



## Asansörlerde Kullanılan Otomatik Kapı Mekanizması Raylarının Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi

### The Experimental Study of Tribological Properties of the Automatic Door Mechanism Rails Used in the Elevators

Ertuğrul Durak\*<sup>1</sup>, Mesut Tor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye  
<sup>2</sup>Özgün Soğutma ve Gıda İnşaat San. Tic. Ltd. Şti., Isparta, Türkiye

Başvuru/Received: 20/10/2023

Kabul / Accepted: 06/11/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2023

#### Öz

Bu makalede asansörlerdeki otomatik kapı ve kat kapıları mekanizmasındaki makara ile ray arasında çalışma sırasında oluşan sürtünme, aşınma özellikleri incelenmiştir. Asansör sistemlerindeki kat ve kapı mekanizmasındaki ray ve makaralarının düzgün ve hasarsız çalışmaları hem emniyet hem de konfor açısından önemlidir. Asansörlerdeki bu kapılardaki ray-makara arasında, çalışma sistemine göre farklılık gösterse de genellikle kuru ve/veya sınır sürtünme şartları oluşmaktadır. Bu çalışma şartlarında aşınma da kaçınılmaz olmaktadır. Literatürde ray, fren, makara gibi elemanların tribolojik özelliklerinin incelenmesi, genellikle Pim – Disk veya Gidip-Gelme Aşınma Test Cihazları gibi model test düzenekleri ile yapılmaktadır. Çalışmada iki tip test sistemi kullanılmıştır. Birincisi, proje (Durak, 2023) kapsamında üretici firmaların da öneri ve desteği ile tasarlanarak üretilen asansör kapı açma kapama sistem test modeli olurken, ikincisi Gidip Gelme Aşınma Test Cihazıdır. Test numunesi olarak piyasada çok yaygın kullanılan Galvaniz kaplanmış ray ve AFC (Kuru/Kaygan Film Yağlama Kaplama) teknolojisi ile kaplanmış ray numuneler kullanılmıştır. Numunelerin sürtünme katsayıları ve aşınma miktarları deneysel olarak tespit edilerek elde edilen test sonuçları yorumlanmıştır. Ayrıca hem makara hem de raylarda oluşan hasar durumları incelenmiştir. Elde edilen bulguların, asansör ve asansör elemanları imalatçıları için bir literatür, ray ve makara malzemesi geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“Asansör, makara, ray, sürtünme katsayısı, aşınma, Galvaniz kaplama, AFC kaplama”

#### Abstract

In this paper, properties such as friction and wear that occur during the operation between the rollers and rail in the automatic cabin door and landing door mechanisms of elevators were studied. Smooth and failure-free operation of the rails and rollers in the floor and cabin doors opening and closing mechanisms, which are integral components of elevator systems, is crucial for ensuring safety and comfort. Although elevator floor and car door mechanism rails vary according to the operating system, they generally operate in dry and/or boundary friction conditions. Under these working conditions, wear is inevitable. In the literature, the study of the tribological properties of materials such as rail, brake, and roller is usually done with model test rigs such as Pin on Disc or Reciprocating wear test systems. Two types of presented test systems were used in the study. First, a test model with an elevator car door opening and closing system designed and produced with the suggestions and support of the manufacturers within the scope of the project (Durak, 2023), and secondly, the reciprocating wear test rig were used. Galvanized coated rail and AFC (Dry/Slippery Film Lubricating Coating) technology, which is widely used in the market, were used as test specimens. The friction coefficients and wear amounts of the samples were determined experimentally and the test results obtained were interpreted. In addition, damage cases were observed on both the roller and the rails. It is expected that the findings will greatly contribute to the development of literature, rail, and roller materials for elevator and elevator element manufacturers.

#### Key Words

“Elevator, pulley, rail, coefficient of friction, wear, Galvanized coating, AFC coating”

\*Sorumlu Yazar: [ertugruldurak@sdu.edu.tr](mailto:ertugruldurak@sdu.edu.tr)

## 1. Giriş

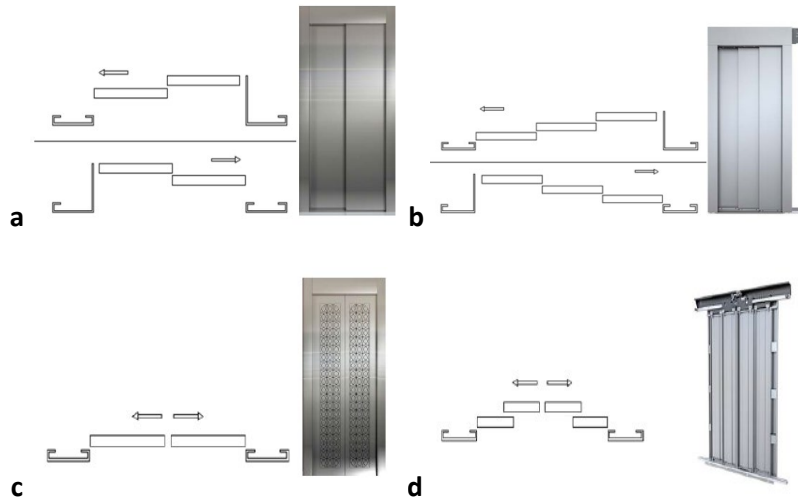
Asansörler binalarda özellikle dikey ulaşımın ana aracıdır ve günümüzde yüksek binaların başarısı için kritik öneme sahiptir. En yaygın kullanılan asansör tipi halatlı asansörlerdir. Bina ulaşım sistemlerinin tasarımı, üretimi, kurulumu ve analizinde çok sayıda farklı disiplin yer almaktadır. Binalardaki asansörlerin sayısı, hızı, kapasitesi, tasarımı ve seçiminde asansör trafik mühendisliğinden yararlanılmaktadır. Elektrik, elektronik ve makine mühendisliği, etkili ve güvenli asansörlerin tasarımı ve üretiminde, merkezi bir öneme sahiptir. Asansörlerin çalışacakları binanın içine güvenli bir şekilde montajının yapılması ve yapının asansörler tarafından uygulanan düşey ve yatay kuvvetleri destekleyebilmesini sağlamak için binadaki asansör boşluğunun dikkatli bir şekilde planlanması önemlidir.(Al-Sharif, 2021).

Asansörler düşey ve yatay yönde insan veya eşya taşımaktadır. Rezidans gibi çok yüksek katlı bina, hastane, iş yeri, konut, yurt, resmi kurum gibi binalarda da insanlar tarafından kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Binaların vazgeçilmez bir bölümüdür. Artık asansörsüz bir yerleşim biriminden söz etmek imkânsız hale gelmiştir(Ünverdi & Ünverdi, 2010).

Asansör sistemleri genel olarak kılavuz raylar, halat, paten, tampon, fren mekanizması, paraşüt sistemi, kabin, kapı, makine motor grubu, kuvvet ve kumanda panosu ve denge ağırlığı gibi ana elemanlardan oluşmaktadır. Eşya ve insanların bina katları arasında nakledilmesi için askı halatlarına bağlı, dış yüzeyi çelik profil iskeletli, açılıp kapanabilir kapılara sahip kabinler mevcuttur. Bu kabinlerdeki kapılar basit, yarı otomatik (çarpma kapı) veya tam otomatik olabilmektedir(İmrak & Gerdemeli, 2000, Yurtseven, 2010).

Asansör sistemlerinde, duraklarda kat kapıları ve kabinlerde ise kabin kapıları mevcuttur. Tam otomatik asansörün kapıları, kabin kapısı mekanizmasında bulunan motor ile tahrik edilmektedir. Asansör kabini hedefteki kat durağına ulaştığı zaman, kabin ve kat kapısı aynı zamanda birlikte açma ve kapama işlemi yapmaktadır.

