



Alınış tarihi (Received): 17.05.2023

Kabul tarihi (Accepted): 07.06.2023

Raya Montajlı Kayışlı Asansör Makinesinin Kuyu Statik Analizleri

Yusuf AVŞAR^{1,*}, Ahmet FENERCİOĞLU², Mücahit SOYASLAN³

¹Trakya Üniversitesi, İpsala Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Edirne

²Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Bursa,

³Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya

*Sorumlu yazar: yusufavsar@trakya.edu.tr

ÖZET: Bu çalışma kapsamında, 630 kg yolcu taşıma kapasitesi ve 1 m/s kabin hızı sağlayan, makine konstrüksiyon şasisine gerek duymadan doğrudan kılavuz raya montaj edilebilen asansör tahrik motorunun yapısal kuyu analizleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan tahrik motoru, içten rotorlu, 4.5 kW gücünde, 400 d/d anma hızı ve 107.46 Nm tork sağlayan sabit mıknatıslı senkron motor (SMSM) olarak belirlenmiştir. Çalışmada, statik yüklerin belirlenmesi sonrasında, raya doğrudan montajlı makine tasarımı elde edilmiştir. Kayışlı asansör motorunun kuyu içerisindeki kılavuz ray üzerine montaj tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kılavuz ray, konsol ve bağlantı elemanları üzerindeki etkiler incelenmiştir. Tasarımda, makine üzerinde biriken asansör yüklerinin binaya ve zemine düzgün bir şekilde iletilmesi sağlanmıştır, bu sayede maliyetli ve karmaşık makine şasi konstrüksiyonları ortadan kaldırılmıştır. Belirlenen statik yük değerleri temel alınarak, Sonlu Eleman Yöntemi (SEY) ile tüm sistemin yapısal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, kullanılan malzemeler arasında en düşük akma mukavemeti 235 MPa olan malzeme göz önünde bulundurulduğunda, en yüksek stres 43.7 MPa ile duvar bağlantı konsollarında elde edilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında, tasarlanan sistem akma dayanımı açısından 5.3 kat güvenli bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler – Dişlisiz makine, Kayışlı asansör makinesi, Asansör kuyu tasarımı, Sonlu elemanlar analizi, Statik analiz

Static Analyses of the Elevator Shaft of The Rail-Mounted Belt Driven Elevator Machine

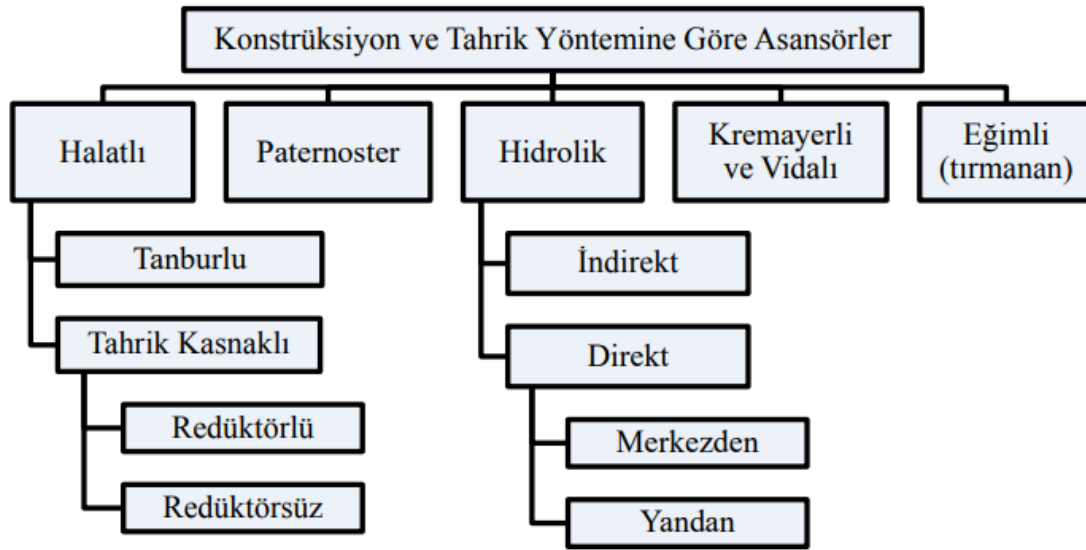
ABSTRACT: In this study, the structural shaft analyses of the elevator drive motor, which provides 630 kg passenger carrying capacity and 1 m/s cabin speed and can be mounted directly on the guiding rail without the need for machine construction chassis, have been carried out. The designed drive motor is a permanent magnet synchronous motor (PMSM) with an internal rotor, 4.5 kW power, 400 rpm rated speed, and 107.46 Nm torque. In the study, the design of the machine that can be directly mounted on the rail was obtained after determining the static loads. The elevator motor with a belt is designed to be mounted on the guiding rail inside the shaft. The effects on the guiding rail, brackets, and fasteners were analysed. The design ensures that the lift loads accumulated on the motor are transferred to the building and the floor in a smooth distribution. In this way, expensive and complex machine chassis constructions are eliminated. Based on the determined static load values, structural analyses of the whole system were performed by the Finite Element Method (FEM). According to the results of the analyses, considering the lowest yield stress of 235 MPa among the materials used, the highest stress was observed in the wall connection brackets with 43.7 MPa. Based on these values, the designed system was found to be 5.3 times safer in terms of yield strength.

Keywords – Gearless machine, Belt elevator machine, Elevator shaft design, Finite element analysis, Static analysis

1. Giriş

Asansörler, yolcu ve yükleri bir noktadan diğerine taşımak için tasarlanmış sistemlerdir. Kabin veya platform şeklinde bir taşıma alanı içeren asansörler, insanları ve yükleri iki veya daha fazla durak arasında taşımak için ray kılavuzları ile hareket eder (Irmak ve Gerdemeli, 2000).

