



## Lineer Motorlu Engelli Asansörü Tasarımı

### *Disable Stair Lift Design with Linear Motor*

Osman Onur ORUÇ<sup>1,\*</sup> , Ferhat DİKMEN<sup>2</sup> ,

<sup>1</sup> Makine Mühendisliği ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7855-1943

<sup>2</sup> Makine Mühendisliği ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2808-2194

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/01/2019

Kabul Tarihi : 30/06/2020

#### Anahtar Kelimeler

Engelli Asansörü  
Engelli Merdiven Asansörü  
Lineer Motor  
Tubular Lineer Asenkron Motor

#### Özet

Lineer motorlar günümüzde hassas üretim süreçleri başta olmak üzere, maglev trenleri, tıbbi cihazlar, savunma sanayii, tekstil sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. 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 çalışmada, lineer motor yapısı, engelli asansörlerin kullanım amacı ve genel olarak yapısı ile lineer motorun yapısı itibariyle yapımı zor olan ve daha önce yapılan tezlerde konu olmamış, lineer motorlu bir engelli asansörü tasarım yapılacak olup ve sonuçları incelenecektir.

#### Research Paper

Received Date : 24/01/2019

Accepted Date : 30/06/2020

#### Keywords

Disable Lift  
Disable Stair Lift  
Linear Motor  
Tubular Linear Synchronous Motors

#### Abstract

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. In this study will be mentioned about structures of linear motor and disable lift and will prove the possibility of the design of disable stair lift with linear motor, which the design is not used or subjected of any other thesis due to structure of the linear motor.

## 1. Giriş

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 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 çalışma 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.

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda güncel

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): onuroruc85@hotmail.com



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.

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, IEEE' den aşağıdaki tezler dikkate alınmıştır.

Kazan (2009), "Çok kabinli asansörler için lineer motor tasarımı ve uygulaması" Çok kabinli asansör sistemleri, aynı anda birden fazla asansörün bir asansör boşluğunda birbirlerinden bağımsız olarak kullanılmasındır. 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.

Çepni (2010), "Lineer servo motor ve kontrolü" 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.

Topaloğlu (2012), "Lineer elektromanyetik fırlatıcı sistem tasarımı ve eşdeğer devre modeli kullanarak geliştirilmiş fırlatma performansı için boyut optimizasyonu" Bu çalışmada, insansız hava araçları için mekanik fırlatma sistemlerine alternatif olarak elektromanyetik bir fırlatıcı sistemde kullanılmak üzere tek taraflı lineer indüksiyon motor tasarlanmıştır.

Hurmadaloğlu (2012), "Lineer motor ile levha hareketi" Projemizin konusu doğrusal hareketli asenkron makine ile levha hareketi sağlamaktır. Doğrusal hareketli motor klasik döner hareketli motorun ortadan kesilip açılmış haline benzer. Amacımız 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.

Karayağiz (2013), "Uzun armatürlü lineer motorlar için

ağ topolojileri" 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. 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

Taşkin (2015), "Çift taraflı hava çekirdekli lineer motor tasarımı ve gerçekleşmesi çift taraflı hava çekirdekli lineer motor tasarımı ve gerçekleşmesi" 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.

Tuncay (2016), "Sabit mıknatıslı DC lineer motor tasarım ve denetimi" Bu tez 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. Bu çalışmada geliştirilen DC lineer motor ise söz konusu ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliktedir.

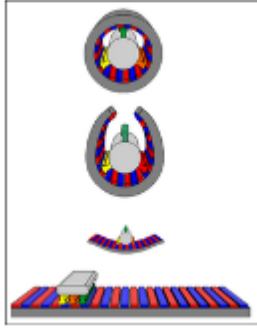
Bozbuğa (2018), "Yaşlı ve Engelliler İçin Merdiven Asansörü Geliştirme" Toplumu oluşturan tüm bireylerin her türlü fırsat ve imkânlardan eşit derecede faydalanmaları gerekir. Bu konu, hem ulusal hem de uluslararası çeşitli hak ve yasalarca da güvence altına alınmıştır. Son yasal düzenlemelere göre 2012 yılından itibaren ülkemizdeki tüm genel/kamu binaları, ortak alanlar/yapılar vb. yerlerde ortopedik/diğer engellilerin ulaşımını mümkün kılacak altyapı ve imkânların olması gerekir. Yukarıdaki tespitlerden hareketle bu çalışma 'Yaşlı ve Engelliler için Merdiven Asansörü Geliştirme' amaçlı bir araştırmayı içermektedir.

## 2. Lineer Motor

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.

Lineer motorlar, yani lineer endüktans motorlar, alternatif akım (AC) ile çalışan asenkron motorlardır. Çalışma prensipleri endüktans motorlarla aynı olup 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].

## 2.1. 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.

## 2.2. Lineer Motor Çeşitleri

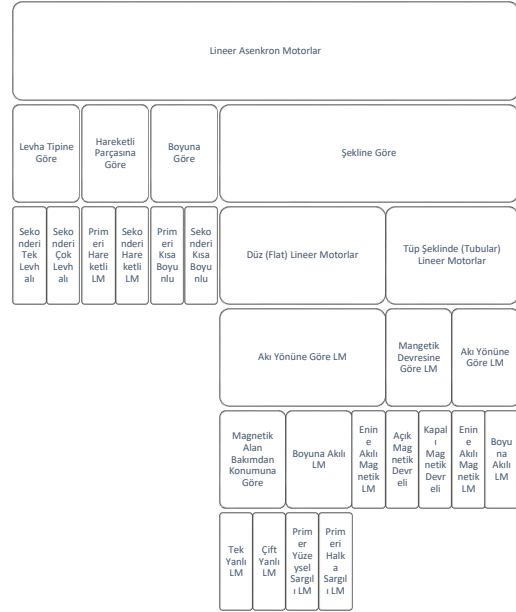
Lineer asenkron motorlar Çizelge 2.1'de de görülebileceği gibi levha tipine, hareketine, boyuna ve şekline olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır.