Asansör durak kat ve kabin kapıları, istenen kapasitelere göre farklı ölçülerde ve asansör kuyusu boyutlarına göre üretilmektedir. Asansör kabini hareketten önce, kat kapılarının kapanması emniyet açısından gereklidir. Asansörün çalışma ve/veya asansörün çalışmadığı durumlarda da diğer katlarda da uygun emniyet elemanları ile kat kapılarının açılmaması temin edilmektedir. Asansörler yaygın kullanılan kat kapılarının açılma hareket yönüne göre farklı tiplerde (Şekil 1.) olmaktadır. Kat kapılarının tipinin seçiminde asansörün yük ve kişi taşıma kapasitesi ve kullanım şartları önemli olmaktadır. Otomatik veya elle açılan kat kapılarının eş zamanlı olarak kat kapısının kapandığını sağlayan elektriksel bağlantılarla temin eden kilit düzenekleri bulunmaktadır(Görmüş & Okçu, 2021).



**Şekil 1.** (a) İki Panelli Teleskopik Kat Kapısı, (b) Üç Panelli Teleskopik Kat Kapısı,  
(c) İki Panelli Merkezi Kat Kapısı, (d) Dört Panelli Merkezi Kat Kapısı,  
Şekil 1. Kat Kapı açılma tipleri (Görmüş & Okçu, 2021)

Asansör sistemlerinden biri olan kapı taşıma rayları ise kapının ağırlığının taşınması ve kapının hareket etmesini (açılıp-kapanmasını) sağlamaktadır. Kapı panellerinin takılı olduğu askı levhaları, raylar boyunca makaralar üzerinde hareket etmektedir. Bu hareket esnasında makara ile raylar arasında sürtünme ve aşınma olayları kaçınılmazdır(Şekil 2.).



**Şekil 2.** Testlerde kullanılan Panel Merkezi Açılır kapı örnekleri(AKE, 2023, İBK Asansör, 2023)

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın Asansör İşletme, Bakım ve Periyodik Kontrol Yönetmeliği'nin 15. Maddesi gereğince, "Bina sorumlusu, asansörün güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak üzere ayda bir kez bakımını ve yılda bir kez periyodik kontrolünü yaptırmaktan, bakım ve periyodik kontrol ücretinin ödenmesinden sorumludur." olduğu belirtilmektedir. Asansörlerin periyodik bakım onarım direktiflerinde göz önüne alınması gereken kontrollerden kabin ve kat kapıları ile ilgili olarak;

- Kapı kapama kontak veya kilit kontrolü,
- Pürüzsüz hareket yönünden kapıların kontrolü,
- Kapı kılavuzlama kontrolü,
- Kapı boşluk aralıklarının kontrolü,
- Tel halat, zincir veya kayışların uygunluk kontrolü,
- Yolcu (Kabin) kapısı koruma tertibatının kontrolü,
- Yağlama kontrolü

şeklinde yapılmaktadır(Karahan, 2016, TSE, 2009, BSTB, 2016).

Aşınma oksidatif, adhezif, abrazif, yüzey yorulması ve plastik deformasyon gibi farklı mekanizmalarla açıklanmaktadır. Literatürde "aşınma" tanımındaki ortak tema, temas halindeki yüzeylerdeki malzeme kaybına bağlı aşınma ve/veya malzemenin bu temas bölgesinin uzağında oluşan plastik deformasyona bağlı olmasıdır(Slatter vd., 2023). Gerek bu malzeme kayıpları gerekse söz konusu bu deformasyonlar makinelerin çalışmasını etkilemekte, bu da ekonomik kayıpları doğurmaktadır.

Aşınma hasarını azaltmak veya önlemek için, yağlayıcı malzemelerin kullanılması, temas bölgelerine yüzey işlemlerin uygulanması, yapısal tasarımın iyileştirilmesi ve alternatif yeni sürtünme çifti malzemelerinin kullanılması gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En basiti, doğrudan katı-katı temasını azaltmak ve arayüz durumu kuru ortamdan yağlı ortama değiştirmek için temas ara yüzüne yağlayıcı uygulamaktır. Önceki çalışmalar, katı yağlayıcıların yüksek hız, ağır yük, yüksek sıcaklık, yüksek vakum ve yüksek kirlilik altında sıvı yağlayıcılardan daha kararlı ve aşınmaya dayanıklı olduğunu göstermiştir. Katı yağlayıcı kullanımı ile sıvı yağlamalı yüzeylerdeki sıvı yağlayıcı miktarının yetersizliği veya yüksek yağ basıncının neden olduğu çatlak genişlemesi ve ilerlemesi sorunlarını etkili bir şekilde azaltılacağı da bilinmektedir. Bununla birlikte, zayıf yağlayıcı yapışması ve verimsizlik ile ilgili sorunlar genellikle katı yağlayıcı katı tozun doğrudan kullanımını sınırlamaktadır. Yüzey işleme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte araştırmacılar, katı yağlayıcı ve yüzey mühendisliğini birleştirildiği yüzeye bağlanmış katı yağlayıcı kaplama teknolojisi ile gerçekleştirilebilmektedir. Temas yüzeyine yapışan katı yağlayıcı kaplama teknolojisi, katı yağlayıcının organik veya inorganik bir bağlayıcı sistem içinde dağılmasına ve daha sonra sürtünme parçasının yüzeyinde kaplanmasına imkân tanımaktadır. Kürlenmeden sonra, katı yağlayıcı kaplama, aşınmaya karşı olağanüstü bir direnç göstermektedir Böylece kaplanan iş parçasının hizmet ömrünü önemli ölçüde uzatabilirken enerji tüketimini azaltabilmektedir. Yüzeye bağlanmış çevre dostu olan bu katı yağlayıcı kaplamalar tribolojik problemlerin çözümü olarak otomotiv, havacılık, her türlü mekanik ekipman ve nükleer santrallerde kullanımda mükemmel bir umut sunmaktadır(Yin vd., 2023).

Termal püskürtme teknolojileri, mekanik parça yüzeyinin güçlendirilmesi ve korunma teknolojisi olarak, mühendislik malzemelerinin aşınma ve korozyona karşı korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Termal püskürtme teknolojisi ile hazırlanan metal kaplama, malzeme yüzeyinin sürtünme performansını ve sertliğini artırarak kayma performansında ve aşınma direncinde önemli rol oynamaktadır. Bu tip kaplama uygulamaları, uzun hizmet ömrüne, kararlı sürtünme katsayısına, toksin organik çözücülerin kullanılmamasına, daha iyi aşınma direncine ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahiptir(Chen vd., 2021).

Çalışma sırasında birbiri ile temasta olan yüzeylerde sıvı film haricinde katı halde yağlayıcı malzemelerin yüzeye tabaka halinde bağlanması ile düşük sürtünme katsayılı bir hareket elde etmek mümkündür. Bu kaplama tabakası, sürtünme ve aşınma özelliğini iyileştirdiği gibi yüzeyi de korozyon başta olmak üzere çeşitli saldırgan çevre şartlarına da koruyabilmektedir. Yüzey farklı

malzemelerden oluşsa da bu kaplama ile tek çeşit bir kaplamayla homojenlik sağlamak mümkündür. Bu yüzey işlemi, ıslak tipi boyama işlemleri ile benzerlik göstermektedir. Kaplama malzemesine batırma, basınçlı hava ile püskürtme veya daldırma-döndürme metotları uygulanabilmektedir. Bu yüzey kaplama işlemi ile 5-20 µm bir tabaka kalınlığı elde etmek mümkündür. Bu yüzey işleminde genellikle MoS<sub>2</sub>, Grafit ve Politetrafloraetilen (PTFE) kuru yağlama maddesi olarak kullanılırken, epoksi, akrilik, Polyamidimid (PAI) poliüretan gibi malzemeler de birleştirici olarak kullanılmaktadır. İnce katı yağlama tabakası, elemanın çalışma süresince beklenen yağlama görevlerini gerçekleştirebilmektedir. Böylece en az aşınma hasarı elde etmek mümkün olabilmektedir. Söz konusu bu yüzey kaplama işlemi literatürde sürtünme azaltan veya modife edici kaplama (Anti Friction Coatings “AFC”) şeklinde de adlandırılmaktadır (EST, 2023).