Asansörler, yapı ve tahrik yöntemine göre çeşitli kategorilere ayrılabilir; halatlı, paternoster, hidrolik, kremayerli-vidalı ve eğimli asansörler. Kullanım amacına göre ise, insan, yük, servis, maden ve yatay asansörler olarak sınıflandırılırlar (Atay, 2013). Şekil 1'de asansörlerin yapı ve tahrik yöntemine göre sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 1. Konstrüksiyon ve tahrik yöntemine göre asansörler (Atay, 2013; Irmak ve Gerdemeli, 2000)

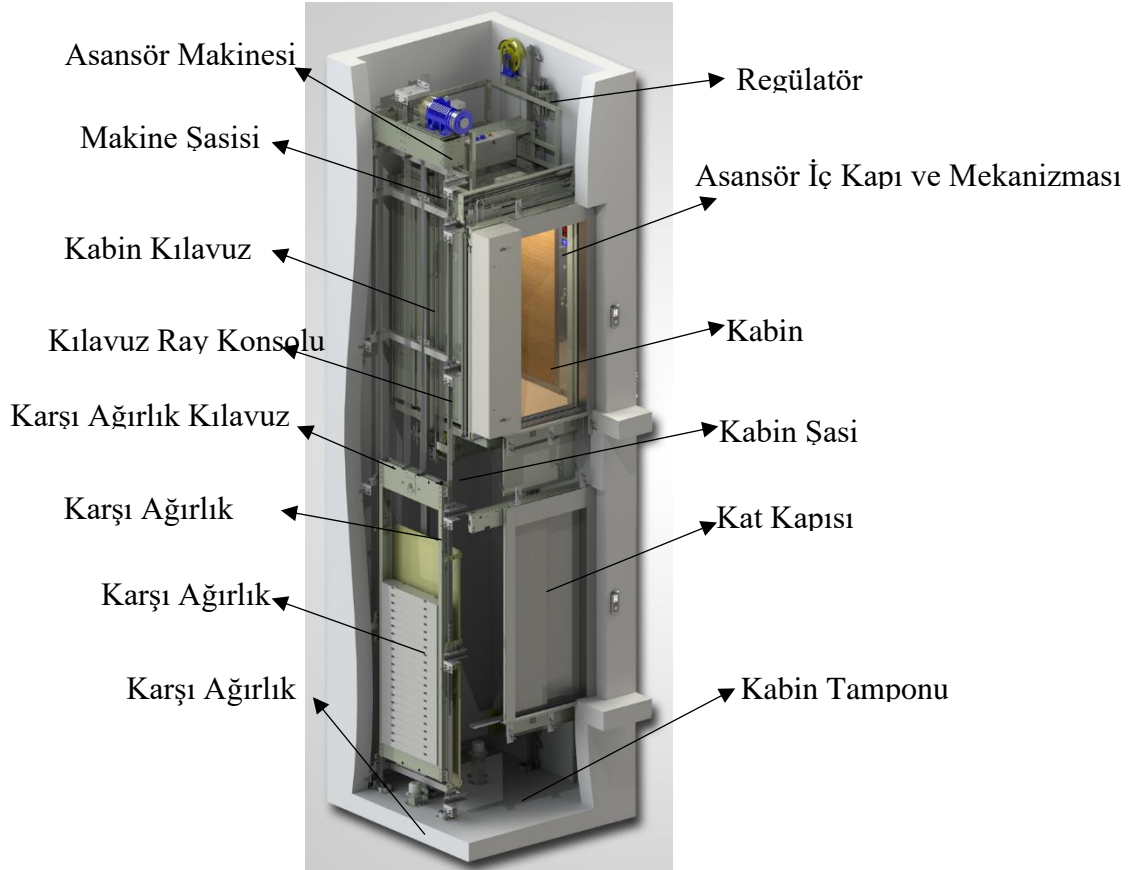
Figure 1. Elevators according to the construction and drive method (Atay, 2013; Irmak and Gerdemeli, 2000)

İnsan taşımacılığında kullanılan halatlı asansör sistemleri dişlili ve dişlisiz olarak iki gruba ayrılmaktadır. Dişlili sistemlerde alternatif akım motor ve bir redüktör bulunmaktadır. Kabin hızı, genelde bir sonsuz vida mekanizması ile ayarlanır. Dişlisiz sistemlerde ise asansör bir motor ve kontrol ünitesi tarafından idare edilmektedir (Atay, 2013).

Günümüzde, dört ana tip asansör bulunmaktadır. Bunlar elektrikli, hidrolik, pnömatik ve manyetik levitasyon (maglev) asansörleridir. En yaygın kullanılan asansör sistemleri, elektrikle çalışan dişli veya dişlisiz asansör sistemleridir (Atay, 2013). Asansörler halat veya kayış tahrikli olabilir. Halat tahrikli asansörler, shaftın üstündeki elektrik motoruna bağlı bir makaradan geçen halatları içerir. Halatların ana işlevi asansör kabini kaldırmak ve indirmektir. Dişli tahrikli bir asansör sistemi redüktörlü bir motor içerir. Dişlilerin ana işlevi, halatları hareket ettiren makaraya güç sağlamaktır. Dişlisiz tahrikli bir asansör, hız düzenlemesi için dişli sisteme sahip değildir. Direkt sürücülü dişlisiz asansör motorları ile motor verimliliği de artmıştır. Bu motorlar düşük hızlarda yüksek tork gerektirir. Dişlisiz asansör motorlarında, asansör kabini ve karşı ağırlık halatlar veya kayışlarla bağlı makaralar

tarafından hareket ettirilir. Çelik halatlarda kırılma riskini önlemek için, kask ve halat çapı arasında 40:1 oranı zorunludur (TS EN 81-1, 2010). En küçük çapta üretilen asansör halatları 8mm çapında olduğundan, asansör sektöründe üretilen kasklar en az 320mm çapında olmalıdır. Bu kask çapı nedeniyle, asansör motorlarında yüksek tork gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bazı özel sertifikalar ile kask çapları 240mm olarak üretilmektedir (Demiröz ve ark, 2015).

Şekil 2’de geleneksel olarak tasarlanan makine daireli bir asansör tesisinin genel görünümüne yer verilmiştir (Soyaslan, 2020).