Levha tipine göre lineer motorlar iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar, sekonderi tek levhalı ve sekonderi çok levhalı 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.

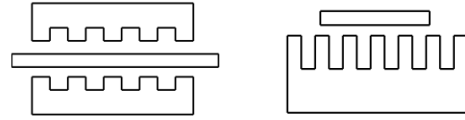
Lineer motorlar sekonderi veya primeri hareketli olmasına göre de sınıflandırılıyor. Genellikle primeri (bobin) hareketli tipler çok daha az maliyetli ve üretimi daha kolay olduğundan dolayı tercih edilirler. Primeri hareketsiz, sekonderi hareketli lineer motorlarda, her bir

sargıda ayrı ayrı kontrol ve sistemin genelinde ayrı bir kontrol gerektirdiğinden, otomasyon çok daha zordur.

Çizelge 2.1 Lineer motorların sınıflandırılması [5].

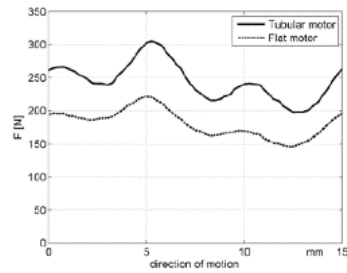


Diğer bir lineer motor sınıflandırması ise primer veya sekonder boyuna göre yapılmaktadır. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' de görüleceği gibi primerin ve sekonderin boylarına göre sınıflandırılır. Sekonderi kısa tip lineer motorlar, kısa mesafede çok yüksek hızda, hassasiyette veya kuvvette bir hareket gerektiği durumlarda tercih edilebilir.



Şekil 2.2 Primeri kısa boyunlu LM(solda) Sekonderi kısa boy LM [5].

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 2.3 Düz (flat) ve tüp şeklinde (tubuler) lineer motor arasındaki kuvvet farkı [6].

### 2.3. 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 2.4 Lineer motorlu bir takım tezgâhi örneği [7].

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



Şekil 2.5 Yapımı devam eden TCG Anadolu gemisinin uçak kalkışı rampasında kullanılan LM [8].

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 2.6 Sabancı Üniversitesi tarafından yapılan, lineer motorla çalışan bir asansör için deneme sürüşü [9].

### 2.4. 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.

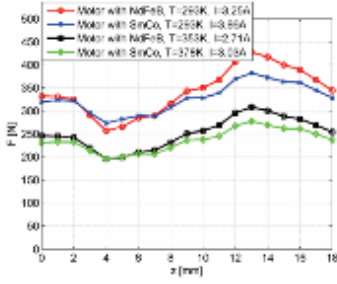
Lineer asenkron motorların, döner hareketli endüktans motorlara göre dezavantajları;

- 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.

**Çizelge 2.2** Hidrolik, pnömatik ve lineer motor sistemlerinin kıyaslanması [10].

	Pnömatik	Hidrolik	Yuvarlak tipli Doğrusal Motor	Düz Tipi Doğrusal Motorlar
Azami Hız	İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Azami Güç	Orta	Çok İyi	İyi	Orta
Hassasiyet	Orta	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Posisyonlama	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

**Çizelge 2.3** Sıcaklığa bağlı olarak doğal mıknatısın uyguladığı kuvvet değişimi [6].



### 3. 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.

#### 3.1. Engelli Asansörü Çeşitleri

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

##### 3.1.1. Dikey Tip Engelli Asansörü

İç ve dış mekanlara kurulabilen makaslı açık kabin ve hidrolik, vidalı açık kabin gibi modelleri vardır [11]. Bu tip asansörlerde bir yükselti dikey olarak aşılmasının yanında

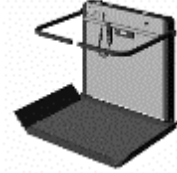
harici olarak merdiven yoktur. Binalara veya iş yerlerine sonradan engelli kullanımı için yapılabilmektedir.

#### 3.1.2. 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 3.1** Platform engelli merdiven asansörü [12].

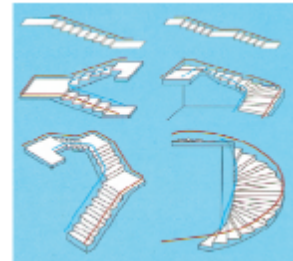
Koltuk Tip: Asansöre dahili olarak koltuk, oturak bulunan, merdiven çıkması zor olan fakat yürüyebilen kişiler için kullanılan asansörlerdir.



**Şekil 3.2** Koltuk engelli merdiven asansörü [12]

#### 3.2. Uygulama Alanları

Engelli asansörleri gelişen teknoloji, üretim kolaylığı sayesinde ve birçok uluslararası firmanın bu sektörde rekabeti sayesinde her tip ve tasarımda merdivende kullanılmaktadır. Şekil 3.3' te birkaç farklı tipte merdiven detayı görülmektedir.



**Şekil 4.5** Engelli asansörleri uygulama alanları [12].

#### 4. Lineer Motorlu Merdiven Asansörü Tasarım

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 [13]. ‘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 [14].