Metal makine elemanlarının yüzeylerinin diğer metallerle kaplanması, ortamda bulunan dış etkilere karşı korumada en başarılı yollardan birisidir. Çinko diğer metallerle göre çok daha fazla aktif özelliğe sahip olduğundan, en fazla tercih edilen Çinko esaslı kaplama türüdür. Bunu krom, nikel, bakır, alüminyum, altın, kalay vb. metal malzemeler kullanılmaktadır. Metalik parçaların yüzeyinin çinko ile kaplanmasına “Galvaniz” kaplaması adı verilmektedir (Şimşek & Çetin, 2022). Çinko bazlı kaplamanın birincil odak noktası korozyon önleme olmasına rağmen, bu kaplamaların çelik alt tabakalara özgü diğer özellikleri, kaplama işlemi ve son uygulamalar konusunda muazzam gelişmeler olmuştur. Galvanizli çeliklerin özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra sağlam, verimli, yüksek verimli ve uygun maliyetli bir süreç geliştirme konusunda sürekli çabalar olmuştur (Chakraborty, vd. 2022). Bir kimyasal banyoya daldırılarak, elektroliz veya püskürtülerek uygulanan çinko fosfat gibi fosfat katmanları, korozyon direncini ve diğer kaplamaların yapışmasını artırmaktadır. Korozyon direncini artırmak için bu fosfat kaplamalara sıklıkla sızdırmazlık uygulanmaktadır. Bu kaplamaların sağladığı korumayı iyileştirmek için, genellikle MoS<sub>2</sub> parçacıkları içeren bir polimer katmandan oluşan ikinci bir aşınma önleyici katman da uygulanabilmektedir. Polimerik reçine parçacıkların kohezyonunu garanti ederken, çelik substratın yapışması bir fosfat kaplamanın uygulanmasıyla desteklenir. MoS<sub>2</sub>, grafit benzer özel morfolojisi sayesinde sürtünme ve aşınma en aza indirilebilmektedir. Bu nedenle bu katmanlı morfoloji, düşük gerilimler altında kaymaya yol açmaktadır (Rossi vd., 2003).

Erdoğan (2014) yüksek lisans tez çalışmasında, asansörlerdeki Molibdendisülfür ilaveli plastik (poliamid 66) ray makaraları 18-24°C ortam sıcaklığında dört farklı (4, 3, 2 ve 1 MPa) yüzey basıncına sahip yüklerde, 25 m/s kayma hızında ve 1269.20 km kat etme mesafesinde testler gerçekleştirmiştir. Testlerde uygulanan yük değeri arttıkça makaralardaki aşınma kaybının miktarının arttığı tespit edilmiştir. Temas bölgesindeki sıcaklık, testlerin başlangıcında kat etme mesafesine bağlı olarak bir artış göstermiştir. Bu sıcaklık artışı büyük yüklerde daha fazla olurken, düşük yüklerde çok belirgin olmadığı belirtilmiştir. Testlerin bitiminde transfer filmi oluşmadığı belirtilmiştir. Diğer yüksek lisans tez çalışmasında Kenan (2015), aynı test düzeneği ile asansör kapı mekanizmalarında kullanılan MoS<sub>2</sub> katkılı poliamid 66 rulmanlı makaranın kataforez, toz boya, galvaniz ve krom kaplamalı disk malzemesi 1.256 m/s sabit hız ve 3 MPa sabit basınçta testler yapılmıştır. Çalışmada kat etme mesafesi olarak 1500 m seçilmiştir. En fazla aşınma oranlarının kataforez kaplamalı numunede olurken, makaralarda ise en az aşınma bu kaplamada gerçekleşmiştir. Bu çalışmada gerçek ray yerine çelik malzemeli diskler kullanılmıştır.

Bu çalışmada daha önce incelenmeyen, asansörlerde kullanılan kabin ve kat kapılarının açılması-kapanmasında kullanılan makara ve raylar arasında oluşan sürtünme ve aşınma özellikleri deneysel olarak incelenmiştir (Durak, 2023). Mevcut uygulamalarda çelik ray veya galvaniz kaplamalı raylar kullanılırken, çalışmada galvaniz kaplamalı ve alternatif bir aday olarak AFC kaplamalı raylar seçilerek söz konusu bu kaplamalarla gerçek sistemdeki makara-ray çiftinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

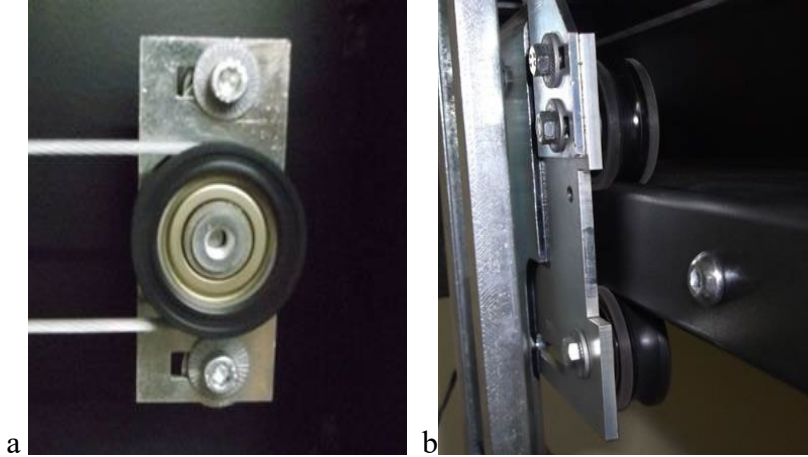
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel çalışma

Test numunesi olarak deneysel çalışmada, piyasada çok yaygın kullanılan Galvaniz kaplanmış ray (St 37-2) ile yine aynı malzemeli (St 37-2) raya AFC (Kuru/Kaygan Film Yağlama Kaplama) teknolojisi ile kaplama uygulanmış numuneler kullanılmıştır. Numune raylara kaplama işlemi, ticari olarak bu sektörde faaliyet gösteren üretici firmalarda gerçekleştirilmiştir. Galvaniz kaplama elektroliz işlemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu metotta anot elektrotuna çinko, katot kutbuna ise ray malzemeleri bağlanmaktadır. Devredeki yüksek akım, düşük gerilim üretici ve redresör sayesinde çinkolar parçalanarak ray malzemelerine yapışması sağlanır. Bu yöntemde saf çinko kullanılır. Ray numuneleri zımparalama ve temizleme (yıkama ve ultrasonik temizleme) yapıldıktan sonra nitrik asitte bekletildikten sonra kaplanıp kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplanan ray numuneleri saf suyla yıkandıktan sonra pasivasyon işlemi yapılmaktadır. Rayların AFC kaplamasında ise ray numunelerin yüzeyler temizlenip zımparalandıktan sonra MoS<sub>2</sub>, Grafit ve PTFE ve birleştirici maddelerden oluşan ticari karışım yüzeye yaklaşık 20 µm tabaka kalınlığı oluncaya kadar püskürtülmektedir. Daha sonra 150-160 °C'ye kadar bir saat süre ile fırınlanmaktadır. Daha sonra ray numunelerine pasivasyon işlemi yapılmıştır. Kaplama işlemleri piyasada faaliyet gösteren kaplama firmalarına yaptırılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde asansör kabin kapısının açma – kapama mekanizması için bir model test seti tasarlanarak imal edilmiştir. Bu model test sisteminde ray numuneleri ile polimer esaslı makaralar arasında temas sonucu oluşan yüzeyleri gözlemlenmiştir. Makaralarda oluşan aşınma miktarları ise kütle kayıpları ölçülerek aşınma özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise Gidip-Gelme Aşınma Test sistemi kullanılmıştır. Test süresinde ray ile makara arasındaki sürtünme katsayıları ve makaralardaki kütle kaybı ile de aşınma özellikleri incelenmiştir.