Şekil 2. Asansör sisteminin genel görünümü (Soyaslan, 2020)

Figure 2. General view of the elevator system (Soyaslan, 2020)

Dişlilili asansör sistemlerinde asenkron motorlar kullanılırken, dişlisiz asansör sistemlerinde Sabit Miknatıslı Senkron Makine'ler (SMSM'ler) tercih edilmektedir. Dişlisiz asansör sistemlerindeki tahrik motorları düşük hızlı ve yüksek torklu olup, tahrik kaskağı motor milinin ucuna doğrudan bağlanır. Motor mili ile kask arasında herhangi bir redüktör mekanizması bulunmamaktadır. Dişlisiz asansör sistemlerinin hızları günümüzde 20m/s'ye kadar çıkabilmektedir. Dişlilili asansör motorlarının başlangıç maliyetleri, dişlisiz asansör motorlarına göre daha düşük olmasına rağmen, bakım maliyetleri daha yüksektir. Enerji verimliliği açısından ise dişlisiz motorların üstünlüğü bulunmaktadır. Dişlisiz asansör motorları, daha az hareketli parça içerdiğinden dolayı daha az aşınma ve daha düşük bakım ihtiyacı sunar. Ayrıca, daha yüksek enerji verimliliği sayesinde, işletme maliyetleri ve enerji

tüketimi daha düşüktür. Bu nedenle, özellikle uzun vadede düşünüldüğünde, dişlisiz asansör motorları daha ekonomik ve çevre dostu bir seçenek olarak değerlendirilebilir (Soyaslan, 2020).

Elektrik motorları genellikle halat ile asansöre güç aktarmaktadır. Bunun yanı sıra kayışlı tahrik sistemleri de yaygınlaşmaktadır. Her ne kadar maliyetleri halatlı alternatiflerine göre daha yüksek olsa da kayışlı asansör motorları, kullanılan motorun performansı ve taşıma konforu açısından taşıma sistemi üreticileri tarafından tercih edilmektedir. Kayışlı asansörlerde palanga ve kayış arasında daha yüksek bir sürtünme oluşur (Fenercioğlu ve ark., 2022). Bu da geleneksel çelik halatlı asansörlere oranla daha yüksek tahrik yeteneği ve yüksek verim anlamına gelir. Ayrıca sistem yük taşıma kapasitesi, daha küçük tahrik kasnağı kullanıldığı için daha yüksektir (Fenercioğlu ve ark., 2022).

Kayışların geleneksel çelik halatlara göre burulma faktörleri daha yüksek olduğundan, daha küçük çaplarda tahrik kasnağı kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede aynı yükü halatlı sistemlere göre daha düşük torklarda kaldırmaktadır. Asansörlerde uygulanan motor frenlerinin seçim süreci, temel olarak anma tork değerlerine göre yapılmaktadır. Bu bağlamda, tork değerlerinin küçültülmesi, motor hacminde gerçekleştirilen iyileştirmeler ile birlikte, frenleme sisteminin boyutlarında da önemli faydalar sağlamaktadır. Ayrıca, şaft üzerinde meydana gelen burulma miktarının azaltılması, şaft boyutları ve çapı açısından da geliştirme fırsatları sunmaktadır. Bu durum hem motorun hem de frenleme sisteminin toplam hacim ve ağırlığının azaltılmasıyla, asansör sistemi tasarımında daha verimli ve ekonomik bir çözüm elde etmeyi kolaylaştırır. Bu şekilde, enerji verimliliği ve sistem performansı artarken, toplam maliyet ve bakım süreçlerinde de iyileştirmeler sağlanır.

Statik yük, bir nesneye uygulanan ve zaman içinde sabit kalan bir kuvvet veya ağırlıktır. Bir asansör sistemi bağlamında, statik yük asansör kabininin, içindekilerin ve asansör kuyusu tarafından desteklenen kaldırma halatlarının ağırlığını ifade etmektedir. Bu yük herhangi bir harekete veya değişime tabi değildir ve harekete veya değişime tabi olan dinamik yükün aksine zaman içinde sabit kalır. Bir asansör sisteminin kapasitesi tasarlanırken ve hesaplanırken statik yük dikkate alınmalıdır. Asansör kuyusu ve diğer bileşenler statik yükü arıza veya aşırı sapma olmaksızın destekleyebilmelidir. Bu yüzden asansör kuyusu tasarlanırken ve asansör sisteminin kapasitesi belirlenirken statik yük dikkate alınmalıdır. Asansör kuyusu, arıza veya aşırı savrulma olmaksızın statik yüke dayanabilmelidir. Bu, tipik olarak asansör kuyusunun statik yükü desteklemek için yeterli güç ve sertlikte tasarlanması ve yükün kuyu boyunca eşit olarak dağıtılmasının sağlanmasıyla gerçekleştirilir. Statik yük, asansör kaldırma sisteminin boyut ve kapasitesinin yanı sıra asansör makine dairesinin boyut ve kapasitesini ve asansör için elektrik güç kaynağını belirlerken de önemlidir.

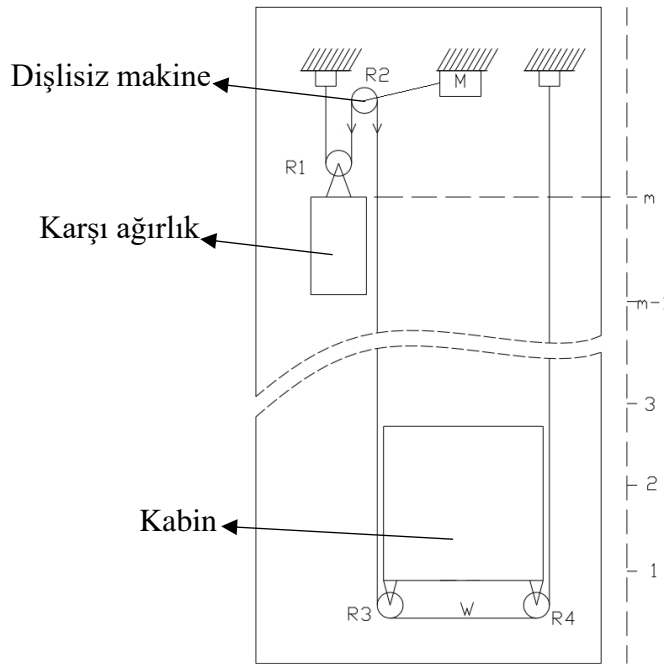
Kayışların, geleneksel çelik halatlara göre daha yüksek burulma faktörüne sahip olmasından dolayı, daha küçük çaplarda tahrik kasnağı kullanılmasına olanak tanır. Bu, halatlı sistemlere göre daha düşük torklarla aynı yükü kaldırma imkânı sunar. Bu çalışmada, motor sabitleme şasisine ihtiyaç duymayan ve statik yükü minimum düzeyde tutan özgün bir tasarım ortaya konulmuştur. Tahrik motoru olarak SMSM seçilmiştir. SMSM milindeki mekanik enerji,