##### 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 tasarımı 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;

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

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

Yine mevcut üreticilerin kataloglarında belirtilen yüklenme kapasitesi genelde 1250N olmasına rağmen, bu

tasarımda yüklem 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: Yükleme Kapasitesi (N) + Teçhizat Ağırlığı (N)  
= 3000 N

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

V: Hız (m/s) = 0,1 m/s

y: Kat Yüksekliği (m) = 3 m

$x_1$ : Eğimden Önce Yatay Uzaklık (m) = 1 m

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

$x_3$ : Eğimden Sonra Yatay Uzaklık (m) = 1 m

Yukarıdaki bilgilere göre ivme ve hızlarımızı bulmak istersek;

$V_1$ : Kalkış Hızı (m/s) = 0 m/s;

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

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

$V_4$ : Duruş Hızı (m/s) = 0 m/s ise;

$x_1$ ,  $x_2$  ve  $x_3$  için süreleri;

$$t_1 = \frac{x_1}{\frac{V_2 - V_1}{2}} = \frac{1}{\frac{0,1 - 0}{2}} = 20 \text{ s} \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{x_2}{V_3} = \frac{3,26}{0,1} = 32,6 \text{ s} \quad (3)$$

$$t_3 = \frac{x_3}{\frac{V_4 - V_3}{2}} = \frac{1}{\frac{0 - 0,1}{2}} = 20 \text{ s} \quad (4)$$

olarak hesaplanmıştır.

İvme değerleri için;

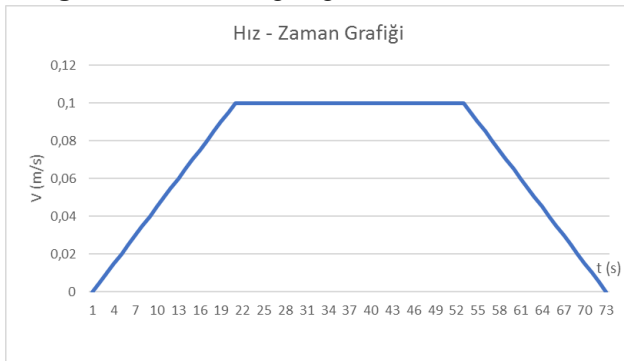
$$a_1 = \frac{V_2 - V_1}{t_1} = \frac{0,1}{20} = 0,005 \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

$$a_2 = \frac{V_3 - V_2}{t_2} = \frac{0}{32,6} = 0 \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

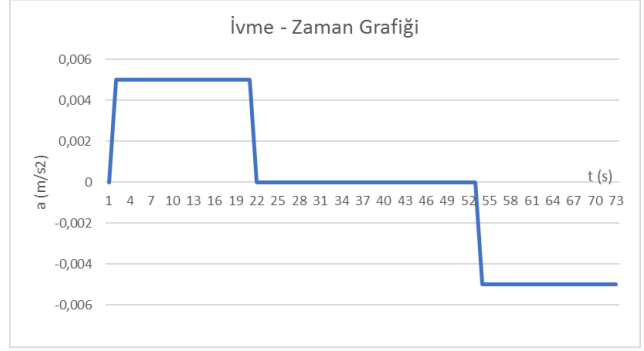
$$a_3 = \frac{V_4 - V_3}{t_3} = \frac{0 - 0,1}{20} = -0,005 \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

Hız - zaman ve ivme zaman grafiklerini çizmek istersek;

**Çizelge 4.1** Hız – zaman grafiği.



**Çizelge 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 Şekil 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.

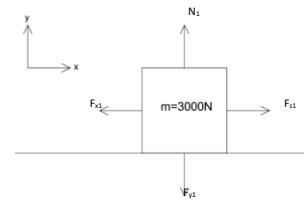
Bu iki farklı durumu, yani hızlanma – sabit hızda gitme – yavaşlama durumu ile yatay ilerleme – eğik düzlemde ilerleme – yatay düzlemde ilerleme durumlarının bir arada düşünersek;

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

#### 4.2.2 Lineer 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  $F_{x_{max1}}$  bulunması;



**Şekil 4.3** Birinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şemal.

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

$$\sum F_{y1} = 0 \quad (8)$$

$$\sum F_{y1} = m \cdot g - N_1 \cdot k_k \quad (9)$$

$$N_1 = m \cdot g \quad (10)$$

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

**Çizelge 4.3** Sürtünme katsayısı tablosu.

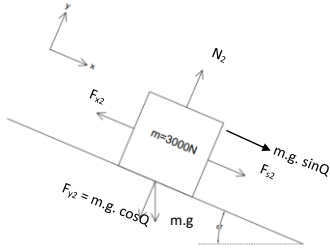
Malzeme çifti	Sürtünme katsayısı		Kajit sürtünme katsayısı		Sürtünme katsayısı		Oranlık malzeme miktarı
	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	Kajit sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	
<b>YAGLI ÇALIŞMA</b>							
Gresli sürtünme katsayısı	0,05...0,10	0,07...0,20	0,10...0,12	0,05...0,06	0,15...0,2	0,3...0,4	0,3...0,4
Sürtünme katsayısı	0,12...0,14	0,12...0,14	0,08...0,10	0,05...0,12	0,2...0,4	0,4...0,6	0,3...0,5
Min. Çevrim hızı (rpm)	40	20	30	20	25	25	40
Min. Hızlı sürtünme katsayısı (MPa)	4	4	2	0,5	2	0,5	1
Her devrimde giren yağ miktarı (litre)	1...2	0,5...1	0,8...1,5	0,3...0,5	1...1,5	0,5...1	2...4
Birim alan başına sürtünme enerjisi (Wh/m <sup>2</sup> )	1,5...2,5	0,7...1,3	1...2	0,4...0,8	1,5...2	1...2	3...5