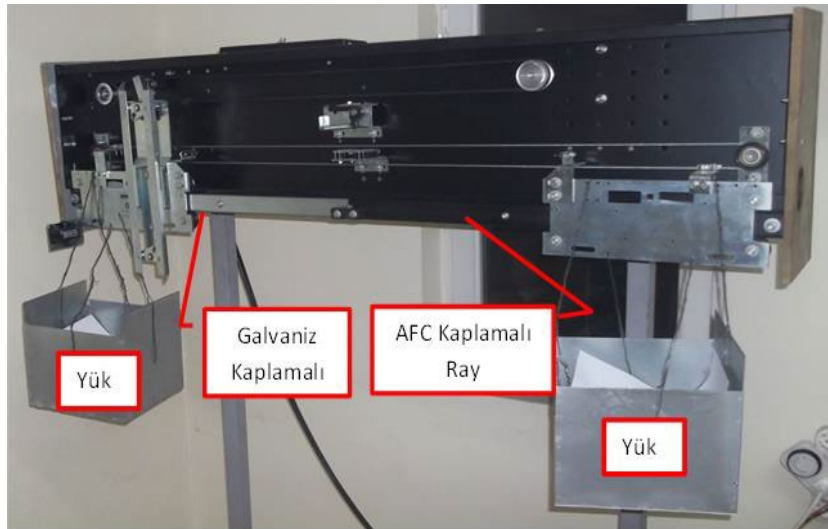
Asansör kabin kat kapı mekanizmasında üç ana tip makaradan söz etmek mümkündür. Halat (Kablo) Makarası, Üst Makara ve Alt Makara'dan oluşmaktadır (Şekil 3.). Piyasada genellikle polimer esaslı, orta bölümünde rulman bulunmaktadır. Gres ile yağlanmış bu rulmanın iki tarafı da kapalı olarak piyasada hazır olarak temin edilmiştir. Pratikte bazı firmalar plastik, polimer esaslı rulmanlı bu makaralar yerine derin çekme metal malzemeden üretilmiş rulmanlı makaralarda kullanılmaktadır. Alt ve üst makaralar kapı ağırlığının dengeli bir şekilde taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Bu mekanizmanın ağırlığı taşımasının yanında mümkün olduğunca sessiz ve darbesiz çalışması istenmektedir. Kaplama özelliğinin kapının sessiz ve yumuşak çalışmasında önemi büyüktür. Kapının kayarak takip ettiği yolun dışına çıkmasını sınırlandırıcılarla engelleyecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3. (a) Kablo makarası, (b) Üst ve alt makara örnekleri

## 2.2. Deney düzenekleri

Bu çalışmada daha öncede belirtildiği gibi iki farklı deney düzeneği kullanılmıştır. Birinci deney düzeneği bu çalışmada (Durak, 2023), gerçek asansör sistemindeki kabinlerde yer alan otomatik kapı mekanizmasındaki ray ve makaralarının sürtünme ve aşınma özelliklerinin deneysel olarak incelenmesini sağlayan açma ve kapama hareketi yapabilen model bir test düzeneği tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu deney düzeneği Şekil 4.'te görülmektedir.



Şekil 4. Açma-kapama hareketi yapabilen model kabin kapı deney düzeneği

Bu deney düzeneğinde kabin kapısı yerine kabin kapısıyla aynı ağırlıkta (çift merkezi kapıların ağırlığı olarak yaklaşık 220 N seçilmiştir.) yükler asılmıştır. Böylece gerçek çalışma şartlarına uygun koşullar sağlanması amaçlanmıştır. Kabin kapılarındaki gerçek çalışma hızı (0.225 m/s) ve kapının ortalama açma kapama süresi olarak (18.5 s) ve üretici firmalarla iletişime geçilerek ortalama açma kapama sayısı seçilmiş ve bu çalışma şartlarında deneyler yapılmıştır. Belirlenen açma kapama sayısına ulaşıldığında, testlere ara verilerek makara ve ray yüzeyleri incelenmiştir. Yüzeylerde aşınma izleri görülünceye kadar testlere devam edilmiştir. Bu deney düzeneğinde kabin kapısının birinde galvaniz kaplı ray, diğer kapısında AFC kaplamalı ray aynı anda kullanılmıştır(Şekil 4). Böylece eşit şartlarda iki farklı rayda oluşan aşınma miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Aşınma miktarları kütle kaybı ile

ölçülmüştür. Testlerden önce ve sonra numuneler, hegzan sıvısı ile yıkanıp sıcak hava ile kurutulup tartma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel düzeneğindeki açma-kapama hareketleri mekanik ve dijital sayaç ile takip edilmiştir.

İkinci deney düzeneği olan Gidip-Gelme Test Sisteminin (GGTS) genel görünüşü verilmiştir. GGTS’de tahrik motoru olarak elektrik motoru (1,5 kW, 1390 d/d, 220 V) seçilmiştir. Elektrik motoru miline feder kaması ile monte edilen dairesel flanştaki vida bağlantısı yardımıyla küresel mafsalsız bağlantılı bir kol mevcuttur. Bu kolun diğer ucunda bir adet plaka bulunmaktadır. Böylece plaka öteleme hareketi yaparak üzerindeki test numunesi ile temas gerçekleştirilmektedir. Dairesel flanşta farklı vida konumu değişen yarıçap ile eksantriklik miktarını değiştirmek mümkündür Böylece ayarlanabilir bir kurs boyu sağlanabilmektedir. Plaka ile test makarası arasında oluşacak sürtünme kuvveti, bağlı olan yük hücresine kuvvet aktarımı gerçekleştirilmektedir. Çalışma sırasında sürtünme kuvveti ile zorlanan yük hücresindeki elektronik-elektrik bağlantısı ile alınan sinyaller kablo vasıtasıyla indikatörde gerekli dönüşüm ve filtreleme yapıp depolamak üzere masa üstü bilgisayara gönderilmektedir. GGTS’ye eklenen frekans ayarlayıcı ünite ile 50 d/d -1200 d/d arasında hızlar elde etmek mümkündür (Yurtseven, 2010).