dişlisiz kayışlı aktarım ile asansör kabine iletilmiştir. Tüm taşıma sistemi bileşenlerinin asansör kuyusuna uyguladığı statik yük, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile modellenerek analiz edilmiştir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde asansör tahrik sistemleri ve statik yük ile ilişkisine genel bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde, asansör tahrik motoru olarak kullanılacak SMSM'nin boyutlandırılması, kılavuz ray ve bağlantı elemanları için malzeme seçimleri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde asansör kuyusunun SEY ile gerçekleştirilen yapısal analizleri sunulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Statik yük, bir cismin sabit bir konumda veya hareket halinde olsa bile, uyguladığı yükleri ifade eder. Asansör kuyularında da motorun, kabinin, rayların var ise dişli veya halatların ağırlığının tamamı statik yükleri ifade eder. Bu yükler asansör kuyusu üzerinden uygun şekilde binaya ve temele iletilmelidir. 2:1 süspansiyona sahip asansör kuyusundaki taşıma sisteminin şematik gösterimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Asansör motorunun çalışması esnasında maksimum yük karşısında dayanımının ölçülmesi gerekmektedir. Buna göre tüm statik yük hesaplamaları Şekil 3'teki asansör süspansiyon sistemine göre tasarlanmıştır.



Şekil 3. 2:1 Asansör süspansiyon sistemi (Fenercioğlu ve ark., 2022)

Figure 3. 2:1 Elevator suspension system (Fenercioğlu et al., 2022)

Motorun tork, hız ve güç değerleri aşağıdaki işlemlerle belirlenir (Yetiş ve ark., 2018). Eşitlik 1'de T_{motor} motorun üreteceği nominal torku, r_k kasnak yarı çapını, g yerçekimi ivmesini ifade ederken, Eşitlik 2'de Q nominal yükü, W_c kabin ağırlığını, W_b denge ağırlığını, u süspansiyon türü için katsayıyı ifade eder. Doğrudan süspansiyon (1:1) için $u=1$, 2:1 süspansiyon için

$u=2$ alınmalıdır. η kuyu ve halat sistemi verimliliği, ω açısal hız (rad/s), v kabin hızı (m/s), n hız (d/d) olarak ifade edilir.

Motor nominal torku,

$$T_{motor} = \frac{r_k \times g \times (Q + W_c - W_b)}{u \times \eta} \quad (1)$$

$$\frac{Q}{2} = Q + W_c - W_b \quad (2)$$

Motor nominal hızı,

$$\omega = \left(u \times \left(\frac{v}{r_k} \right) \right) \quad (3)$$

$$n = \omega \left(\frac{60}{2 \times \pi} \right) \quad (4)$$

Statik Yük Hesapları

Asansör makinesi için motor mili, kasnak, kapaklar ve rulmanlar üzerine uygulanacak toplam statik yük hesabı çıkarılmıştır. Motor parçalarına etki eden toplam statik yük (F_s) ve motor rulmanlarına binen toplam statik yük (T_{sl}) Eşitlik (5-11) ile verilmiştir (Soyaslan ve ark., 2023).

$$M_{cs} = Q' + W_c + W_s \quad (5)$$

$$M_{cw} = Q/2 + W_c + W_f \quad (6)$$

$$T_{cs} = \frac{M_{cs}}{2} \times g \quad (7)$$

$$T_{cw} = \frac{M_{cw}}{2} \times g \quad (8)$$

$$T_{sl} = T_{cs} + T_{cw} + O_{wb} \quad (9)$$

$$L_{pb} = \frac{T_{sl}}{4} \quad (10)$$

$$F_s = \left[\left(\frac{Q' + W_c + W_f}{2} + \frac{Q/2 + W_c + W_s}{2} \right) + O_{wb} \right] \times g \quad (11)$$

Deformasyon analizlerinin aşırı yüklemelere karşı yapılması gerekir. Bu yüzden F_s belirlenirken nominal yük değerinin 1.5 katı alınmıştır. Bununla birlikte rulman ömür hesabında nominal yükler göre işlem yapılması yeterlidir. Yukarıdaki denklemlere ve değerlere göre hesaplanan statik yükler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Statik Yük Değeri

