h_c ; tekrar hesaplanmak istenirse,

$$h_c = 26 \times d_w + 0,5 = 52,5 \text{ mm}$$

hesaplanmış olup, sarım şekli Şekil 4.12'de belirtilmiştir.

w_s : Armatür genişliği;

$$2. h_m \leq w_s \leq \tau - w_t \quad (4.29)$$

$w_s = 32 \text{ mm}$ aritmetik ortalama ile seçilmiştir.

$$w_{ss} = w_s + 2 \cdot w_t$$

olduğundan, $w_{ss} = 57 \text{ mm}$ ' dir.

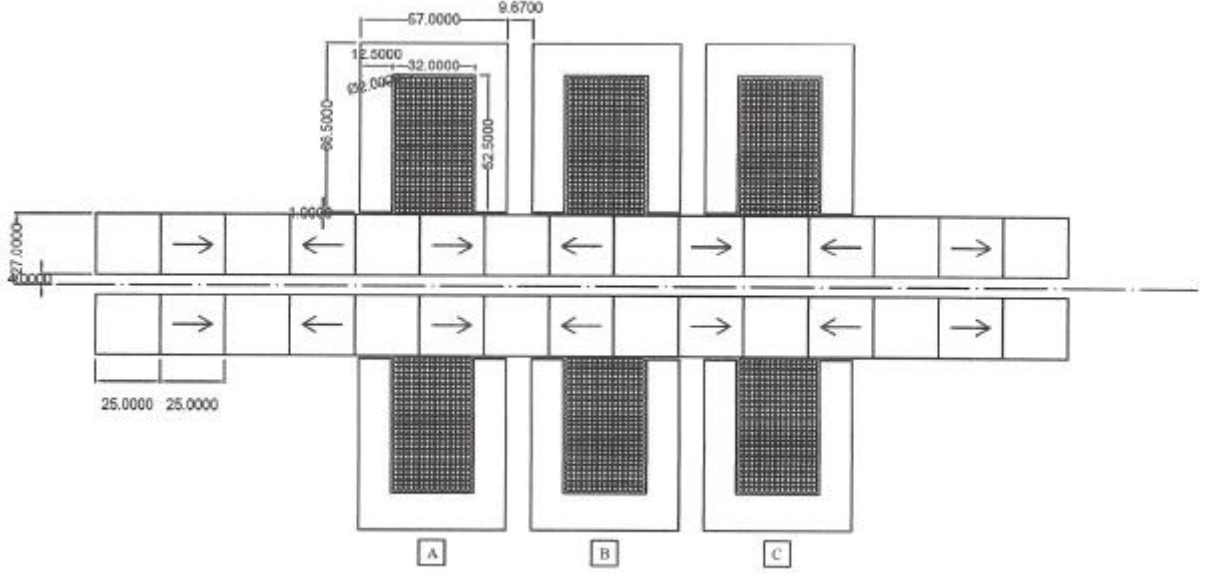
Armatürler arası uzaklık ise, 3 armatürlü seçildiğinden $n_{ph} = 3$ ve $w_{ss} = 57mm$ ise;

$$d_s = \frac{\tau}{n_{ph}} - w_{ss} + \tau = 9,67mm \quad (4.30)$$

$$d_s = 9,67mm$$

olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki ölçülere göre tubuler tip lineer motor çizilecek olursa;



Şekil 4.13 İstenilen kuvvete göre tüp şeklinde LM çizilmesi.

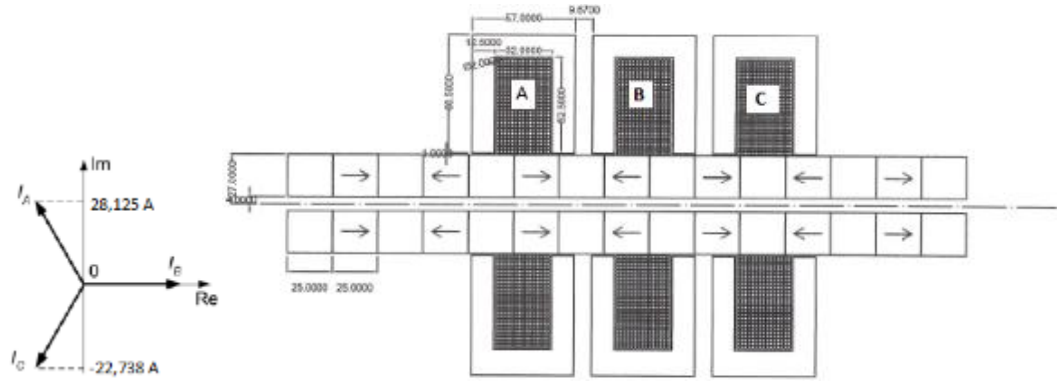
Her bir armatürden geçen akım değerlerinin ve yönlerinin bulunması için [13];

δ : Yük Açısı

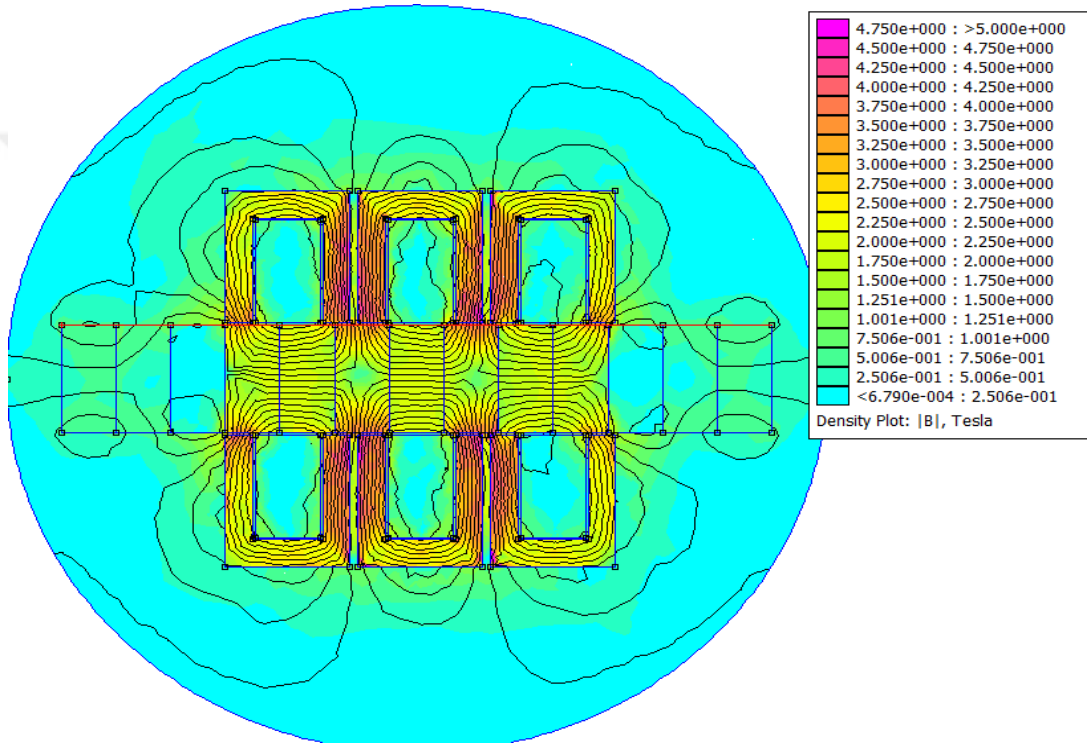
$$i_{aA} = I_m \cdot \sin\left(\frac{x}{\tau} \cdot 180^\circ - 30^\circ + \delta\right) \quad (4.31)$$

$$i_{aB} = I_m \cdot \sin\left(\frac{x}{\tau} \cdot 180^\circ + 90^\circ + \delta\right) \quad (4.32)$$

$$i_{aC} = I_m \cdot \sin\left(\frac{x}{\tau} \cdot 180^\circ + 220^\circ + \delta\right) \quad (4.33)$$