Şekil 5. GGTS’nin genel görünüşe ait fotoğraf

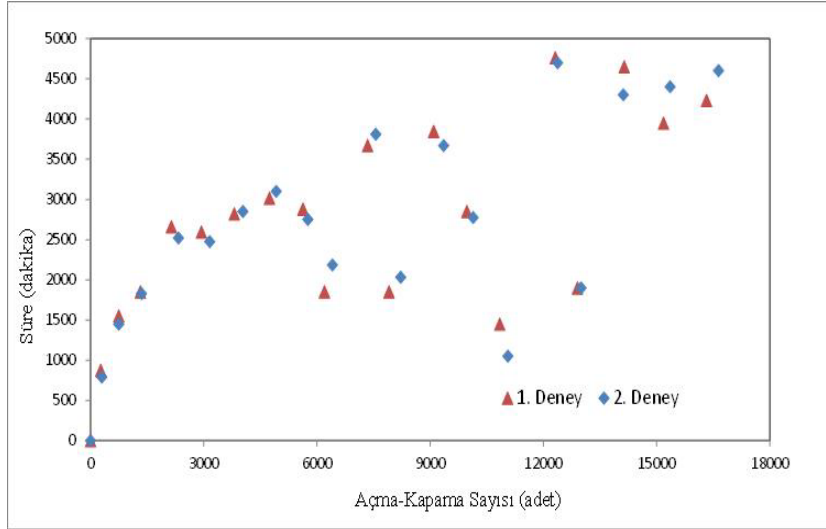
GGTS’deki makaranın bağlandığı pabuç sabit tutularak ray doğrusal hareket yapmaktadır. Makara içerisinde küresel yuvarlanmalı yatak mevcuttur. Gerçek çalışma şartlarında, montajdan veya çalışma şartlarından dolayı makaralar rulmanlı yatak olmasına rağmen zaman zaman beklendiği gibi yuvarlanma hareketi yaparken, zaman zaman da dönme hareketi yapmayıp sabit kalmakta ve böylece yuvarlanma hareketi yerine kayma hareketine maruz kalabilmektedir. Bu nedenle test sisteminde de bu durumları gerçekleştirebilmek için sabit ve yuvarlanma hareketi yapacak şekilde test numunesi makaraların montajı yapılarak iki tip testler gerçekleştirilmiştir. Test sonlarında hem makara hem de raylarda herhangi bir hasar meydana gelip gelmediği gözlemlenmiştir. GGTS’de (Şekil 5.) gerçek çalışma koşullarındaki şartlara uygun olarak yük 220 N makaraya etki etmekte; 0,225 m/s doğrusal hızla ray numunesi üzerinde makaralar hareket etmektedir. Frekans 5 Hz, rayların bağlandığı eksantrik diskin dönme hızı ise 150 d/d olarak seçilmiştir. Test süresi olarak 3600 s (bir saat) seçilmiştir. Kat etme mesafesi ise yaklaşık 1300 m olarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

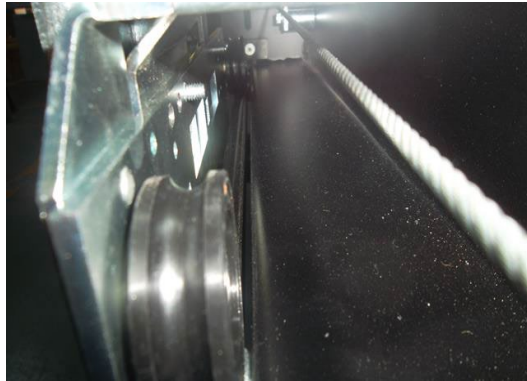
Asansör sistemi, binada yaşayan, çalışan veya ziyaret eden yolcuları gidecekleri yere rahat ve verimli bir şekilde taşımaktan sorumlu dikey bir taşıma sistemidir. Uygun boyutta ve iyi durumda bir asansör sistemi, binanın kullanılabilirliğini artırır, böylece yolcuların konforlu bir transferi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bina sahiplerine de memnun bir müşteri ve/veya kiracı profili sağlayarak ekonomik katkılar da sağlayabilmektedir (Tyni & Ylinen, 2006). Yolculuk konforuna, tahrik motoru, halatlar, kılavuz raylar, patenler, kabin ve kabin elemanları etki etmektedir. Kabin kapıları da bu elemanlardan bir tanesidir. Zhang & Zubair (2022) 5400 adet asansör üzerine yapmış oldukları bakım stratejilerini belirlemeye yönelik çalışmalarında Pareto analizi ile otomasyon, kabin kapısı mekanizması, kat kapısı mekanizması ve kabin kafesindeki diğer elemanlardaki arızaların asansörlerin güvenilirliğini etkileyen kritik nedenler olduğunu ortaya koymuştur.

Kabin kapı model test sisteminde yapılan testlerde, ray ve makarada herhangi bir aşınma izi, hasar oluşup oluşmadığını deneylere ara verilerek numune yüzeyleri gözle incelenmiştir. Şekil 6.’da verilen grafikteki veriler, yapılan gözlem süreleri ve bu süredeki kapının açma-kapama sayılarını göstermektedir. Yapılan test sonuçlarında hem galvanizli hem de AFC kaplı raylarda 1. Deney ve 2. Deney’de herhangi bir gözle görünür aşınma izi ve hasarı (bazı AFC kaplamalı raylarda kaplamalı raylardaki çalışma bölgesinde koyu siyah renkte bir beyazlanma, yüzeyde parlamalar görülmüş, bu da bu numunelerde tabaka kalınlığında bir düşüşün başladığının göstergesi olduğu anlamına gelmektedir.) görülmemiştir. Ancak makaralarda ise aşınmalar ve partikül kopmaları

gözlenmiştir. Galvaniz kaplı ray ile çalışan makarada 1. Deney’de 1320 dakikalık çalışma süresi (3. gözlem sonunda) sonunda toplam 4275 açma-kapama işleminden sonra bu aşınma hasar başlangıcı olurken, AFC kaplı ray ile çalışan makarada 6230 dakikalık süre ( 9. gözlem sonunda ) sonunda toplam 20 095 açma-kapama işleminden sonra aşınma gözlenmeye başlanmıştır. 2. Deney’de ise Galvaniz kaplamalı ray ile çalışan makarada 750 dakikalık süre (2. gözlem sonunda) sonunda toplam 2240 açma-kapama işleminden sonra aşınma olurken, AFC kaplı ray ile çalışan makarada 5760 dakikalık süre (8. gözlem sonunda) sonunda toplam 17 765 açma-kapama işleminden sonra söz konusu aşınma hasarları gözlenmeye başlanmıştır. Deney sırasındaki örnek bir makara fotoğrafı Şekil 7.’de verilmiştir. Makaradan kopan aşınma partikülleri raylara yapıştığı gözlenmiştir.



Şekil 6. Model Otomatik kabin kapı test düzeneği ile yapılan test sonuçları



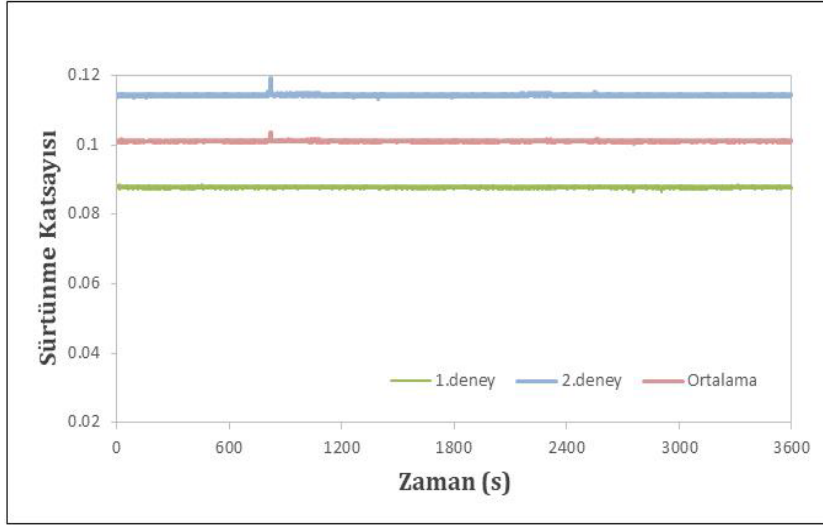
Şekil 7. Model Otomatik kabin kapı test düzeneğinde deney sırasında örnek makara fotoğrafı

GGTS’de elde edilen sürtünme katsayıları sonuçları Şekil 8.-12.’de verilmiştir. AFC kaplamalı ray-makara çiftlerinde sürtünme katsayıları Galvaniz kaplamalı ray-makara çiftine göre daha düşük sürtünme katsayısı sahip olduğu rahatlıkla grafiklerde (Şekil 8-12) görülmektedir.