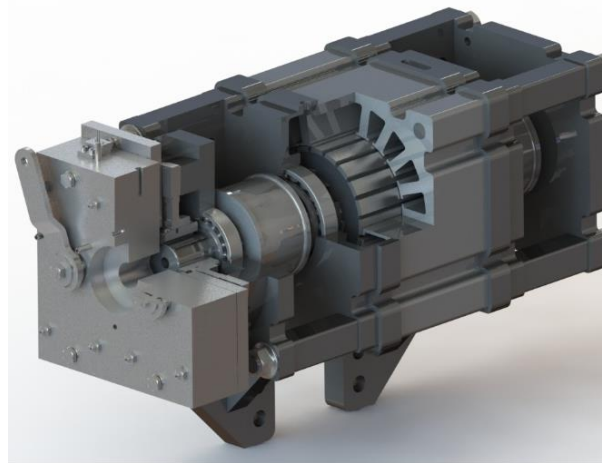
Table 1. Static Load Value

Statik Yük	Değeri	Sembol	Birim
Taşıma Kapasitesi	630	Q	Kg
Kapasite X 1.5	945	Q'	Kg
Süspansiyon Ağırlığı	136	W_s	Kg
Karkas Ağırlığı	107	W_f	Kg
Kabin Ağırlığı	700	W_s	Kg
Makine Kabin Tarafı Ağırlığı	1781	M_{cs}	Kg
Makine Karşı Tarafı Ağırlığı	1122	M_{cw}	Kg
Dinamik Faktör	1	K	-
Güvenlik Faktörü	5	S	-
Makine Ağırlığı	102	W_m	Kg
Rulmanlara Etki Eden Diğer Yükler	30	O_{wb}	Kg
Rulman Başına Düşen Yük	3247.11	L_{pb}	N
Makine Kabin Tarafına Uygulanan Toplam Yük	8735.80	T_{cs}	N
Makine Karşı Ağırlık Tarafı Uygulanacak Toplam Yük	5503.41	T_{cw}	N
Toplam Statik Yük	14533.51	F_s	N
Yer Çekimi Kuvveti	9.81	g	N

Çizelge 1 incelendiğinde motor üzerine yaklaşık 15kN statik bir yük uygulanmaktadır. Sistemin tasarımında 4 adet rulman kullanılması öngörüldüğü için rulman başına dik eksende 3.2kN yük uygulanmaktadır.

Motor Boyutlandırması ve Malzeme Seçimi

Raya montajlı, özgün bir tasarıma sahip SMSM'nin 3B görünümü Şekil 4'te sunulmaktadır. Asansör kuyusu statik analizi açısından kritik öneme sahip olan SMSM'nin toplam kütle ağırlığı 102kg'dır. Fren dahil motorun uzunluğu 575.68mm, genişliği 214.7mm ve yüksekliği 354.35mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 3B motor tasarımı

Figure 4. 3D motor design

SMSM'nin yapısal analizleri gerçekleştirilmeden önce, farklı tip motorlarda kullanılan gövde ve bağlantı malzemeleri incelenmiştir. Mil, kasnak ve bağlantı saplamaları, yükün önemli bir bölümünü taşıyacak bileşenler olduğu için, bu malzemelerde karbon oranı yüksek ıslah çeliği olan 42CrMo4 seçilmiştir. 42CrMo4 çeliğinin akma mukavemeti 750MPa'dır. Kapaklar ve bağlantı parçaları, hem lazer ile kesime uygun hem de bu bölgelere uygulanan kuvvetlerin dik açılı olmasından dolayı St37 kodlu imalat çeliği olarak seçilmiştir. St37 çeliğinin akma mukavemeti 235MPa'dır.

Kılavuz Ray, Konsol ve Bağlantı Ekipmanları

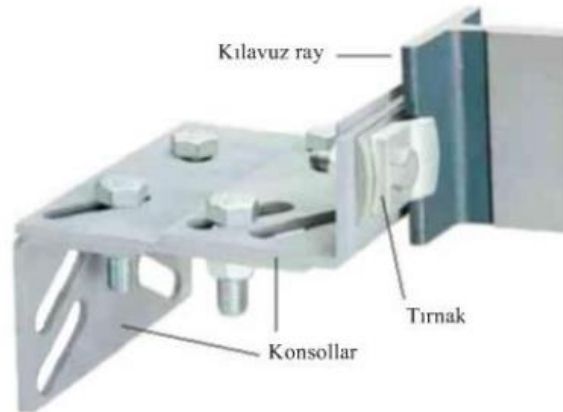
Kılavuz raylar, asansör tesislerinde kabini ve karşı ağırlığı düşey hareketlerde ayrı ayrı kılavuzlamak, yatay hareketlerini minimuma indirmek ve paraşüt tertibatının çalışması durumunda kabini durdurmak amacıyla kullanılır. Kabin ve karşı ağırlığın düşey doğrultularını korur ve dönmesini engeller. Aynı zamanda, paraşüt düzeninin kabini tutmak için kullanacağı elemanlar kılavuz raylardır (Irmak & Gerdemeli, 2000). Kılavuz raylar ISO7465, DIN15311 veya TS4789 standartlarına uygun olarak imal edilir (Atay, 2013). Şekil 5'te ray ve konsol bağlantı şekilleri gösterilmektedir.

Kuyu içinde konstrüksiyon çeliği malzemesi olarak St37 kullanılmıştır. Kılavuz raylar E235B, E275B olarak seçilmiştir. Ray malzeme kodlarındaki "E" indisi, malzemenin elektro çelik olduğunu "235 ve 275" 16mm kalınlığa kadar akma sınırının sırasıyla 235N/mm² ve 275N/mm² olduğunu. "B" ticari sunum kalitesini göstermektedir. Buna göre E235B çeliğinin çekme dayanımı, 340-470N/mm², E275B çeliğinin çekme dayanımı ise 410-540N/mm²'dir (Targıt, 2011). Çizelge 2'de kullanılan malzemelerin özellikleri paylaşılmıştır.