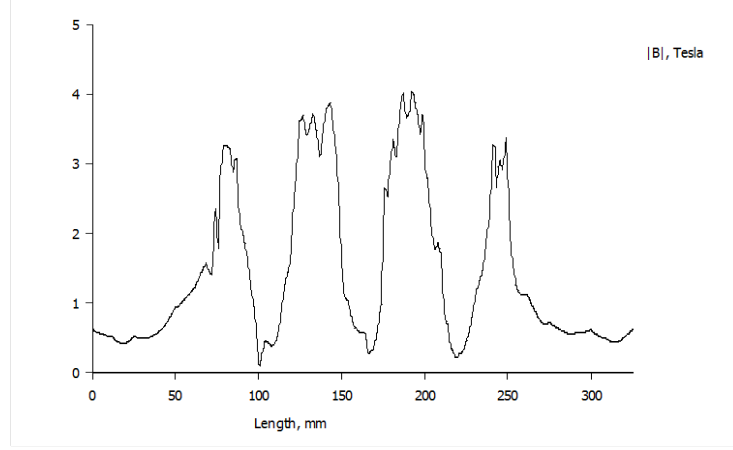
Şekil 4.14 $x=0$ pozisyonunda akım yönleri.



Şekil 4.15 FEMM programında FE methoduyla EMA analizi.

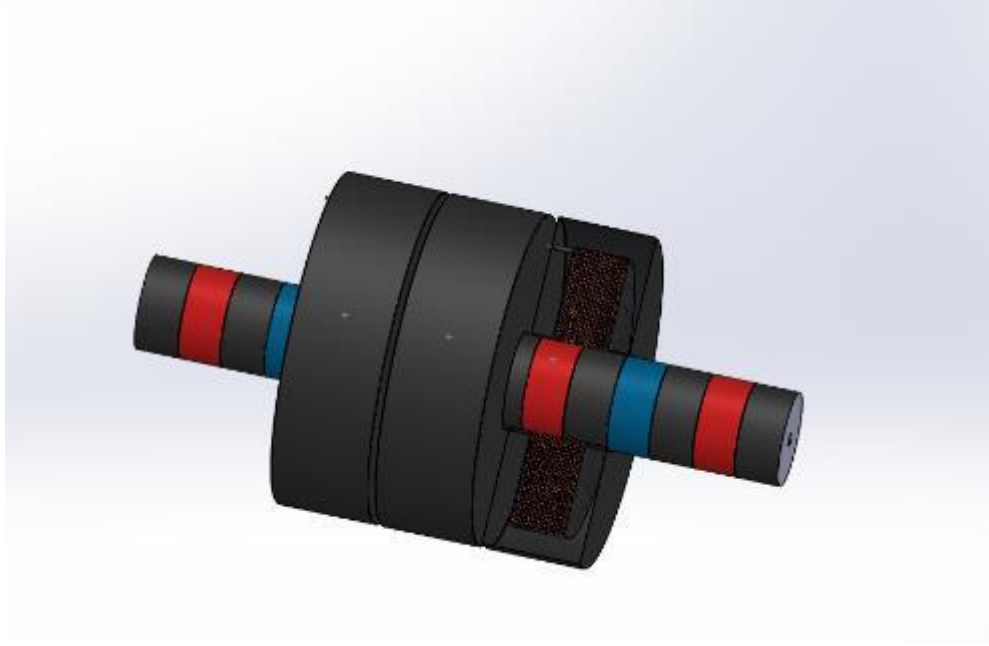
Şekil 4.15'te gösterildiği üzere FEMM (Finite Element Method Magnetics) programını kullanarak, manyetik alan analizi yapılmıştır. Şekilden de anlaşılacağı üzere ortadaki armatürde manyetik alan yoğunlaşmıştır.

Ayrıca Şekil 4.16'da da doğal mıknatısların yüzeyi üzerinden bir doğru boyunca manyetik alan değişimi grafiği belirtilmektedir.

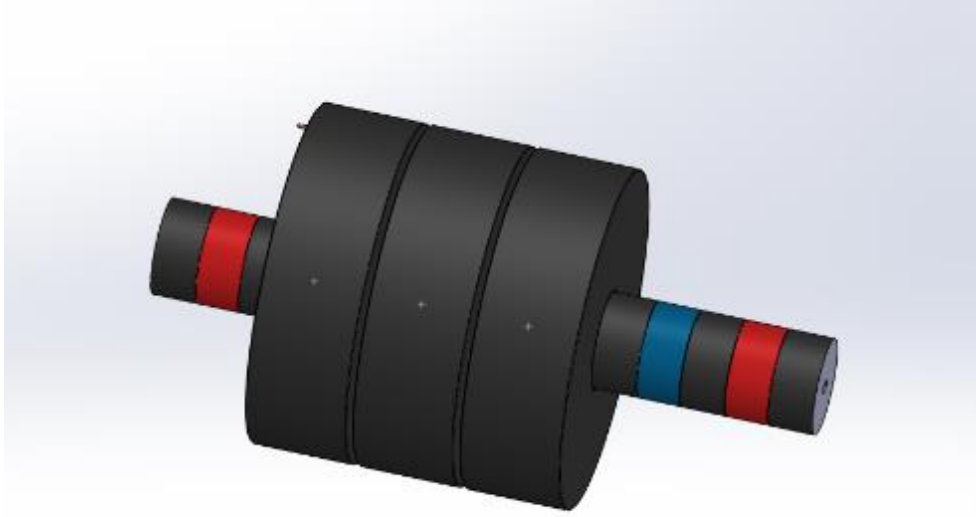


Şekil 4.16 FEMM ile doğal mıknatıs yüzeyi boyunca manyetik alan eğrisi.

Şekil 4.13’ da Autocad programında çizilen TLM’ nin SW çizimleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’ gösterilmiştir.

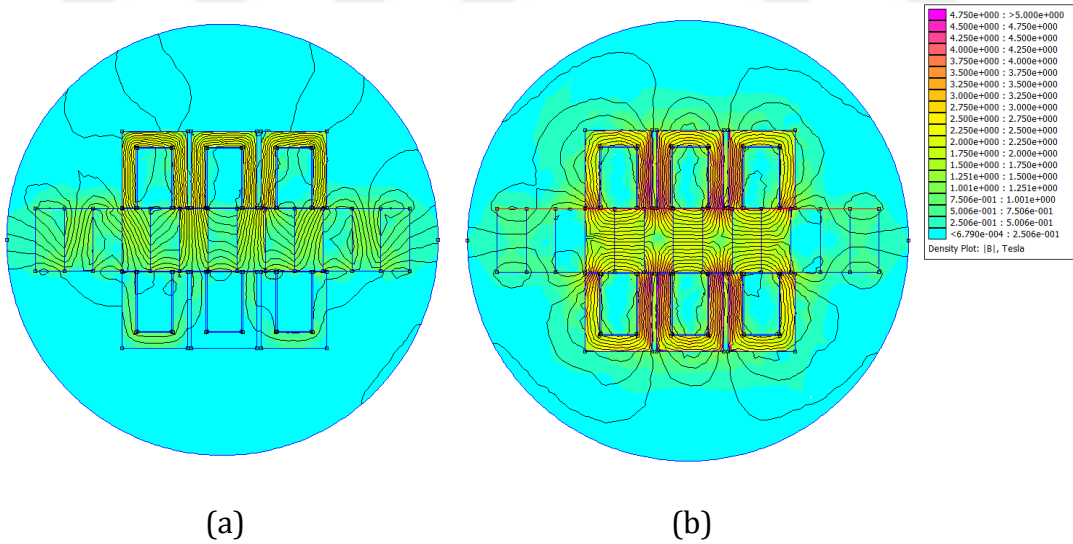


Şekil 4.17 Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklinde LM’ nin SW’ da çizilmesi.



Şekil 4.18 Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklinde LM'nin SW'da çizilmesi.

Tasarımı tamamlanan tubuler lineer motorun mıknatıs dizgesinin tasarım hedeflerini karşıladığından emin olmak için Şekil 4.19'da da gösterildiği gibi Halbach dizgesi ve eksenel mıknatıs dizgesi karşılaştırması FEMM programı kullanılarak yapılmıştır.



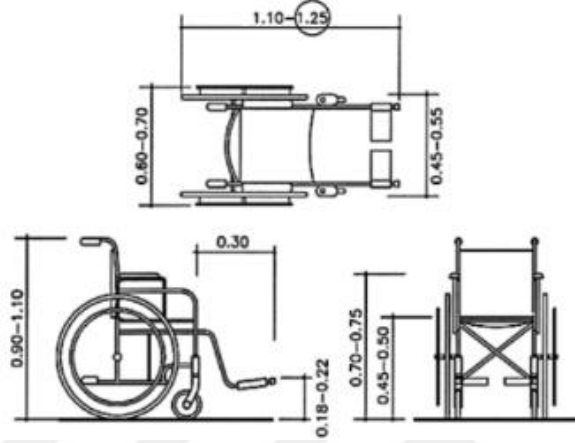
Şekil 4.19 FEMM programında Halbach (a) ve eksenel (b) mıknatıs dizgesi karşılaştırması.

FEMM programında yapılan bu kontrole göre eksenel dizilim uygun görülmüş, hedeflenen kuvvet değerine ulaştığı görülmüştür.

4.3 Platform Tip Engelli Asansörü Tasarımı

Tekerlekli sandalye taşınabilmesi için platform tip bir engelli merdiven asansörü tasarlanmalıdır.

Bu sebeple önce platformun ölçüleri belirlenmeli ve bu sebeple de standart bir tekerlekli sandalyenin ölçüleri bilinmelidir.



Şekil 4.20 TS 9111:2011' e göre tekerlekli sandalye ölçüleri [23].

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere platformun boyutları en az, 0,75m x 1,20 m olmalıdır.

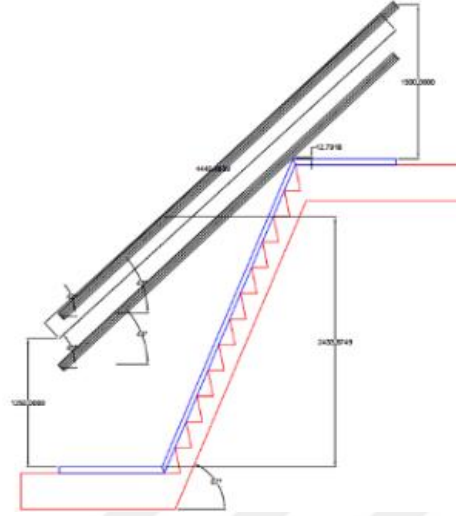
Bu ölçüler ışığında, platform ölçüleri 0,80m x 1,30m olarak seçilmiştir.

Tasarımın diğer bir önemli faktörü ise lineer motorun çalışma doğrusudur. Yaptığımız seçime göre tubuler tip lineer motor kullanılacağından ve bu tip bir lineer motorun bir eğride çalışamayacağı için, düz bir doğru üzerinde çalışmalıdır. Dolayısıyla, merdiven eğim açısının ve motor çalışma doğrusunun düz zemine göre eğimleri birbirinden farklı olacaktır.

Mevcut yükün daha rahat taşınabilmesi ve iyi bir klavuzlama yapılabilmesi için üç adet kızak kullanılacaktır. Bu kızaklardan bir tanesi tabana monte edilecek olup, diğer iki tanesi duvara, duvar veya kolon bulunmuyorsa da taşıyıcı ayaklara monte edilecektir. Duvara monte edilecek olan kızaklar “c profil” formunda olacak olup, tabana monte edilecek olan kızak “u profil” formunda olacaktır.

C profiller birbirlerine paralel ve aynı zamanda lineer motor çalışma doğrusuna da paralel olacaklardır.

Tabana monte edilecek olan u profil ise taban formunu takip edecek, yani merdiven eğiminde olacaktır.

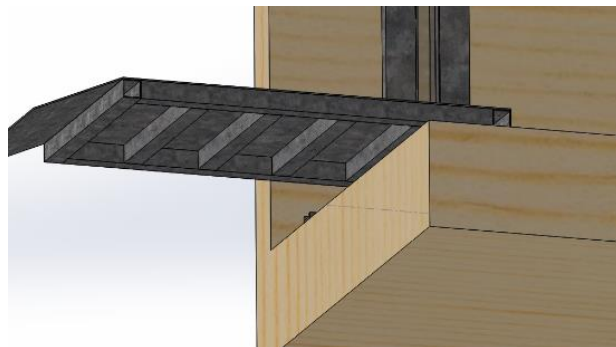


Şekil 4.21 Lineer motor kızakları ve eğimi.

Lineer motor tasarımından önce, tezin başında yaptığım kabullerden bir tanesi de merdiven ebatları ve eğimidir. Bu kabule göre merdiven 3000mm' yi toplam 15 basamakta ve 67°'lik bir açıyla çıkacaktır.

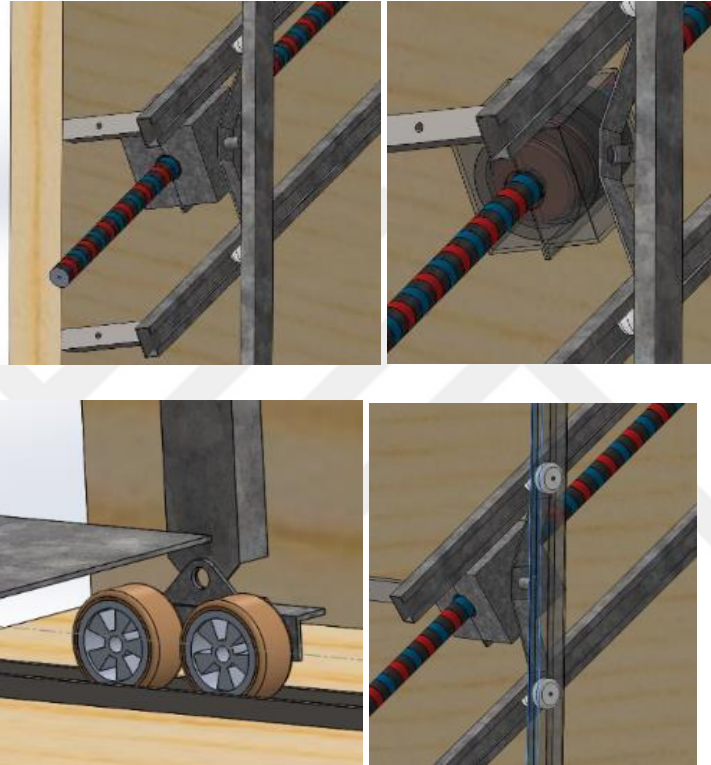
Platform tasarımı yapılırken taşınacak olan tekerlekli sandalye ölçüleri baz alınmalıdır. Daha önce belirtildiği üzere ve TS 9111:2011' e göre kaldırma platformu 800mm ve 300mm ölçülerinde yapılmalıdır.

Kaldırma platform 5mm galvaniz sacdan tasarlanmasına rağmen, üzerine konulacak olan 150kg'lık bir yükü eğilmesi veya çalışmaması ihtimaline karşı sacın alt kısmında destek profilleri kaynatılmalı, monte edilmelidir.