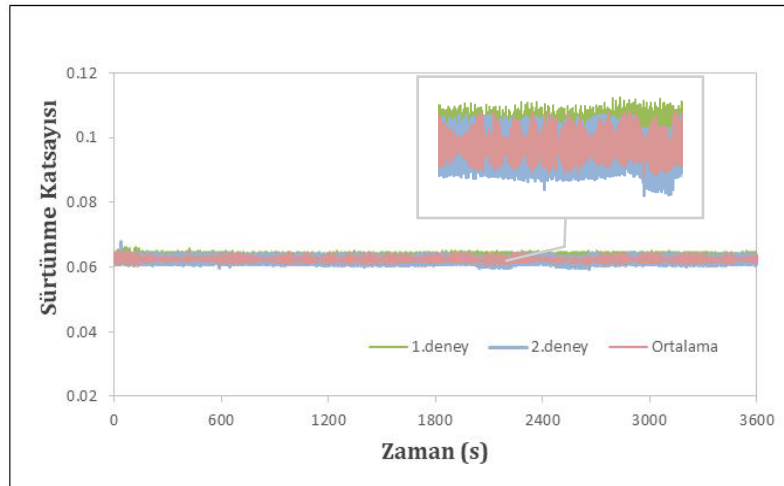
Makaranın yuvarlanma hareketi yaptığı deneylerde her iki rayda daha az değişken bir davranış gösterirken makaranın sabit olduğu testlerde daha dalgalı bir sürtünme katsayısı değişimi deney süresi boyunca sergilemiştir. Bunun sebebinin temas bölgesinde sürtünme sonucu muhtemel sıcaklık artışı ile kauçuk makara malzemesinin yumuşayarak raya tutunma-bırakma hareketi sergilenmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yuvarlanma hareketi yaptığı deneylerde her iki rayda daha büyük ortalama sürtünme katsayısı (Galvaniz kaplamalı ray- hareketli makara  $\mu_{ort} = 0.1012$ , AFC kaplamalı ray- hareketli makara  $\mu_{ort} = 0.063$ , Galvaniz kaplamalı ray-sabit makara  $\mu_{ort} = 0.0992$ , AFC kaplamalı ray-sabit makara  $\mu_{ort} = 0.0587$ , Şekil 8-12) meydana gelmiştir.

Tablo 1.’de 220 N yükte, 150 d/d devirde, 5 hz frekans ve 0,225 m/s hızda Galvaniz kaplı ray ve AFC kaplamalı rayda meydana gelen aşınma miktarları verilmiştir. Otomatik kapı sistemindeki deneylerde Galvaniz kaplı rayda kullanılan makaralarda daha fazla aşınma olduğu görülmektedir (Tablo 1.). Ayrıca sürtünme katsayısı sonuçlarına benzer olarak sabit makaralı deneylerde her iki rayda da aşınma değerlerinin fazla olduğu da görülmektedir. Gidip-Gelme Test Sisteminde, hem galvanizli hem de AFC kaplamalı raylara deney sırasındaki örnek görüntüler ve bu raylarda kullanılan makaralara ait deney sonunda örnek makara görüntüleri Şekil 13. ve

Şekil 14.'te verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi deney sonunda bazı AFC kaplı raylarda kaplama yüzeyinde aşınmalar olduğu gözlenmiştir(Şekil 15.). Bu numunelerde zamanla kaplama kalınlığında incelme olduğu, bunun sonunda renkte beyazlaşma ve parlak bir görünüme sebep olduğu düşünülmektedir.

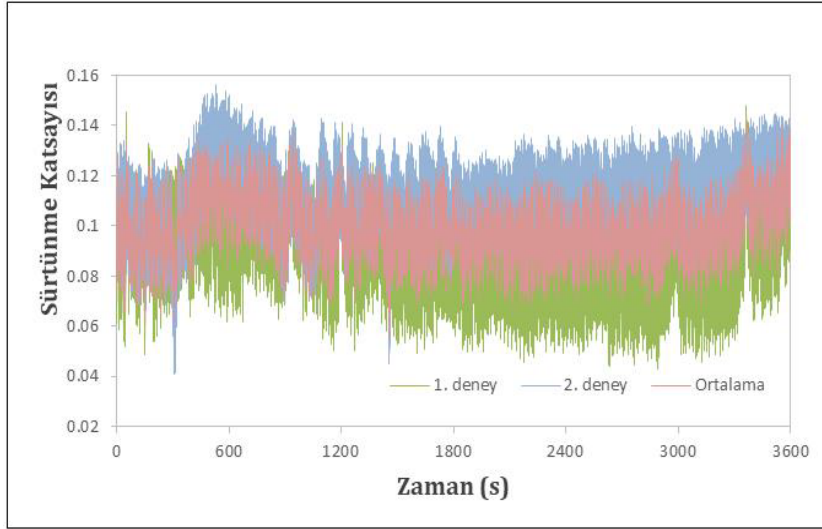


Şekil 8. Makara yuvarlanma hareketli Galvanizli ray çiftindeki sürtünme katsayısı değişimleri

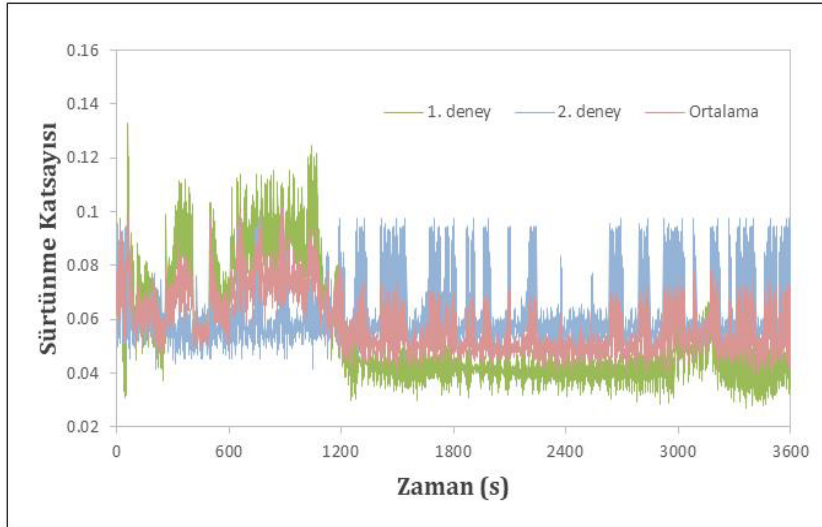


Şekil 9. Makara yuvarlanma hareketli AFC ray çiftindeki sürtünme katsayısı değişimleri