$k_k =$  Sürtünme katsayısı = 0,3 olarak seçilmiştir.

$$\sum F_{x1} = m \cdot a_1 - (-N_1 \cdot k_k) \quad (11)$$

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

İkinci durumda  $F_{x_{max2}}$  bulunması;



Şekil 4.4 İkinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

Formül (10)' den  $N_2$  bulunmak ve formül (11)' den  $F_{x2}$  bulunmak istenirse;

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

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

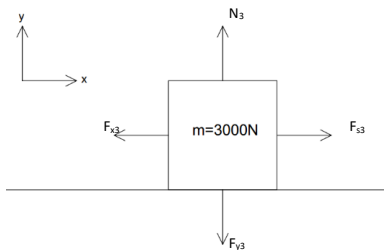
$$N_2 = m \cdot g \cdot \cos Q$$

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

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

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

Üçüncü durumda  $F_{x_{max3}}$  bulunması;



Şekil 4.5 Üçüncü durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

Formül (10)' den  $N_3$  bulunmak ve formül (11)' den  $F_{x3}$  bulunmak istenirse;

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

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

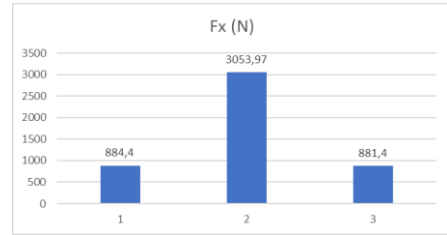
$$N_3 = m \cdot g$$

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

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

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

Çizelge 4.4  $F_x$  grafiği.



Her üç durumda da  $F_x$  değerleri Çizelge 4.4' de belirtildiği üzere, en yüksek kuvvet ihtiyacı ikinci durumda, yani tırmanmanın olduğu durumda olmaktadır.

$F_{ort}$  bulmak için;

$$F_{ort} = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + F_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \quad (12)$$

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

İş; bir yol boyunca harcanan kuvvet olduğundan,

$$W_{ort} = F_{ort} \cdot x_t \quad (13)$$

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

Yine formül (14)' ten her bir durum için iş hesabı [6];

$$W_i = F_i \cdot x_i$$

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

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

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

Güç hesabı içinse,

$$P_{ort} = \frac{W_{ort}}{t_t} \quad (14)$$

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

Yine formül (15)' ten her bir durum için güç hesabı [6];

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

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

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

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



### 4.2.3 Lineer Motor Genel Formülü ve Boyutlandırılması

$V_{DC}$  : Tedarik Edilen Voltaj = 220 V

$I$  : Akım (A)

$R_{rail}$  : Direnç ( $\Omega$ )

$E_{induced}$  : İndüklenen voltaj (V)

$$V_{DC} = I \cdot R_{rail} + E_{induced} \quad (15)$$

$$E_{induced} = B \cdot L \cdot u \quad (16)$$

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

$$P_{in} = V_{DC} \cdot I \quad (17)$$

$$P_{out} = E_{induced} \cdot I \quad (18)$$

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (19)$$

$P_2 = 305,39 W$  olduğundan emniyetli olması açısından;

$$P_{out} = 400 W$$

$$\mu = 0,92$$

Formül (19)' de değerler yerine konursa [6],

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

İstenilen akımı bulmak için formül (17) kullanılırsa [6],

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

$E_{induced}$  bulmak için formül (18) kullanılırsa [6],

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

Formül (16)' da değerler yerine konulup direnç bulunmak istenirse [6];

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

$220 = 1,989 \cdot R_{rail} + 201,1$  ise;  $R_{rail} = 9,50 \Omega$  olarak bulunur.

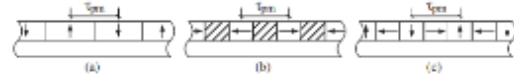
### 4.2.4 Lineer Motor Boyutlandırılması

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 Çizelge 5.5' te de tüp şeklinde lineer motor ile düz lineer motorun, kuvvet

farklılıkları belirtilmiş olup, tüp şeklinde lineer motorun düz bir lineer motora göre, manyetik alanı daha iyi kullandığından oluşturacağı güç daha fazladır.

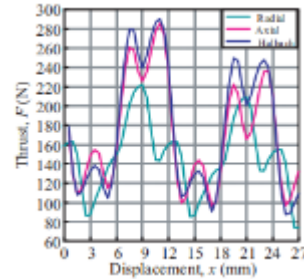
**Çizelge 4.5** Aynı akım girdisine sahip düz (flat) ve tüp şeklinde lineer motorların kıyaslanması [6].

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
$k_c$ (Dalgalanma Kuvveti Sabiti)	-	0,42	0,44
$F_{max}$ (En Büyük Tetikleme Kuvveti)	[N]	20	45
$I_c$ (Armatür Akımı)	A	8	8



**Şekil 4.6** Lineer motorda mıknatıs (a) radyal, (b) eksenel, (c) Halbach dizgesi [15].

Ayrıca tasarımı yapılan lineer motorda eksenel tip mıknatıs yerleşimi yapılmıştır. Lineer motorlarda 3 farklı mıknatıs yerleşimi tipi vardır. Şekil 5.6' da mıknatıs yerleşimi tipleri ve şekilleri gösterilmiştir. Bu şekilde de gösterildiği üzere Halbach tipi mıknatıs yerleşimi (solda, yapıldığında, istenilen kuvvet elde edilememiştir. Halbach dizgesinde üst ve alt yüzeyinde iki farklı manyetik kuvvet oluşmakta ve zayıf yüzey ve kuvvetli yüzey oluşmaktadır. Bu durumda, 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 5.7' de Eksenel ve Halbach dizgeleri, bu tasarım için karşılaştırılmıştır.