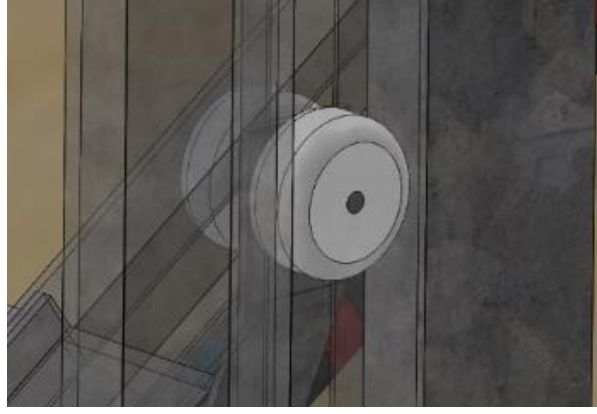
Şekil 4.22 Kaldırma platformu destek profilleri SW çizimi.

Kaldırma platform ve 3 adet kızak birbirlerine bağlanması ve bir bütün içinde çalışması için taşıyıcı bir kızak daha tasarlanmalıdır. Yani platformu bağlayacağımız dördüncü bir kızak gerekmektedir. Piyasada, hali hazırda kullanılan diğer modellerde sadece 2 kızak kullanılmasına rağmen bu tasarımda 4 kızak kullanılmalıdır. Bunun en büyük sebebi lineer motor açısı ile merdiven eğim açısının farklı olmasıdır.



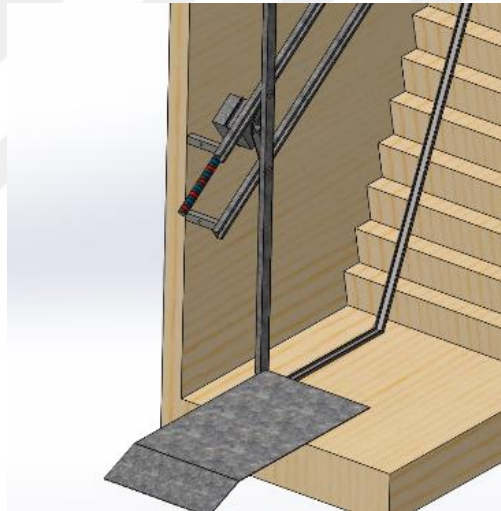
Şekil 4.23 Dört adet kızıağın birbiri ile uyumlu çalışmasını gösteren SW çizimi.

Hem 43°'li taşıyıcı kızaklarda taşıma işleminin yapılması, hem de taşıyıcı dikey kızakta itme işleminin yapılabilmesi için çift tekerlek tasarımı yapılmıştır. Bu tekerleklerde farklı yönlerde kuvvetler oluşmaktadır. Bu tasarım sayesinde yükün yukarı veya aşağıya taşınımı sağlanırken, farklı açılardan oluşan merdiven ve lineer motor çiftinin de uyumlu çalışması amaçlanmaktadır.



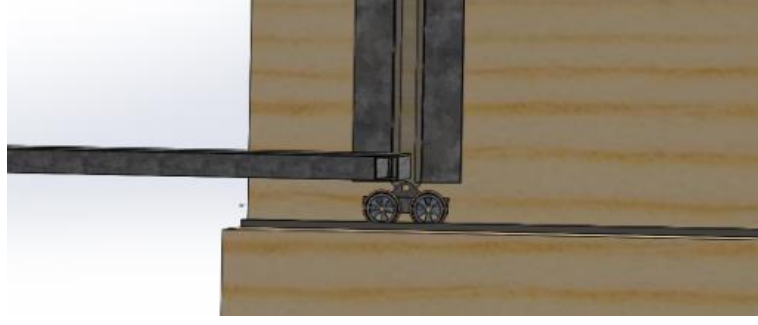
Şekil 4.24 İkili tekerlek tasarımını gösteren SW çizimi.

Motordan alınan tahrik bükümlü bir sac ile tekerleklere iletilirken, farklı düzlemlerde çalışan ve platformun hareket etmesini sağlayan çift tekerlek sistemi olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım sürtünme kuvvetini arttırmakla beraber, taşıyıcı dikey c profilin kurtulmasını veya çalışmamasını engellemektedir.



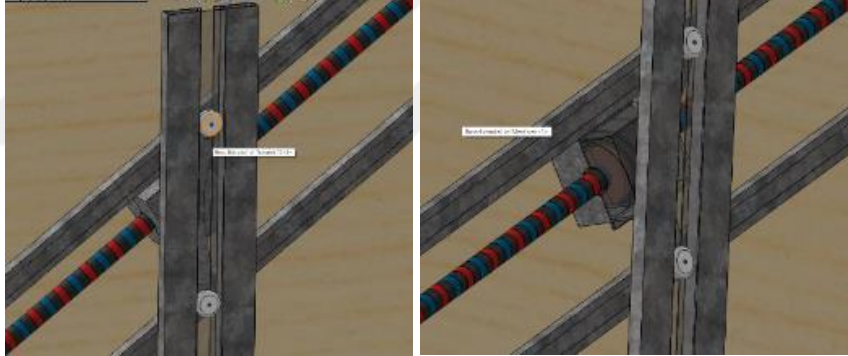
Şekil 4.25 Kaldırma platformunun taşıyıcı dikey kızağa monte edilmesini gösteren SW çizimi.

Kaldırma platformu altında bulunan taban kızağında da çift tekerlek kullanılmış, bir ara braketle birbirlerine bağlanmış ve tekerlekler arasında bir rulman vasıtası ile de taşıyıcı dikey kızağa bağlanmıştır. Bu sayede merdiven tırmanırken veya merdivenden aşağı inilirken daha az titreşimsiz ve güvenli bir hareket ön görülmüştür.

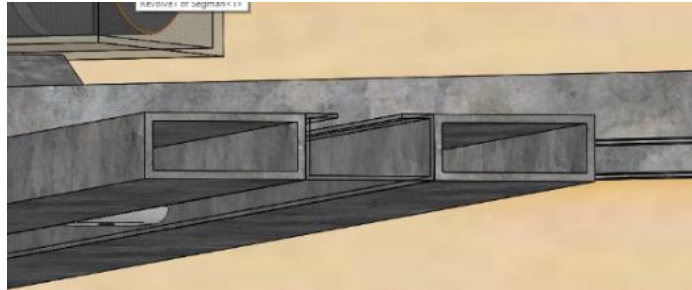


Şekil 4.26 Kaldırma platformunun taşıyıcı dikey kazağa monte edilmesini gösteren SW çizimi.

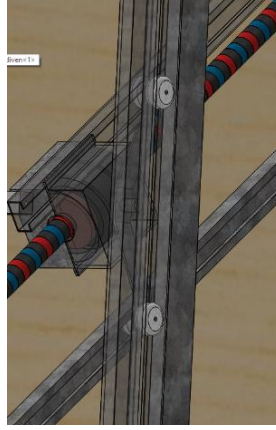
Taşıyıcı dikey kızak, hem yatay itme hareketinden dolayı motordan gelen kuvvetlere dayanması, hem de taşınacak olan yükten dolayı oluşacak dikey yükten dolayı, mukavemetin arttırılması için dikey kazağın ilave profillerle desteklenmesi gerekmektedir. Bu durumda taşıyıcı dikey kazağın iki yanına birden aynı derinlikte (40mm), fakat farklı kalınlıkta (5mm) 100mm x 40mm ölçülerinde dikdörtgen profil kullanılmıştır.



Şekil 4.27 Taşıyıcı dikey kazağa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen profilleri gösteren SW çizimi.



Şekil 4.28 Taşıyıcı dikey kazağa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen profilleri gösteren SW çizimi.



Şekil 4.29 Taşıyıcı dikey kızağa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde kutu profilleri gösteren SW çizimi.

4.4 Tasarım Sonrası Kontrollerin ve Düzeltmelerin Yapılması

Tasarım çalışmasından sonra, yükün en çok bineceği parçaların, yani kızakların mukavemet analizi yapılmalıdır. Tasarım ana hedeflerimizden olan en az 10 yıl çalışma ömrü olduğundan, sac parçaların dayanım analizi yapılmalıdır. Bu analiz çalışmasına göre dayanım arttırmak için tasarım tekrar düzeltilebilir, değiştirilebilir.

Bu durumda aşağıdaki parçalarda mukavemet hesabı yapılmalıdır.

- Platform altında bulunan kutu profillerde,
- Taşıyıcı dikey kızakta ve destek kutu profillerinde,
- Duvara monte kızakta, mukavemet hesabı yapılır.

4.4.1 Kaldırma Platformu Altında Bulunan Kutu Profillerin Mukavemet Hesabı

Kaldırma platformu altında bulunan kutu profillere, bir tekerlekli sandalyede 4 adet tekerlek olduğundan, her bir kenarına, en fazla tekerlekli sandalyede bulunan yükün $\frac{1}{4}$ 'ü kadar yük etkimektedir.

Kutu profil ölçüleri olarak da 60 x 60 x 3mm seçilmiştir.

Diğer ölçülerde;

$$A_{kp}: \text{Kutu Profil Alanı} = 6,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

I_{kp} : Kutu Profil Atalet Momenti = $35,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

W : Platform üzerine etkiyen toplam ağırlık = 1500N

L : Kutu Profil Uzunluğu = 800mm = 0,8 m

a : Yükün Kutu Profil Kenarına olan uzaklığı = 25mm = 0,025m

E : Kutu Profil Elastisite Modülü = 200 GPa = $200 \cdot 10^9 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$

W_{kp} : Kutu Profil Birim Metre Ağırlığı = 5,19 kg/m

$$\theta_A' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} \quad (4.35)$$

$$\theta_A' = -\frac{375 \cdot (0,025)^2}{2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 35,1 \cdot 10^{-8}} = -0,167 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\gamma_A' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} \quad (4.36)$$

$$\gamma_A' = -\frac{375 \cdot (0,025)^3}{3 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 35,1 \cdot 10^{-8}} = -0,00028 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\theta_A'' = -\frac{375 \cdot (0,775)^2}{2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 35,1 \cdot 10^{-8}} = -16,01 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

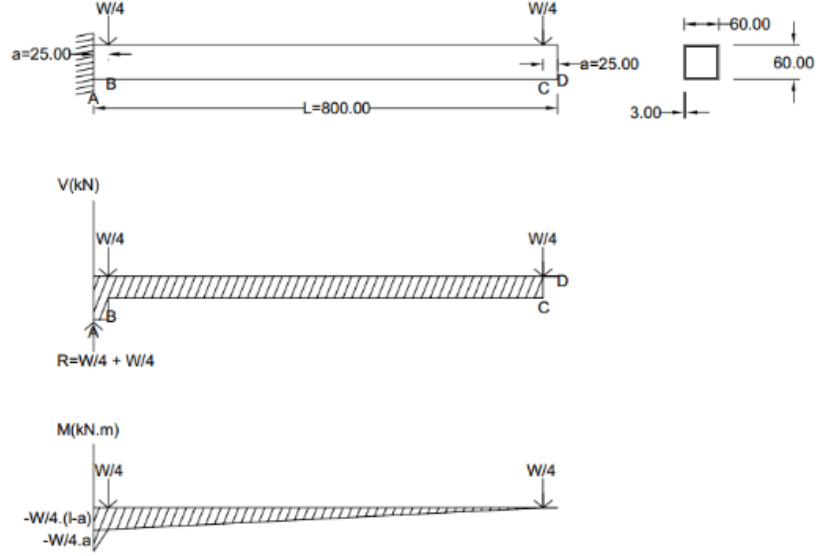
$$\gamma_A'' = -\frac{375 \cdot (0,775)^3}{3 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 35,1 \cdot 10^{-8}} = -8,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\theta = \theta_A' + \theta_A'' \quad (4.37)$$

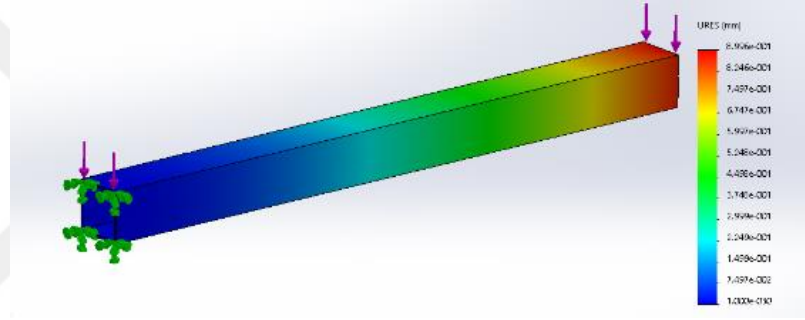
$$\theta = -16,207 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\gamma = \gamma_A' + \gamma_A'' \quad (4.38)$$

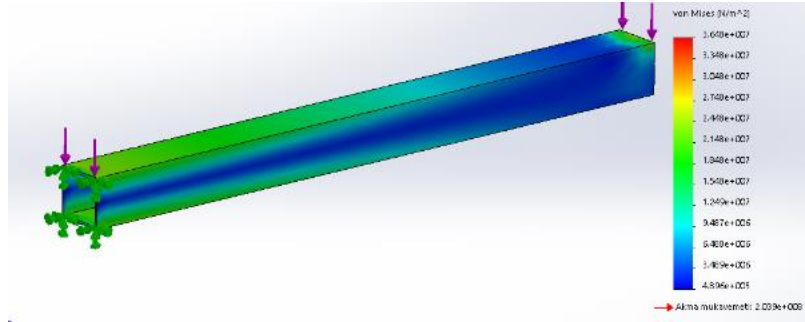
$$\gamma = -0,83 \text{ mm}$$



Şekil 4.30 Kutu profil kuvvet ve moment diyagramı.



Şekil 4.31 SW programında yer değiştirme simülasyonu.



Şekil 4.32 SW programında gerilme simülasyonu.

4.4.2 Taşıyıcı Dikey Kızakta Mukavemet Hesabı

Bir önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, taşıyıcı dikey kızak yanlarına dayanımı arttırmak ve olası yamulma ve kırılmaları önlemek için 100 x 40 x 5mm ölçülerinde dikdörtgen profiller kaynatılmıştır.

Diğer ölçüler de;

L_{ak} : Ana Kızak Toplam Uzunluğu = 2,5 m

a: Birinci Kuvvetin Mesnete Olan Uzaklığı = 2,4 m

b: İkinci Kuvvetin Mesnete Olan Uzaklığı = 2 m

$I_{c \text{ profil}} (I_1)$: C Profil Atalet Momenti = $31,95 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

E: C Profil ve Dikdörtgen Profil Elastisite Modülü = 200 GPa = $200 \cdot 10^9 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$

$I_{dikdörtgen \text{ profil}} (I_2, I_3)$: Dikdörtgen Profil Atalet Momenti = $136 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

$i_{c \text{ profil}} (i_1)$: C Profil Atalet Yarıçapı = 2,68 cm

$i_{dikdörtgen \text{ profil}} (i_2, i_3)$: Dikdörtgen Profil Atalet Yarıçapı = 3,31 cm

$A_{c \text{ profil}} (A_1)$: C Profil Kesit Alanı = $4,44 \text{ cm}^2$

$A_{dikdörtgen} (A_2, A_3)$: Dikdörtgen Profil Kesit Alanı = $12,4 \text{ cm}^2$

t_1 : C Profil Et Kalınlığı = 3 mm

t_2 : Dikdörtgen Profil Et Kalınlığı = 5 mm

W_1 : C Profil Birim Metre Ağırlığı = 3,48 kg/m

W_2 : Dikdörtgen Profil Birim Metre Ağırlığı = 9,7 kg/m

W : Toplam Kuvvet = 2000N

$W/2 = 1000\text{N}$

Üç parça birbirlerine kaynak yapıldığından üç parçanın bir arda atalet momenti bulunmak istenirse;

Toplam Atalet Momenti Hesaplama (I_T):

$$I_T = \left[I_1 + A_1 \cdot \left(\frac{i_1}{2} \right)^2 \right] + 2 \cdot \left[I_2 + A_2 \cdot \left(\frac{i_2}{2} \right)^2 \right] \quad (39)$$

$$I_T = \left[31,95 + 4,44 \cdot \left(\frac{2,68}{2} \right)^2 \right] + 2 \cdot \left[136 + 12,4 \cdot \left(\frac{3,31}{2} \right)^2 \right] =$$

$379,85 \text{ cm}^4$

Sehim hesaplama denklem (4.35), denklem (4.36), denklem (4.37) ve denklem (4.38)' de değerler yerine yazılırsa;

$$\theta_A' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{1000.(2)^2}{2.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,0026 \text{ rad}$$

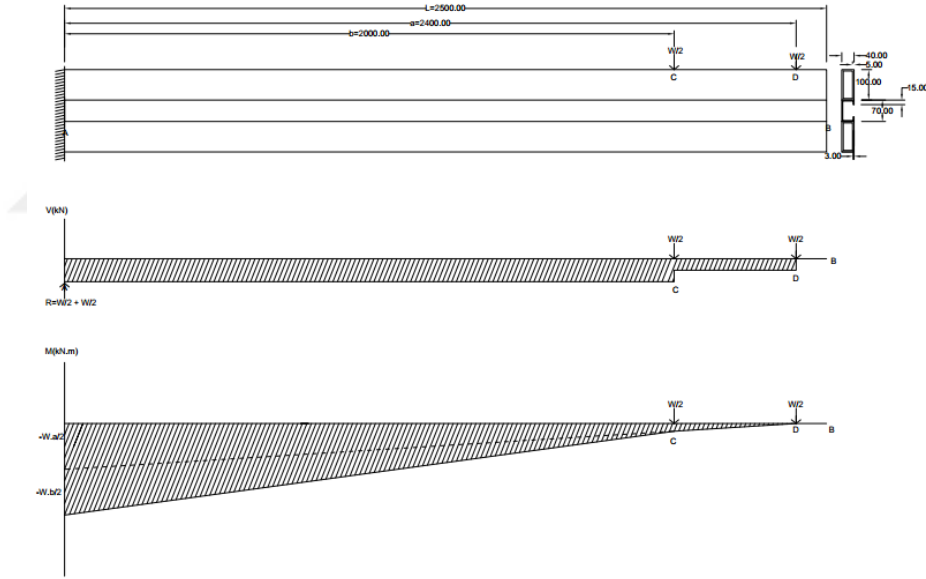
$$\gamma_A' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{1000.(2)^3}{3.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,0035 \text{ m}$$

$$\theta_A'' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{1000.(2,4)^2}{2.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,00379 \text{ rad}$$

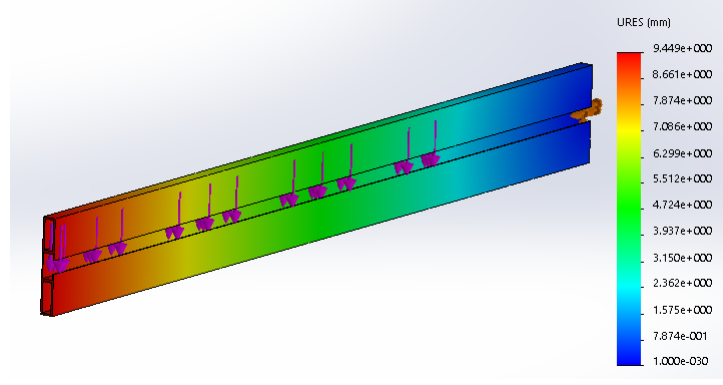
$$\gamma_A'' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{1000.(2,4)^3}{3.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,006 \text{ m}$$

$$\theta = \theta_A' + \theta_A'' = -0,0064 \text{ rad}$$

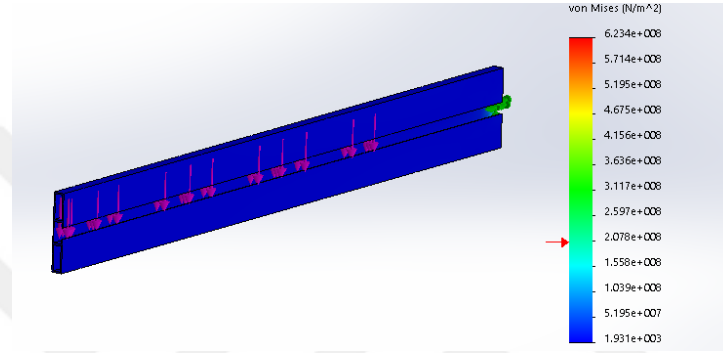
$$\gamma = \gamma_A' + \gamma_A'' = -0,95 \text{ mm}$$



Şekil 4.33 Taşıyıcı dikey kızak kuvvet ve moment diyagramı.



Şekil 4.34 SW programında yer değıştirme simülasyonu.



Şekil 4.35 SW programında gerilme simülasyonu.

4.4.3 Duvara Monte Kızakta Mukavemet Hesabı

Duvara monte kılavuz kızaklarını, 3000N'luk bir yükün rahat taşınabilmesi ve herhangi bir hata olmaması için 500mm aralıklarla duvara ankrajlanmıştır.

Taşıyıcı olarak toplam 3 kızak olduğundan, bir kızağa etkiyecek olan toplam yükün 1/3' ü kadar olacaktır.

Diğer ölçüler ise;

$L/2$: Kuvvetin Mesnete Olan Uzaklığı = 0,25 m

$I_{c \text{ profil}}$: C Profil Atalet Momenti = $31,95 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

E : C Profil Elastisite Modülü = 200 GPa = $200 \cdot 10^9 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$

$A_{c \text{ profil}}$: C Profil Kesit Alanı = $4,44 \text{ cm}^2$

t : C Profil Et Kalınlığı = 3 mm

W_1 : C Profil Birim Metre Ağırlığı = 3,48 kg/m

W: Toplam Kuvvet = 2000 N

$$W/3 = 666\text{N}$$

$$R_A = R_B = P/2$$

$$M_C = \frac{P.L}{4} \quad (4.40)$$

Şekil 4.36'daki moment grafiğindeki alan bulunurken;

$$A = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \frac{P.L}{E.I} \right) \cdot \frac{L}{2} = \frac{P.L^2}{16.E.I} \quad (4.41)$$

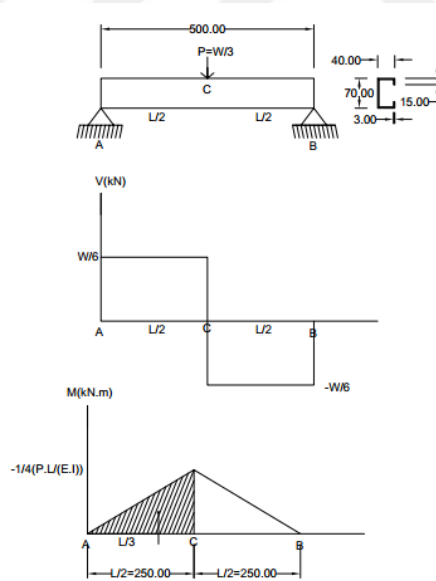
θ_C sıfıra eşit olduğundan;

$$\theta_A = \theta_C - \theta_C \quad (4.42)$$

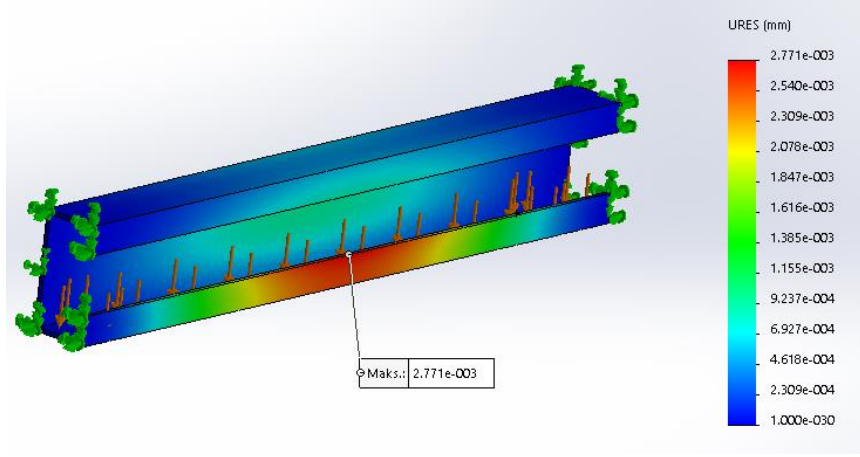
$$\theta_A = 0 - \frac{P.L^2}{16.E.I} = -0,16.10^{-3} \text{ rad}$$

$$\gamma_A = -A \cdot \frac{L}{3} \quad (4.43)$$

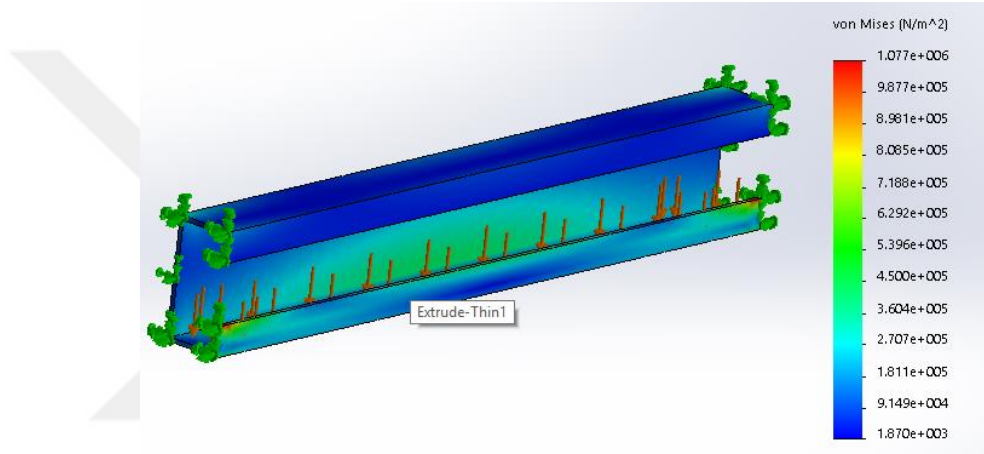
$$\gamma_A = -\frac{P.L^2}{48.E.I} = -0,0000027 \text{ m} = 0,0027\text{mm}$$



Şekil 4.36 C profil, kızak kuvvet ve moment diyagramı.



Şekil 4.37 SW programında yer değiştirme simülasyonu.



Şekil 4.38 SW programında gerilme simülasyonu.

Sonuç olarak, bu üç ayrı parçada yapılan mukavemet analizine göre parçaların hedeflenen tasarım ömrüne uygun olduğu gözlemlenmiştir. Herhangi birinde değişiklik veya düzeltme yapmaya gerek kalmamıştır.

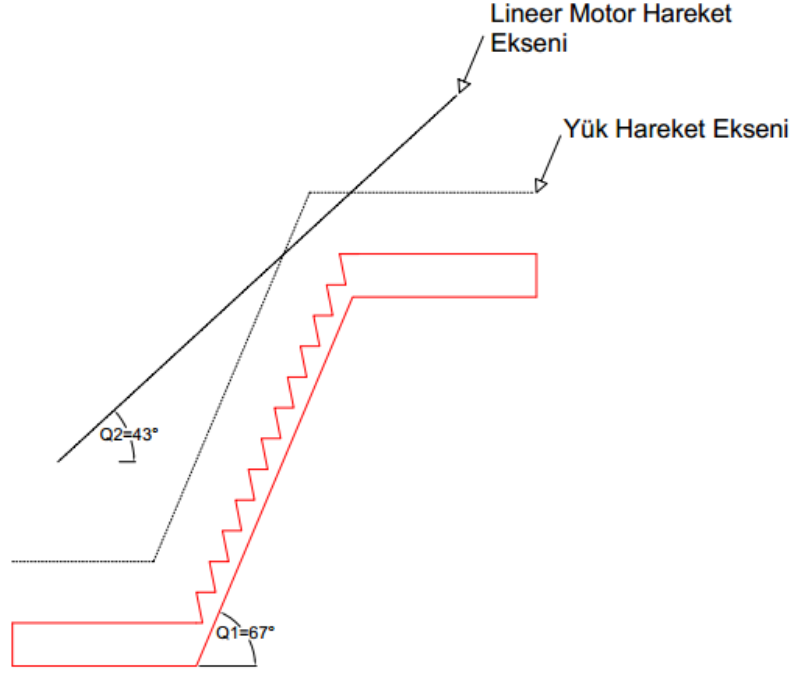
Lineer motorlar yakın geçmişimize kadar kullanımı çok yaygın olmamalarına rağmen, günümüzde hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek hassasiyet, arada herhangi bir dişli vs. olmaması ve seri üretim koşullarına uygunluğu dolayısıyla kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır.

Bu tezde lineer motorla tahrik olan merdiven asansörü tasarımı yapılmış olup, lineer motorun ebatları, tasarımın başındaki tasarım hedefleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu kabullerin tasarımı doğrudan etkilediği gözlenmiş olup merdiven gibi dar bir alanda çalışacak olan sistemimizde motor ebatları ve hacmi çok önemli olduğundan, motordan istenilen gücün optimum olması gerekmektedir.

İstenilen kuvvetle, mıknatıs dış yarıçapı arasında doğru orantılı bir bağ bulunduğu gözlemlenmiştir. İstenilen kuvvet arttıkça, lineer motor boyutları da orantılı olarak artmaktadır. İstenilen kuvvet azaldığında sadece mıknatıs dış yarıçapı değil lineer motorun bobin sarım sayısı ve armatür çapı da azalacaktır. Bu durumda taşıma ve kılavuzlama için kullanılan kızakların et kalınlıkları veya formları da azalacaktır.

Tüp şeklinde lineer motor kullanımı ise, manyetik alanın kullanımı arttırmakla beraber, boyutsal olarak sığmaması gibi bir durum yaratmamıştır. Dar bir bölgede, alanı daha fazla daraltmadan, kayış, kasnak gibi hareketin iletilmesini sağlayacak ara mekanik ekipman kullanılmadan, yani verim düşmeden kılavuzlama ve hareket sağlanabilmektedir.

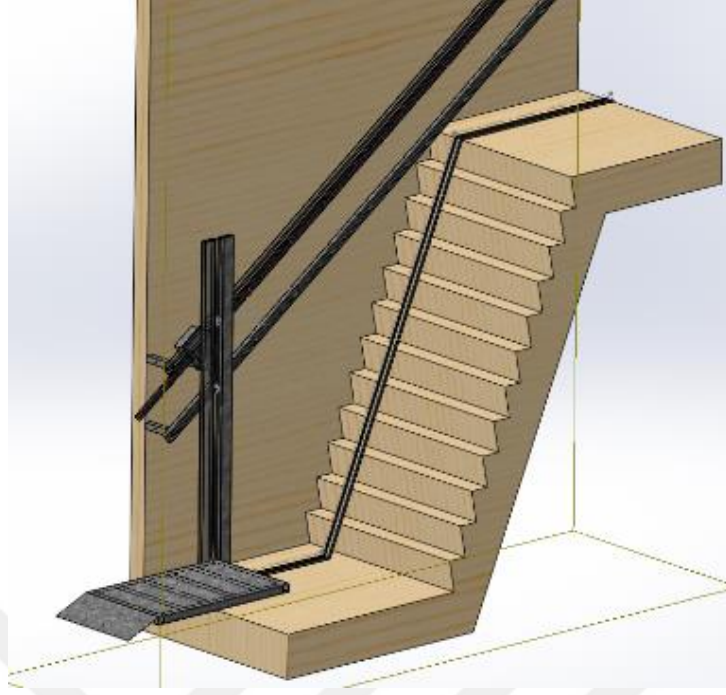
Eksenel tip mıknatıs dizgesi ise, flat lineer motorlarda daha fazla güç elde edilebilecek Halbach dizgesine göre, tubular lineer motorlarda kullanımı önerilmektedir. Bu tezde, FEMM programıyla yapılan karşılaştırmalı FE analizi de bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 5.1 Hareket eksenleri farklılığı.

Lineer motorlarda dönüş yapılamaması, yani sabit mıknatısların kıvrılamaması dezavantajına rağmen, merdiven asansörlerinde teorik olarak lineer motorun kullanılabileceği ispatlanmıştır. Bunun sonucu olarak Şekil 5.1’ te de gösterildiği üzere, merdiven eğiminin, lineer motor tırmanma açısından farklı olması, yani merdiven eğimi 67° iken, lineer motor çalışma doğrusunun tabanla yaptığı açı 43° olduğu gözlemlenmiş olup, tez hedefine ulaşılmıştır. Teorik olarak engelli merdiven asansöründe lineer motor kullanılabileceği ispatlanmıştır.

Bu tezle beraber, geliştirilmesi gerektiğini düşündüğüm konular ise, mıknatısların açıkta ve ulaşılabilir bir yükseklikte olması diğer bir dezavantajdır. Öyle ki bu durum, mıknatısların kirlenmesinden dolayı hem motorun çalışmasını etkileyebilir hem de cep telefonu gibi manyetik alandan etkilenebilecek cihazların bozulmasına sebebiyet verebilir. Bu sebepten dolayı, merdiven asansörü gibi insanlarla çok yakın çalışacak lineer motorlarda, mıknatıslar ve motor için manyetik alan izolesi, koruyucusu gerekmektedir.



Şekil 5.2 Genel hatlarında montaj resmini gösteren SW çizimi.

- [1] YAPICI O., “Lineer Motors”, <http://oytunyapici.net>, erişim tarihi 15.09.2018.
- [2] WIKIPEDIA, “Lineer Induction Motor”, <http://www.wikizeroo.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTGluZWZyX2luZHVjdGlvbl9tb3RvcnM>>, erişim tarihi 01.10.2018.
- [3] KAZAN E., “Design And Implementation of a Linear Motor For Multi-Car Elevators”, Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 1-17, İstanbul, 2009.
- [4] ÇEPNİ M. E., “Lineer Servo Motor ve Kontrolü”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kontrol ve Otomasyon Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 7-17, İstanbul, 2010.
- [5] TOPALOĞLU İ. ve GÜRDAL O., “Lineer Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Tasarımı ve Eşdeğer Devre Modeli Kullanarak Geliştirilmiş Fırlatma Performansı İçin Boyut Optimizasyonu”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 28, No 1, Syf. 103-113, Ankara, 2012.
- [6] HURMADALOĞLU R. ve DOKUZ E. O., “Lineer Motor ile Levha Hareketi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi Projesi, Syf. 5-35, Trabzon, 2012.
- [7] KARAYAĞIZ K., “Network Topologies For Long Armature Linear Motors”, Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 1-40, İstanbul, 2013.
- [8] TAŞKIN Ö., “Design And Implementation Of A Double-Sided Coreless Linear Motor”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 1-17, İstanbul, 2015.
- [9] TUNCAY M. T., “Sabit Mıknatıslı DC Lineer Motor Tasarımı ve Denetimi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Syf. 1-170, Ankara, 2016.
- [10] BOZBUĞA F., “Yaşlı ve Engelliler İçin Merdiven Asansörü Geliştirme”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 1-78, Ankara, 2018.
- [11] MEMİŞ Ö., “Maglev Asansörleri”, <https://aktif.net/tr/Aktif-Blog/Teknik-Makaleler/Lineer-Motorlar-Ile-Levitasyon-Uygulamalari-Maglev-Trenleri-Maglev-Asansorleri>, erişim tarihi 15.10.2018.
- [12] NASAR S.A. ve BOLDEA I., Linear Motion Electric Machines, 2. Baskı, New York, 1976.
- [13] GIERAS J.F., PİECH Z.J., TOMCZUK B., “Linear Synchronous Motors”, Syf.1-429, 1999.

- [14] ELEGA, "Lineer Motion Systems Bridge Ballscrew Module" <https://www.elega.lt/en/linear-motion-systems-bridge-ballscrew-module-90x90>, erişim tarihi 18.10.2018.
- [15] BAHRIYE ENSTİTÜSÜ, "Çok Maksatlı Amfibi Hücum Gemisi", <https://bahriyeenstitusu.org/2018/09/27/deniz-kuvvetleri-tcg-anadolu-ile-ne-kazanacak/>, erişim tarihi 20.10.2018.
- [16] KAZAN Ö., ONAT A., "Modeling of Air Core Permanent-Magnet Linear Motors with a Simplified Nonlinear Magnetic Analysis", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.47, No.6, pp 1753-1762, 2011
- [17] ÖZGÜL A., "Engelli Asansörü Nedir", <https://blog.aslanozgul.com/tanitim-yazilari/engelli-asansoru-nedir-engelli-asansoru-fiyatlari.html>, erişim tarihi 22.10.2018.
- [18] ENGELLİ ASANSÖRLERİ, "Dikey Sistemler", <https://www.engelliasansorsistemleri.com/?newUrun=1&Id=1227404&CatId=bs316569&Fstate=&/HOME-L%C4%B0FT-EV-ASANS%C3%96R%C3%9C>, erişim tarihi 23.10.2018.
- [19] DİNÇ N., "Engelliler İçin Koltuk-Platform Tipi Asansörler ve Hiro-Lift Asansör Sistemleri", AKE Asansör Malzemeleri Ltd. Şti., İstanbul, 2010.
- [20] PAHL, G. ve BEİTZ, W., "Engineering Design", The Design Council, Springer-Verlag, London, 1988.
- [21] MAYDA M., BÖRKLÜ H. R., "Yeni ve İnovatif Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli ile Su Filtresi Tasarımı", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Ankara, 2014.
- [22] NASİR N., AZHAR F., "Design of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for High Thrust and Low Cogging Force Performance", Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 63, 83-92, 2018
- [23] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, "Özürllüler ve Hareket Kısıtlığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere - TS 9111:2011", Ankara, 2011

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: onuroruc85@hotmail.com

Makaleler

1. Osman Onur Oruç, Prof. Dr. Ferhat Dikmen, “Disable Stair Lift Design With Linear Motor”, International Journal Of Engineering Research and Application, Volume 9 – Issue 5 (Part – 3) May 2019