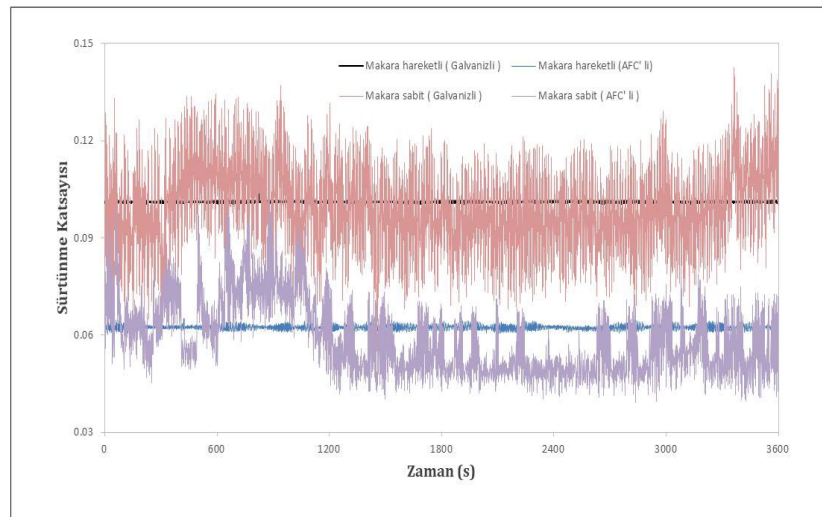




Şekil 10. Makara sabit Galvanizli ray çiftindeki sürtünme katsayısı değişimleri



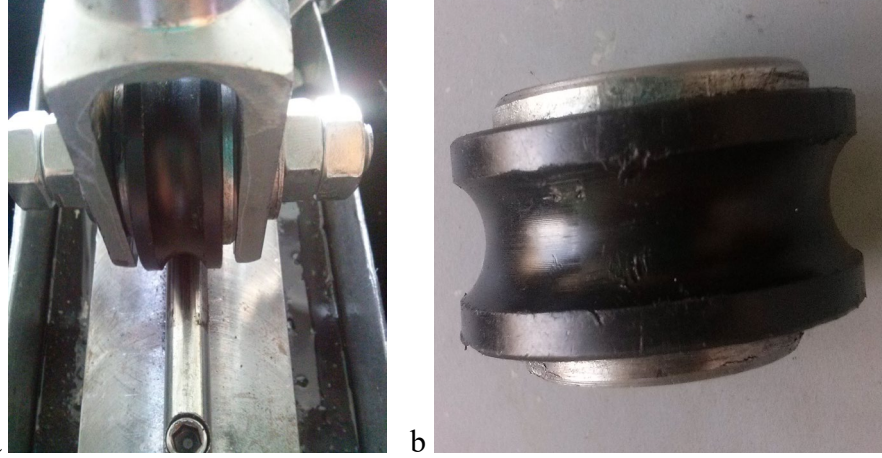
Şekil 11. Makara sabit AFC ray çiftindeki sürtünme katsayısı değişimleri



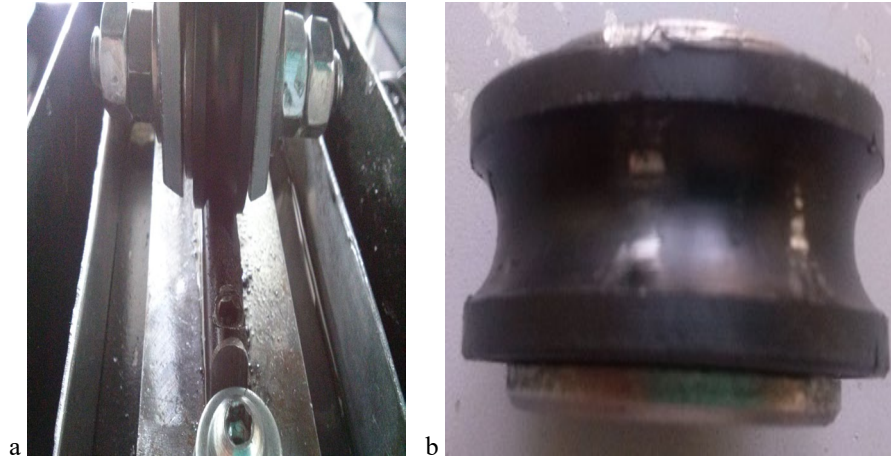
Şekil 12. Tüm deneylerdeki ortalama sürtünme katsayılarının değişimleri

**Tablo 1.** Makaralarda oluşan ortalama aşınma miktarları

<b>Otomatik kapı model test sistemi</b>	<b>(g)</b>
Galvaniz kaplamalı ray	1.980
AFC kaplamalı ray	0.040
<b>Gidip –Gelme Test Sistemi</b>	
Makara sabit-Galvaniz kaplamalı ray	10.8428
Makara sabit- AFC kaplamalı ray	6.5420
Makara hareketli- Galvaniz kaplamalı ray	0.0030
Makara hareketli-AFC kaplamalı ray	0.0007



**Şekil 13.** (a) Galvaniz kaplamalı ray hareketli sabit makara örnek test, (b) testlerde örnek kullanılmış makara



**Şekil 14.** (a) AFC kaplamalı ray hareketli sabit makara örnek test, (b) testlerde örnek kullanılmış makara



**Şekil 13.** AFC kaplamalı ray temas bölgesindeki aşınma örneği

Yapıştırılmış katı yağlayıcı kaplamanın yağlama özellikleri, dolgu maddesi seçimi ile doğrudan ilişkilidir. Politetrafloroetilen (PTFE), Molibdendisülfid (MoS<sub>2</sub>) ve grafit en sık kullanılan üç katı yağlama dolgu maddesidir. Bununla birlikte, grafit ve PTFE yumuşak doku ve düşük mekanik özellikler sergiler. Buna karşılık, aşırı basınç yağlayıcı olarak, katmanlı kristal yapıya sahip MoS<sub>2</sub>, üstün yük direnci ve kolay kayma karakteri gösterir, çünkü katman içindeki kovalent bağ güçlüdür ve katmanlar arasındaki Van der Waals kuvveti zayıftır. Bu nedenle, yağlama özelliği, onlarca yıldır tribolojik alanda her zaman ilgi çeken bir konu olmuştur. Buna bağlı olarak MoS<sub>2</sub> katı yağlayıcı kaplama araştırmaları da çok sayıda rapor edilmiştir. Yapışmış MoS<sub>2</sub> katı yağlayıcı kaplamanın burulma, dönme ve bileşik aşınma davranışlarının incelemelerinde; kaplama, yalnızca sürtünme katsayısını etkili bir şekilde azaltmakla ve aşınma direncini iyileştirmekle kalmadığı, aynı zamanda orta karbonlu çelik ve 1050 çeliğin fretting aşındırma moduna doğru değiştiği belirtilmiştir (Yin vd., 2023, Luo, vd., 2011, Luo, vd., 2015, Shen, vd., 2016). Hiraoka, vd., (2001) MoS<sub>2</sub>'nin aşınma ömrü olduğunu ve vakumdaki film yağlayıcılar havadakinden onlarca kat daha uzunlukta olduğu, ancak vakumdaki sürtünme katsayısı havadakinin sadece dörtte biri kadar olduğu belirtilmiştir. Bu, filmin yüksek vakumlu ortamlar için de uygun olduğunu ve pratik uygulamalarda daha fazla olasılık gösterebileceğini kanıtıyor. Xu vd., (2020) yapıştırılmış MoS<sub>2</sub> katı yağlayıcı kaplamanın teğet aşınma ömrünün, alt tabakanın sertliğini ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirerek veya kaplamanın kalınlığını artırarak, kürlenme yöntemini değiştirerek ve bağlı nemi azaltarak uzatılabileceğini öne sürmektedirler. Kısacası mevcut çalışmalar MoS<sub>2</sub>'nin mükemmel tribolojik özelliklerini doğrulamıştır. Katı yağlayıcı kaplama, çalışma koşullarının, ortamın, aşındırma modunun veya diğer dış faktörlerin ve bağlayıcı türlerinin kaplama performansı üzerindeki etkisine odaklanmışlardır (Yin vd., 2023).

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada asansörlerde kullanılan otomatik kabin kapı ve kat kapıları mekanizmasındaki makara ile ray arasındaki sürtünme, aşınma gibi tribolojik özellikler incelenmiştir.