**Şekil 4.7** Lineer motor mıknatıs dizgesine göre kuvvet değişimi [15].

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.

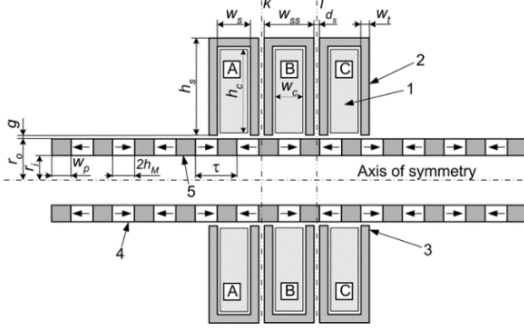
$$F_{\max} = 3053,97 \text{ N} \approx 3100 \text{ N}$$

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 4.8 Tüp şeklinde linear motorun kesit görüntüsü [6].

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, Şekil 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 tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 Doğal mıknatıs mekanik özellikleri [6].

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

Ayrıca yukarıdaki tabloya ek olarak [6];

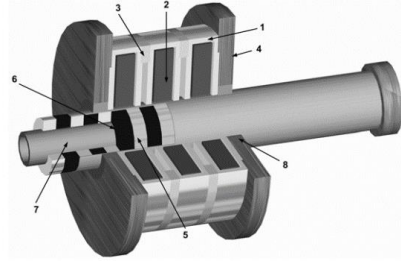
$w$  : Mıknatısların Enerji Yoğunluğu = 400 kJ/ m<sup>2</sup> (NdFeB için)

Enerjinin korunumu yasasına göre, asaansörü hareket ettirmek için gereken toplam mekanik enerjinin mıknatısların depoladığı toplam enerjiye eşit olmalıdır. Elektro magnetik kuvvetle,  $\tau$  kutup aralığında gereken enerji;

$$W = F \cdot \tau = 3100 \cdot 0,05 = 155 \text{ J} \quad (20)$$

$V$ , Enerji yoğunluğunu bulmak için;

$$V = \frac{W}{w} = \frac{155}{400.000} = 3,875 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 3,875 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (21)$$



Şekil 4.9 Tüp şeklinde linear motorun 3D görüntüsü [6].

Tek magnet üzerine düşen enerji yoğunluğunu bulmak için, 3 armatüre 7 magnet üzerinden kabul yapıлып, çalışmaya başlandığından [6];

$$V_m = \frac{V}{7} = \frac{3,875 \times 10^5}{7} = 55.357,142 \text{ mm}^3 \quad (22)$$

Kutup aralığı,  $\tau = 50\text{mm}$  seçildiğinden ve magnet ile ferromagnetik ring (halka) eşit genişliğe sahip olduğu düşünülerek [6];

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

Mıknatısların iç yarı çapı, mümkün olduğunca çok küçük olmalı [6];

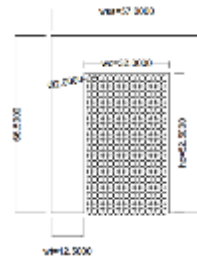
$r_i = 4\text{mm}$ , dış yarı çapı ise formül (23)' ten bulunarak;

$$r_o = \sqrt{\frac{V_m}{\pi \cdot 2 \cdot h_m} + r_i^2} \quad (23)$$

$r_o = 27 \text{ mm}$  olarak bulunur.

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

$$w_t = \frac{w_p}{2} = 12,5 \text{ mm} \quad (24)$$



Şekil 4.10 Armatür boyutları.

İki kutuplu doğal mıknatısın kuvvetini bulmak için [6];

$$F_m = 2 \cdot h_m \cdot H_c = 0,025 \cdot 950.000 = 23.750 \text{ N} \quad (25)$$

$$\text{Akım hesabı; } I_{amax} = J_a \cdot \pi \cdot \frac{d_w^2}{4} = 31,4 \text{ A} \quad (26)$$

Bakır tel sarım sayısını belirlemek için [6];

$$N = \frac{F_m/2}{I_{amax}} = \frac{23.750}{31,4 \cdot 2} = 378 \text{ sarım} \quad (27)$$

$w_c$  : 30 mm olması durumunda;

$$N = \frac{w_c \cdot h_c}{d_w^2} \text{ ise; } \quad h_c \approx 50 \text{ mm}$$

$$\frac{w_c}{d_w} = \frac{30}{2} = 15 \text{ sıra yatay sarım sayısı.} \quad (28)$$

Toplam sarım sayısına bölüldüğünde;

$$N / 15 \text{ yatay sarım sayısı} = 378 / 15 = 25,2 \approx 26 \text{ sıra dikey sarım sayısı.}$$

Yeni durumda toplam sarım sayısı;

$$N = 15 \cdot 26 = 390 \text{ olarak tekrar hesaplanmıştır.}$$

$h_c$ ; tekrar hesaplanmak istenirse,

$$h_c = 26 \times d_w + 0,5 = 52,5 \text{ mm} \text{ hesaplanmış olup, sarım şekli Şekil 4.9' da belirtilmiştir.}$$

$w_s$  : Armatür genişliği;

$$2 \cdot h_m \leq w_s \leq \tau - w_t \text{ ise;} \quad (29)$$

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

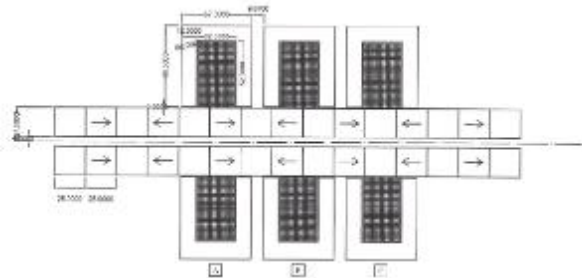
$w_{ss} = w_s + 2 \cdot w_t$  olduğundan,  $w_{ss} = 57 \text{ mm}$ ' dir.