Çizelge 2. Malzeme özellikleri

Table 2. Material properties

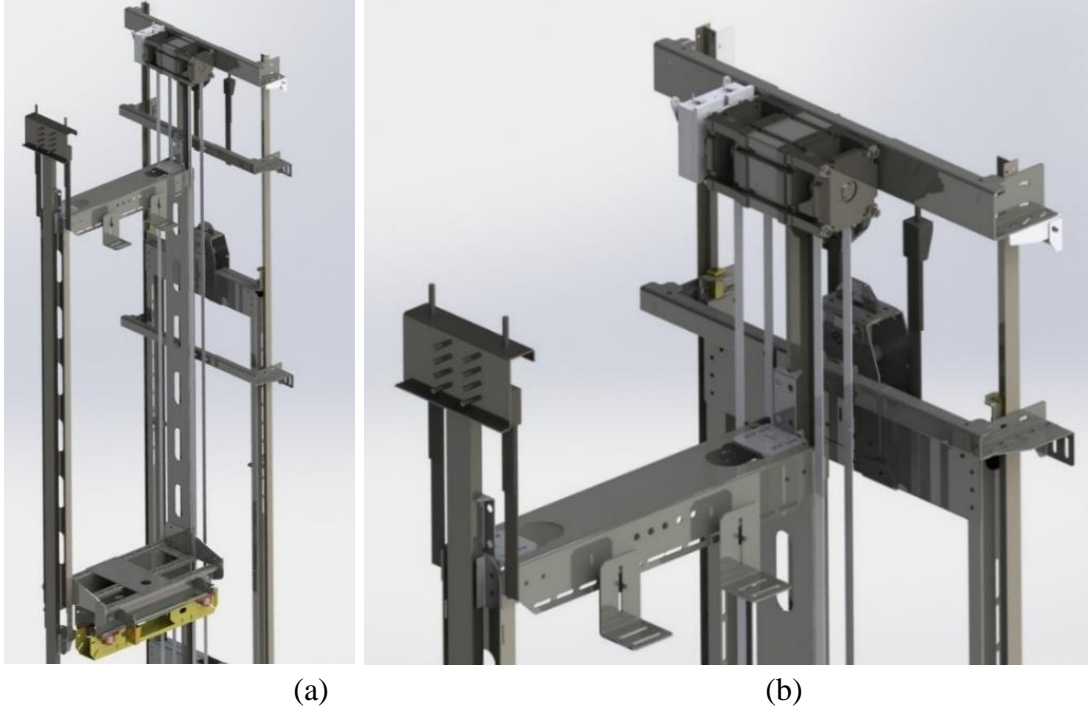
Parça Adı	Malzeme Cinsi	Yoğunluk[kg/m ³]	Akma Gerilmesi [MPa]
Kılavuz Ray	E235	7850	235
Tırnak Civata	Cm45	7850	530
Konsol	St42	7850	350
Bağlantı Elemanları	St37	7850	235



Şekil 5. Kılavuz ray, konsol ve bağlantı elemanları (Atay, 2013)
Figure 5. Guide rail, console and connecting elements (Atay, 2013)

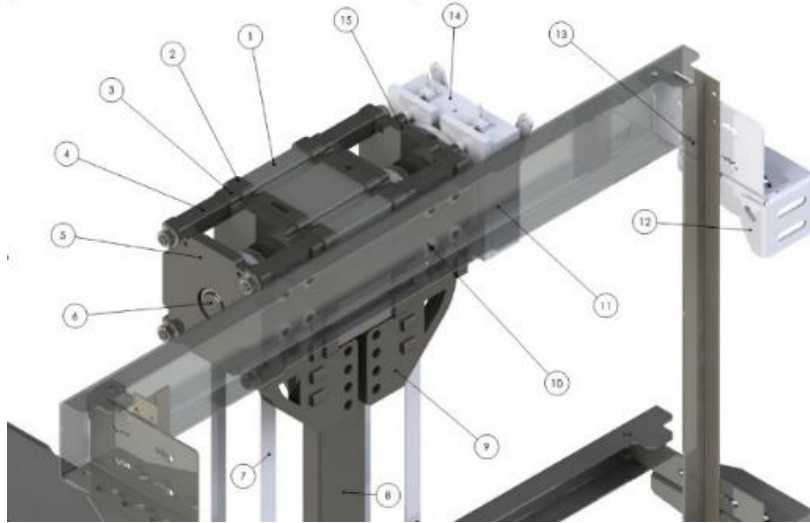
3. Bulgular ve Tartışma

Tasarımda geleneksel montajlarda kullanılan motor sabitleme şasisi kullanmadan direkt olarak raylara montajlanan motorun 3B tasarımları Şekil 6’da yer almaktadır. SMSM’nin alt bağlantıları merkez kılavuz raya doğrudan bağlanmıştır. Üst bağlantı noktaları ise karşı ağırlık rayları (duvar ile sabitleme konsolları) üzerinden yükü yan raylara aktarmaktadır. Bu şekildeki bir tasarım, motor ve sistemin oluşturduğu yüklerin dağıtılmasına olanak sağlar.



Şekil 6. SMSM’nin 3B kuyu montaj tasarımı
Figure 6. 3D well mounting design of SMSM

Prototip makine üretiminde maliyet avantajı sağlayacak lazer kesime uygun malzemelerden üretilen makine bileşenlerinin numaralandırılmış gösterimi Şekil 7’de ifade edilmiştir.



Şekil 7. Makine bileşenlerinin numaralandırılması
Figure 7. Numbering of machine components

Çizelge 3. Şekil 7'deki Numaralandırılmış parçaların isimleri

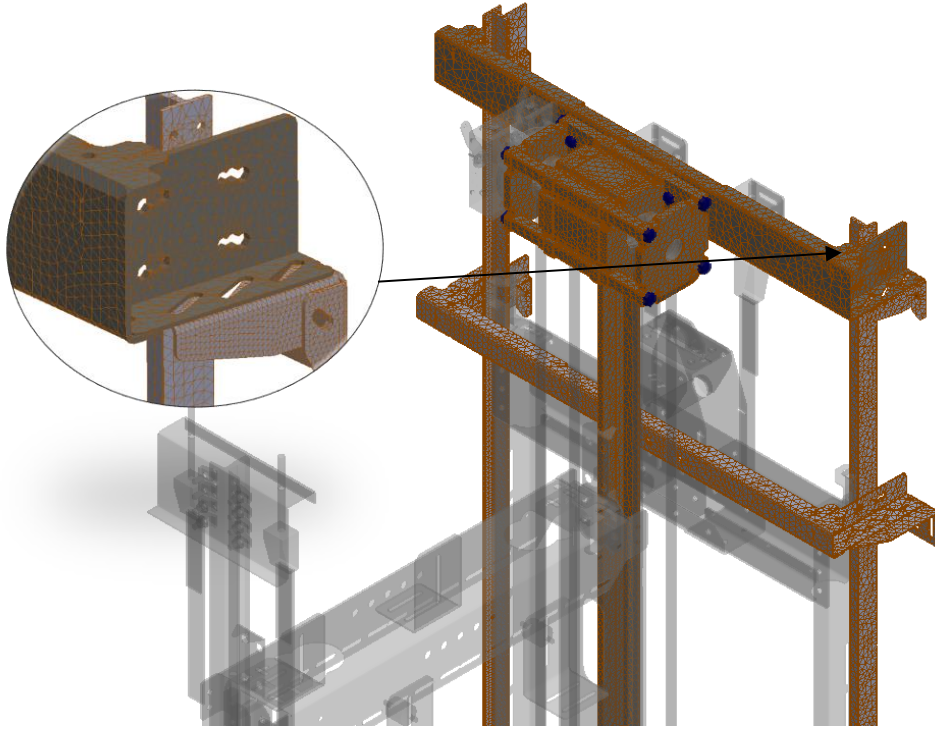
Table 3. Numbered classification names in Figure 7