- AFC kaplamalı raylar kullanılması ile makaralarda oluşacak sürtünme ve aşınmayı azaltmanın mümkün olduğu görülmüştür.

- Makaraların hatalı montajından yuvarlanma hareketi yapmasının engellenmesi durumunda daha fazla sürtünme katsayısı ve daha fazla aşınma görülebileceği, bunun sonucunda hem enerji tüketimi hem de makaranın beklenenden daha kısa ömürlü olmasına neden olacağı anlaşılmaktadır.

- Bu çalışma ile asansör imalatçı kuruluşlar için yararlı bilgilerin yanında yeni ray ve makara malzemelerin geliştirme potansiyeline bir katkı verebileceği, montaj ve bakım onarım tekniklerinin de gerektiği gibi yapılması için dikkatleri çekeceği beklenilmektedir.

- Son olarak, asansör sistemlerindeki elemanlarından biri olan asansör kabin kapı makara-ray sistemlerinin daha güvenilir şekilde çalışabilmesini sağlamak amacıyla bir standart, bir uygunluk kriteri oluşturulmasına katkı koyabileceği düşünülmektedir. Daha önce sınırlı sayıda yapılan çalışmalarla (Yurtseven, 2010., Erdoğan, 2014., Kenan, 2015.) birlikte, asansör sistemlerini oluşturan elemanların standartlaştırılmasına yönelik yeni yapılacak çalışmalara önemli katkı vereceği de ayrıca beklenmektedir.

#### Teşekkür

Sunulan makale, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce Proje ID: 3029, Proje Kodu 3134-YL-12 nolu proje ile desteklenmiştir. Kuruma desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

#### Referanslar

Ake Asansör, Yürüyen Merdiven, Engelli Sistemler, [https://ake.com.tr/uploads/documents/Asansor\\_Sistemleri.pdf](https://ake.com.tr/uploads/documents/Asansor_Sistemleri.pdf), Erişim Tarihi 03.09.2023

Al-Sharif, L. (2021). Indoor Transportation, Editor(s): Roger Vickerman, International Encyclopedia of Transportation, Elsevier, 684-696, ISBN 9780081026724, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10762-6>

BSTB, (2016), Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, "Asansör işletme, bakım ve periyodik kontrol yönetmeliği", 29396 Sayılı Resmi Gazete, 24 Haziran 2016

Chakraborty, A., Ghosh, R., Sudan, M., Mondal, A., (2022). Improvement in hot dip galvanized coating microstructure and properties by pre-metallic deposition on steel surface: A comprehensive review, Surface and Coatings Technology, 449, 128972, ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128972>

Chen, W., Wang, Z., Xu, G., Song, W., Xie, Y., Zhao, L., Xia, M., Li, W., (2021). Friction and anti-corrosion characteristics of arc sprayed Al+Zn coatings on steel structures prepared in atmospheric environment, *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 6562-6573, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.084>

Durak, E. (2023) Asansörlerde kullanılan otomatik kapı mekanizması raylarının tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi, Proje ID: 3029, Proje No:3134-YL-12, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı Proje Raporu.

Erdoğan, Y.E. (2014). PA 66 Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Asansör Kapı Makaralarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tez No: 363870, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

EST Endüstri Teknik Yüzey İşlemleri, <http://estyuzeykaplama.com/>, <https://estyuzeykaplama.com/hizmetler/kuru-film-yaglama-kaplama-technocoat/> Erişim Tarihi 05.09.2023.

Görmüş, M. & Okçu., Y.B., (2021), Asansör kat kapıları kilitleme tertibatları, kat kapıları sarkaç çarpma testleri ve TS EN 81:20, TS EN 81:50 standartları gereklilikleri, 10. Asansör Sempozyumu, 121-144, 18-20 Kasım 2021, İzmir

Hiraoka, N. (2001). Wear life mechanism of journal bearings with bonded MoS<sub>2</sub> film lubricants in air and vacuum, *Wear* 249, [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00845-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00845-6).

İBK Asansör, <https://www.ibkasansor.com/tam-otomatik-kabin-kapisi#product>, Erişim Tarihi 03.09.2023

İmrak, C. E. & Gerdemeli, İ. (2000). Asansörler ve Yürüyen Merdivenler. Birsen Yayınevi, İstanbul

J. Xu, M.H. Zhu, Z.R. Zhou, P. Kapsa, L. (2003). Vincent, An investigation on fretting wear life of bonded MoS<sub>2</sub> solid lubricant coatings in complex conditions, *Wear* 255, 253–258, [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00053-x](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00053-x)

Karahan, I. (2016). Asansör bakım işlerinde risklerin değerlendirilmesi ve çözüm önerileri. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

Kenan H., (2015). MoS<sub>2</sub> Katkili PA 66 rulmanlı makaranın kaplama yapılmış AISI1050 imalat çeliği karşısında aşınma davranışının incelenmesi, YL Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Luo, J., Cai, Z.B., Mo, J.L., Peng, J.F., Zhu, M.H., (2015). Torsional fretting wear behavior of bonded MoS<sub>2</sub> solid lubricant coatings, *Tribol. Trans.* 58 (2015) 1124–1130, <https://doi.org/10.1080/10402004.2015.1045649>.

Luo, J., Zhu, M.H., Wang, Y.D., Zheng, J.F., Mo, J.L., (2011). Study on rotational fretting wear of bonded MoS<sub>2</sub> solid lubricant coating prepared on medium carbon steel, *Tribol. Int.* 44 1565–1570, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.10.011>.

Rossi, S., Chini, F., Straffelini, G., Bonora, P.L., Moschini, R., Stampali, (2003). A., Corrosion protection properties of electroless nickel/ptfe, phosphate/mos<sub>2</sub> and bronze/ptfe coatings applied to improve the wear resistance of carbon steel, *Surface and Coatings Technology*, 173(2–3), 235-242, ISSN 0257-8972, [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00662-5](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00662-5)

Shen, M.X., Cai, Z.B., Peng, J.F., Peng, X.D., Zhu, M.H., (2016). Antiwear properties of bonded MoS<sub>2</sub> solid lubricant coating under dual-rotary fretting conditions, *Tribol. Trans.* 60 (2016) 217–225, <https://doi.org/10.1080/10402004.2016.1158338>.

Slatter, T., Zalzal, M., Lewis, R., 2023. Analysis of reciprocating hammer type impact wear apparatus, *Wear*, 523, 204816, ISSN 0043-1648, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204816>.

Şimşek, S., & Çetin, B., (2022). Galvaniz kaplamada banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğunun kaplamanın mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 544-552

TSE, (2009), Türk Standartları Enstitüsü, “TS EN 13015+A1 Standardı, Asansör ve Yürüyen Merdivenlerin Bakımı - Bakım Talimatları İçin Kurallar”, 2009

Tyni, T. & Ylinen, J., (2006). Evolutionary bi-objective optimisation in the elevator car routing problem, *European Journal of Operational Research*, 169, 3, 960-977, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.08.027>

Ünverdi, N.Ö. & Ünverdi, N.A. (2010), Asansör sistemlerindeki iletişim mekanizması, *Mühendis ve Makina*, 51 (611), 23-29.

Yin, J., Yan, H., Cai, M., Song, S., Fan, X., & Zhu, M., (2023). Bonded flake MoS<sub>2</sub> solid lubricant coating: An effective protection against fretting wear, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 117, 450-460, ISSN 1226-086X, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.10.033>

Yurtseven, A.H. (2010), *Asansörlerde Kullanılan Fren Balatalarının Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta

Zhang, X., & Zubair, M.U., (2022). Extending the useful life of elevators through appropriate maintenance strategies, *Journal of Building Engineering*, 51, 104347, <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104347>.