Armatürler arası uzaklık ise, 3 armatürlü seçildiğinden

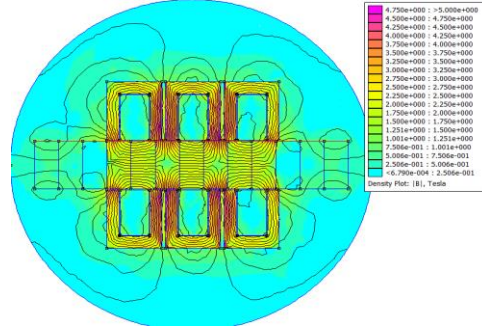
$$n_{ph} = 3 \text{ ve } w_{ss} = 57 \text{ mm ise;}$$

$$d_s = \frac{\tau}{n_{ph}} - w_{ss} + \tau = 9,67 \text{ mm} \quad (30)$$

Yukarıdaki ölçülere göre tubuler tip lineer motor çizilecek olursa;



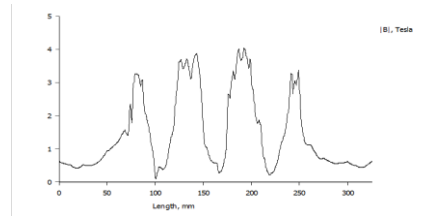
Şekil 4.11 İstenilen kuvvete göre tüp şeklinde LM çizilmesi.



Şekil 4.12 FEMM programında FE methoduyla EMA analizi.

Şekil 4.12' de gösterildiği üzere FEMM (Finite Element Method Magnetics) programını kullanarak, manyetik alan analizi yapılmıştır. Şekilden de anlaşılacağı üzere ortadaki armatürde manyetik alan yoğunlaşmıştır.

Ayrıca Şekil 4.13' te de doğal mıknatısların yüzeyi üzerinden bir doğru boyunca manyetik alan değişimi grafiği belirtilmektedir.

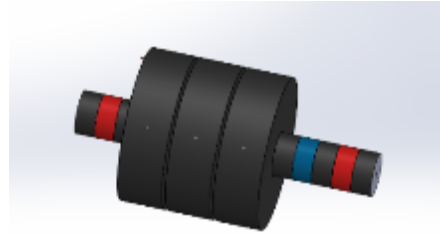


Şekil 4.13 FEMM ile doğal mıknatıs yüzeyi boyunca manyetik alan eğrisi.

Şekil 4.11' da Autocad programında çizilen TLM' nin SW çizimleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' de gösterilmiştir.

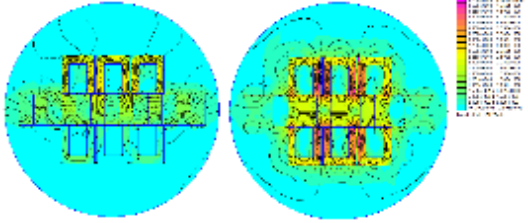


Şekil 4.14 Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklinde LM' nin SW' da çizilmesi.



Şekil 4.15 Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklinde LM' nin SW' da çizilmesi.

Tasarımı tamamlanan tubuler lineer motorun mıknatıs dizgesinin tasarım hedeflerini karşıladığından emin olmak için Şekil 4.16’ da da gösterildiği gibi Halbach dizgesi ve eksenel mıknatıs dizgesi karşılaştırması FEMM programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.16 FEMM programında Halbach (soldaki) ve eksenel (sağdaki) 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.

TS 9111:2011’e göre platformun boyutları en az, 0,75m x 1,20 m olmalıdır [16].

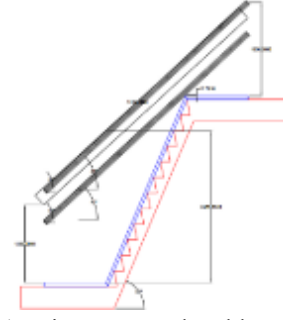
Bu ölçüler ışığında, platform ölçüleri 0,80m x 1,30m olarak seçilmiştir.

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 çalışmayacağı 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 4.17 Lineer motor kızakları ve eğimi.

Lineer motor tasarımından önce, çalışmanın 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.

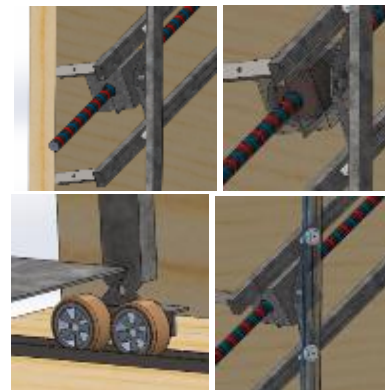
Platform tasarımı yapılırken taşınacak olan tekerlekli sandalye ölçüleri baz alınmalıdır. Daha önce belirtildiği üzere ve TS 9111:2011’ e göre kaldırma platformu 800mm ve 300mm ölçülerinde yapılmalıdır.

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 4.18 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.



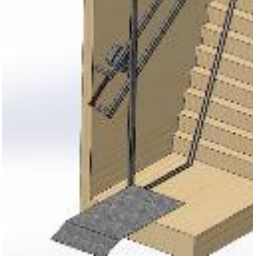
Şekil 4.19 Dört adet kızığın birbiri ile uyumlu çalışmasını gösteren SW çizimi.