No	Parça İsmi	No	Parça İsmi
1	Stator	9	Ray-Motor-Duvar montaj parçası
2	Stator kapağı	10	Motor-Konsol montaj noktası
3	İç rulman kapağı	11	PMSM-duvar montaj konsolu
4	Kayış boşluğu	12	Duvar montaj parçası
5	Dış kapak	13	Karşı
6	Mil	14	Fren
7	Kayış	15	Arka kapak
8	Ana ray	--	--

Bir diğer makine tasarım aşaması, makine mukavemetinin ve deformasyon miktarlarının ölçüldüğü yapısal testlerdir. Makine prototipinin üretim sürecine geçilmeden önce, yük altında nasıl performans gösterdiğinin doğrulanması kritiktir. Bu doğrulamanın bir parçası olarak, dinamik ve statik yükler altında işlev görecek makine bileşenlerinin SEY analizleri yapılmalıdır. Bu analizler, parçaların belirli yük ve gerilmede nasıl tepki vereceğini tahmin etmek için gerekli olan detayları sağlar.

Motorlar düşük hızda döndüğünde, dönme hızı genellikle kritik hızın çok altında kalır ve bu durum, rotor ataletlerinin de düşük bir seviyede olmasını sağlar. Bu nedenle, düşük hızlarda çalışan elektrik motorlarında dinamik faktörlere bağlı herhangi bir sorun ortaya çıkmaz (Tong, 2014). Özellikle geliştirilen prototip makinenin nominal hızınının 400 d/d gibi oldukça düşük bir değer olması ve makinenin değişken hızlarda çalışmayacak olması, dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Statik yük koşulları altında bileşenlerin dayanıklılığı, deformasyon düzeyi ve akma sınırlarının korunup korunmadığı, SEY analizleri ile kontrol edilmiştir. Tasarım hesaplarına dayanarak, emniyet faktörü 5 olarak belirlenmiştir (TS 1812, 1988).

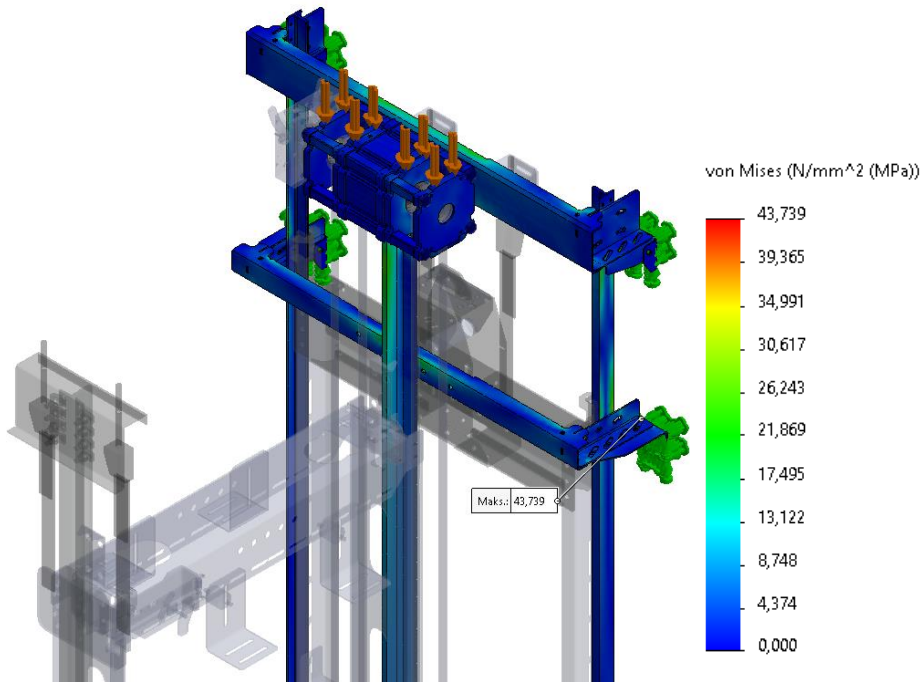
Şekil 8'de oluşturulan mesh yapıları gösterilmiştir. Çizelge 4'de ise verilen mesh yapısına ait sayısal bilgiler ifade edilmiştir. Bu analizler sayesinde, prototip motorun mukavemet ve dayanıklılık açısından uygun olduğu ve güvenli bir şekilde kullanılabileceği doğrulanmaktadır. Bu doğrulama, asansör motorunun daha güvenli ve verimli çalışmasını sağlayacak önemli bir adımdır.



Şekil 8. Ağ yapısı görünümü

Figure 8. Mesh view

Analizler toplamda 421910 adet eleman ve 156848 adet düğüm noktası alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar asansör kuyusundaki konsol ve kılavuz rayları üzerindeki dağılımları ile Şekil 9’da gösterilmiştir.