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 4.20 İkili tekerlek tasarımını gösteren SW çizimi.

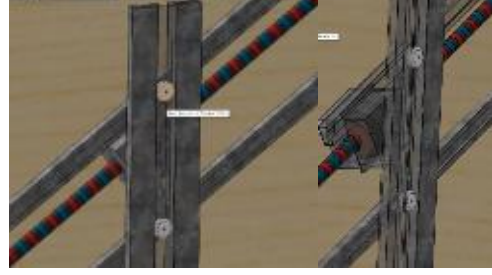
Motordan alınan tahrik bükümlü bir sac ile tekerleklere iletilirken, farklı düzlemlerde çalışan ve platformun hareket etmesini sağlayan çift tekerlek sistemi olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım sürtünme kuvvetini arttırmakla beraber, taşıyıcı dikey c profilin kurtulmasını veya çalışmamasını engellemektedir.



Şekil 4.21 Kaldırma platformunun taşıyıcı dikey kızığa monte edilmesini gösteren SW çizimi.

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

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



Şekil 4.22 Taşıyıcı dikey kızığa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen 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 düzeltiler, değiştirilebilir.

Bu durumda aşağıdaki parçalarda mukavemet hesabı yapılmalıdır.

- Platform altında bulunan kutu profillerinde,
- 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 ¼'ü kadar yük etkimektedir.

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

Diğer ölçülerde;

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

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

$$W: \text{Platform üzerine etkiyen toplam ağırlık} = 1500\text{N}$$

$$L: \text{Kutu Profil Uzunluğu} = 800\text{mm} = 0,8 \text{ m}$$

$$a: \text{Yükün Kutu Profil Kenarına olan uzaklığı} = 25\text{mm} = 0,025\text{m}$$

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

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

$$\theta_A' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{375.(0,025)^2}{2.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -0,167.10^{-4} \text{ rad} \quad (35)$$

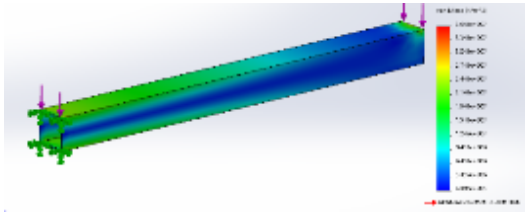
$$\gamma_A' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{375.(0,025)^3}{3.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -0,00028.10^{-4} \text{ m} \quad (36)$$

$$\theta_A'' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{375.(0,775)^2}{2.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -16,01.10^{-4} \text{ rad}$$

$$\gamma_A'' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{375.(0,775)^3}{3.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -8,28.10^{-4} \text{ m}$$

$$\theta = \theta_A' + \theta_A'' = -16,207.10^{-4} \text{ rad} \quad (37)$$

$$\gamma = \gamma_A' + \gamma_A'' = -0,83 \text{ mm} \quad (38)$$



Şekil 4.23 SW programında gerilim 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 = 1000N

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

Toplam Atalet Momenti Hesaplama ( $I_T$ ):

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

$$\begin{aligned} I_T &= \left[ 31,95 + 4,44 \cdot \left( \frac{2,68}{2} \right)^2 \right] \\ &+ 2 \cdot \left[ 136 + 12,4 \cdot \left( \frac{3,31}{2} \right)^2 \right] \\ &= 379,85 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Sehim hesaplama formül (35), formül (36), formül (37) ve formül (38)' de değerler yerine yazılırsa;

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

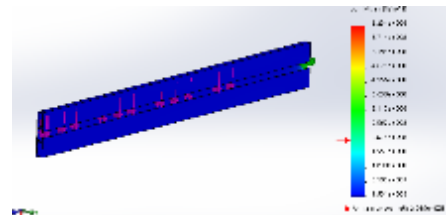
$$\gamma_A' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{1000.(2)^3}{3.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,0035 \text{ m}$$

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

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

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

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



Şekil 4.24 SW programında gerilim 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 kızığa etkiyecek olan toplam yükün 1/3' ü kadar olacaktır.

Diğer ölçüler ise;

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

$I_c$  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<sup>2</sup>)

$A_c$  profil: C Profil Kesit Alanı = 4,44 cm<sup>2</sup>

t: C Profil Et Kalınlığı = 3 mm

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

W: Toplam Kuvvet = 2000 N

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

$R_A = R_B = P/2$

$$M_C = \frac{P.L}{4} \quad (40)$$

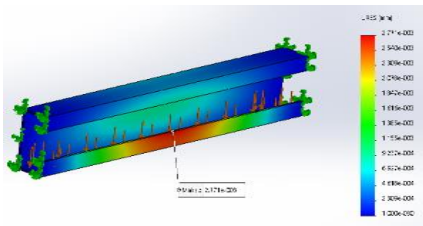
Moment için alan bulunurken;

$$A = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \frac{P.L}{E.I} \right) \cdot \frac{L}{2} = \frac{P.L^2}{16.E.I} \quad (41)$$

$\theta_C = 0$  olduğundan;

$$\theta_A = \theta_C - \theta_{C/A} = 0 - \frac{P.L^2}{16.E.I} = -0,16 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \quad (42)$$

$$\gamma_A = -A \cdot \frac{L}{3} = -\frac{P.L^2}{48.E.I} = -0,0000027 \text{ m} = 0,0027\text{mm} \quad (43)$$



Şekil 4.25 SW programında yer değiştirme 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.

#### 5. Bulgular ve Tartışma

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.