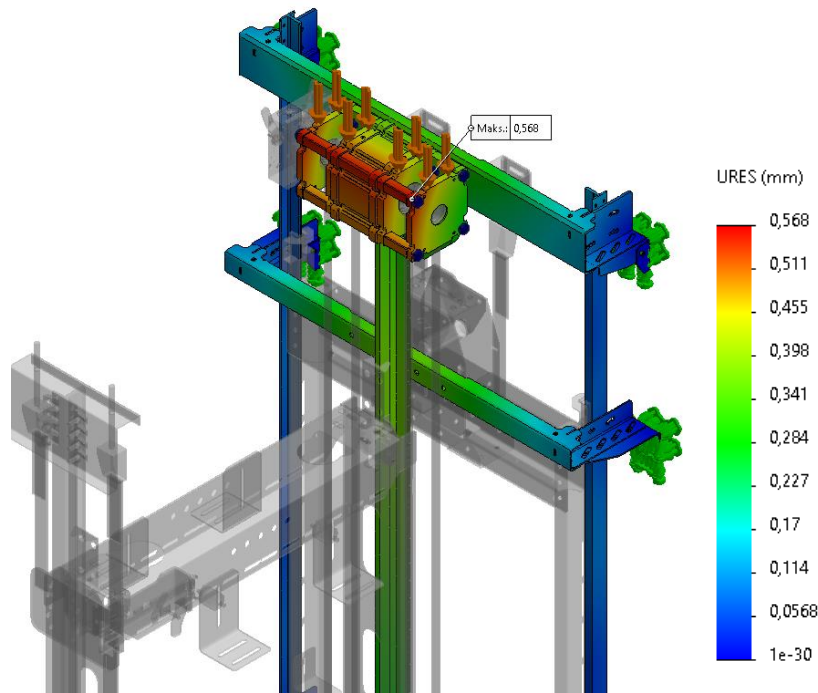


Şekil 9. Makine kuyu montajının gerilme analiz sonuçları

Figure 9. Stress analysis results of machine hoistway assembly

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, 15kN'luk kuvvet altında en yüksek gerilme, duvar bağlantı konsolları üzerine oluşmaktadır. Bu statik yük de yaklaşık 43.7MPa olarak belirlenmiştir. Maksimum gerilmenin olduğu nokta Şekil 9 üzerinde de gösterilmiştir. Kılavuz rayları ve ray bağlantı konsollarına uygulanan gerilim yaklaşık olarak 35MPa sınırında kalmaktadır. Raylarının akma noktası minimum 235MPa olduğundan sistemin güvenlik katsayısı 5'in üstünde elde edilmektedir. Bu sonuçlara göre kurulan sistem kullanıma uygun ve güvenlidir.

SMSM'nin üzerine binen statik yükler kullanılarak gerçekleştirilen kapsamlı yer değiştirme analizine ait sonuçlar Şekil 10'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toplam yer değiştirme 0.568mm olmaktadır. Elde edilen bu değer oldukça düşük olup sistemin kullanılmasında herhangi bir engel gözlenmemiştir.



Şekil 10. Makine kuyu montajının yer değiştirme analiz sonuçları
Figure 10. Displacement analysis results of machine well assembly

4. Sonuç

Bu çalışmada, asansör makine ve kuyu tasarımında dikkate alınması gereken yükleri ve kullanılan kılavuz ray, konsol ve bağlantı elemanları malzemeleri verilmiştir. SEY analizleri ile 15kN olarak elde edilen statik yük, asansör sisteminin tamamına dik bir şekilde uygulanmıştır. Kılavuz ray, konsol ve bağlantı elemanları üzerindeki gerilme etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kullanılan malzemeler arasında en düşük akma mukavemeti olan 235MPa değeri dikkate alındığında en yüksek stres, duvar bağlantı konsollarında 43.7MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerlere göre tasarlanan sistemin 5.3 kat güvenli olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre en yüksek yer değiştirme 0.56 mm gibi oldukça düşük bir değerdir. Yapılan analizler sayesinde tasarım sürecinde belirlenen hedeflerin başarıyla karşılandığı gözlemlenmiştir.

5. Kaynaklar

- Atay, S., 2013. *Komple Ray Bağlantı Sisteminin Deneysel Gerilme Analizi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demiröz, R., Saroğlu, S., Yaprak, H., & Duru, H. T., 2015. Elektrik Mühendisleri Odası. “Beltsys Kayış Tahrikli Yüksek Verimli Asansör Sistemi”.
- Fenercioğlu, A., Soyaslan, M., Avşar, Y., Sarıhan, F., & Atakay, D., 2022. *Halatlı ve Kayışlı Sistemlerde Kullanılan Asansör Motorlarının Performans Değerlendirmesi*.
- Irmak, C. E., & Gerdemeli, İ., 2000. *Asansörler ve Yürüyen Merdivenler*. Birsen Yayınevi.
- Savaş, E., 2011. *Asansör Kılavuz Ray Konsollarının Bilgisayar Destekli Gerilme Analizi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Soyaslan, M., 2020. *Asansör tahrik sistemleri için dıştan rotorlu sürekli mıknatıslı bir senkron motor tasarımı* [Doktora Tezi]. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.
- Soyaslan, M., Avşar, Y., Fenercioğlu, A., & Sarıhan, F., 2023. *Design and Production of Belt Drive Elevator Traction Machine: Modelling of Double Side Belt System (Kayış Tahrikli Asansör Çekiş Makinesinin Tasarımı ve Üretimi: Çift Taraflı Kayış Sisteminin Modellenmesi)*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1187864>
- TS EN 81-1., 2008. Mühendislik Hizmetleri İhtisas Grubu, “Asansörler- Yapım ve montaj için güvenlik kuralları.”
- TS 1812., 2006. Mühendislik Hizmetleri İhtisas Grubu, “Asansörlerin hesap, tasarım ve yapım kuralları (elektrikle çalışan insan ve yük asansörleri için).”
- Targıt, S., 2011. *Asansörlerin Binayla Teması ve Kılavuzları*. Makine Mühendisleri Odası.
- Tong, W., 2014. *Mechanical Design of Electric Motors by Wei Tong | Perlego*. CRC Press.
- Yetiş, H., Meşe, E., & Biyikli, M., 2018. Design and Comparison of Ferrite Based IPM and NdFeB Based SPM Synchronous Motors for Gearless Elevator Systems. *2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 635-641. <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2018.8506825>