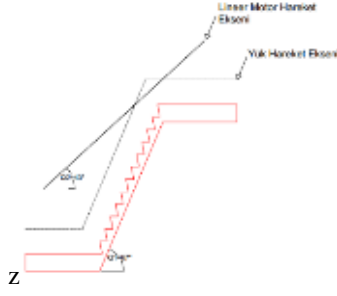
Eksenel tip mıknatıs dizgesi, flat lineer motorlarda daha fazla güç elde edilebilecek Halbach dizgesine göre, tubular lineer motorlarda kullanımı önerilmektedir. Bu çalışmada, FEMM programıyla yapılan karşılaştırmalı FE analizi de bu sonucu desteklemektedir.

Bu çalışma ile 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.

#### 6. Sonuçlar

Lineer motorlar yakın geçmişimize kadar kullanımı çok yaygın olmamalarına rağmen, günümüzde hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek hassasiyet, hareketi dönüştürmek veya iletmek için dişli, kayış, kasnak, vs. olmaması ve seri üretim koşullarına uygunluğu dolayısıyla kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır.

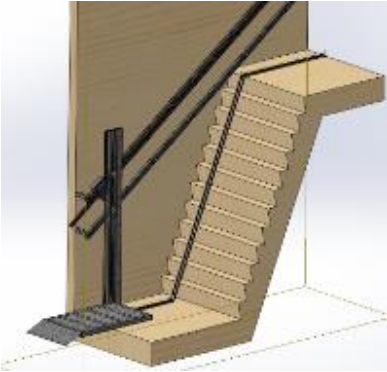
Tüp şeklinde (tubuler) lineer motor kullanımı ise, manyetik alanın kullanımı arttırmakla beraber, boyutsal olarak sığmaması gibi bir durum yaratmamıştır. Dar bir bölgede, alanı daha fazla daraltmadan, kayış, kasnak gibi hareketin iletilmesini sağlayacak ara mekanik ekipman kullanılmadan, yani verim düşmeden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



Şekil 6.1 Hareket eksenini farklılığı.

Lineer motorlarda dönüş yapılamaması, yani sabit mıknatısların kıvrılamaması dezavantajına rağmen, merdiven asansörlerinde teorik olarak lineer motorun kullanılabilmesi ispatlanmıştır. Bunun sonucu olarak Şekil 6.1'de de gösterildiği üzere, merdiven eğiminin, lineer motor tırmanma açısından farklı olması, yani merdiven eğimi  $67^\circ$  iken, lineer motor çalışma doğrusunun tabanla yaptığı açı  $43^\circ$  olduğu gözlemlenmiş olup, hedefe ulaşılmıştır. Teorik olarak engelli merdiven asansöründe lineer motor kullanılabilmesi ispatlanmıştır.

Bu çalışma, gelecekte yapılacak olan diğer çalışmalara, bu tip asansörlerde tubular tip lineer motor ve aksenal mıknatıs dizgisi kullanılması konusunda faydalı olacaktır.



Şekil 6.2 Genel hatlarında montaj resmini gösteren SW çizimi.

## Kaynaklar

- [1] <http://www.oytunyapici.net/LM/tarihce.html> (Erişim tarihi: 15.09.2018)
- [2] <http://www.wikizero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTGluZWZyX2luZHVjdGlvlbl9tb3RvcnM> (Erişim tarihi: 01.10.2018)
- [3] <https://aktif.net/tr/Aktif-log/Teknik-Makaleler/Lineer-Motorlar-Ile-Levitasyon-Uygulamalari-Maglev-Trenleri-Maglev-Asansorleri> (Erişim tarihi: 15.10.2018)

- [4] Taşkın Ö., 2015. Design And Implementation Of A Double-Sided Coreless Linear Motor. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Syf. 1-17, İstanbul.
- [5] Nasar S.A., Boldea I., Linear Motion Electric Machines, 2. Baskı, New York, USA: John Wiley&Sons, 1976.
- [6] Gieras J.F., Piech Z.J., Tomczuk B., 1999. Linear Synchronous Motors. 1st ed., CRC Press, syf.1-429.
- [7] <https://www.elega.lt/en/linear-motion-systems-bridge-ballscrew-module-90x90> (Erişim tarihi: 18.10.2018)
- [8] <https://bahriyeenstitusu.org/2018/09/27/deniz-kuvvetleri-tcg-anadolu-ile-ne-kazanacak/> (Erişim tarihi: 20.10.2018)
- [9] Kazan Ö., Onat A., 2011. Modeling of Air Core Permanent-Magnet Linear Motors with a Simplified Nonlinear Magnetic Analysis. IEEE Transactions on Magnetics, 47(6), 1753-1762.
- [10] Çepni M. E., 2010. Lineer Servo Motor Ve Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kontrol ve Otomasyon Anabilim Dalı, Syf. 7-17, İstanbul.
- [11] <https://blog.aslanozgul.com/tanitim-yazilari/engelli-asansoru-nedir-engelli-asansoru-fiyatları.html> (Erişim tarihi: 22.10.2018)
- [12] Dinç N., 2010. Engelliler İçin Koltuk-Platform Tipi Asansörler ve Hiro-Lift Asansör Sistemleri. AKE Asansör Malzemeleri Ltd. Şti., İstanbul.
- [13] Pahl G., Beitz W., 1988. Engineering Design, The Design Council. Springer-Verlag, London.
- [14] Mayda M., Börklü H., 2014. Yeni ve İnovatif Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli ile Su Filtresi Tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2(1), 169-180.
- [15] Nasir N., Azhar F., 2018. Design of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for High Thrust and Low Cogging Force Performance. Progress In Electromagnetics Research M, 63, 83-92.
- [16] Türk Standartları Enstitüsü, TS 9111:2011, Özürlüler Ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere