

ASANSÖR KONSOLLARININ DEPREM YÜKÜ ALTINDA YAPISAL ANALİZİ VE TASARIMI

E. Bahadır Aygün¹, Yusuf Kısa², Abdülmelik Sancak³, Adem Candaş⁴,
C. Erdem İmrak⁵

Asansör Teknolojileri Laboratuvarı, Makina Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi^{1,2,3,4,5}
aygune19@itu.edu.tr¹, kisa19@itu.edu.tr², sancak17@itu.edu.tr³, candas@itu.edu.tr⁴,
imrak@itu.edu.tr⁵

ÖZET

Dünyada ve özellikle ülkemizde etkili olan depremler sırasında ve sonrasında asansör sistemlerinin işlevselliğini korunması büyük önem taşımaktadır. Asansör sisteminin veya elemanların sismik yüklerin etkisiyle hasar görmesi afet sonrası tahliyeyi de zorlaştırır. Bu nedenle, depreme dayanıklı binaların inşası sırasında, asansör sistemleri de bu duruma uygun tasarlanmalıdır. Asansör sisteminin en kritik yapısal elemanlarından biri rayların düşey sabitlenmesini sağlayan konsol elemanlarıdır. Bu çalışmada deprem anında konsol elemanlarına etkiyen sismik kuvvetler incelenmiş, ardından sonlu elemanlar yöntemiyle konsolların deprem nedeniyle oluşan zorlamalara dayanımı analiz edilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda; sismik bölgelerde kullanılacak yeni bir konsol tasarımı geliştirilmiştir.

1. GİRİŞ

Asansörler bir yapıda düşey yönde insan ya da herhangi bir ağırlığı katlar arasında güvenli ve verimli bir şekilde taşımaya yarayan bir transfer aracıdır. Dünyada ve özellikle ülkemizde etkili olan depremler sırasında ve sonrasında asansör sistemlerinin işlevselliğinin korunması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, depreme dayanıklı binaların inşası sırasında, asansör sistemleri de bu duruma uygun tasarlanmalıdır. Asansörlerin ana komponentleri; asansör kabini, konsollar (frame), karşı ağırlık, konsol mesnet (bracket), kılavuz raylar, asansör motoru, asansör kapısı, kat kapısı ve benzeridir.

Asansör sisteminin en kritik yapısal elemanlarından biri olan ve rayların düşey sabitlenmesini sağlayan konsol elemanları; braketten farklı olarak iç kısmına karşı ağırlığın konumlandığı bir yapıdır ve raylar ile asansör kuyusu duvarı arasında bir köprü kurarak sabitlenmesi amacıyla da kullanılır.

Depremler sonrasında halatlı asansörlerin karşı ağırlık, patenler, askı halatları gibi kılavuz ray konsolları da hasar görmektedir. 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında yapılan saha çalışması sonuçları arasında Şekil 1'de görülen konsol hasarları tespit edilmiştir.



Şekil 1. 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası konsol elemanları

Bu çalışmada deprem anında konsol elemanlarına etkiyen sismik kuvvetler incelenmiş, ardından sonlu elemanlar yöntemiyle konsolların deprem nedeniyle oluşan zorlamalara dayanımı analiz edilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda; sismik bölgelerde kullanılacak yeni bir konsol tasarımı geliştirilmiştir.

2. KONSOL YAPILARI

Asansörlerin deprem sırasında ve sonrasında güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla kabin, konsol, kılavuz ray ve karşı ağırlık gibi bileşenlere ilişkin standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlar, asansör sistemlerinde deprem anında alınması gereken güvenlik önlemlerinin yanı sıra, deprem sonucu elemanlara etkileyen kuvvetleri hesaplayarak olumsuz etkileri azaltacak hesaplama yöntem ve tablolarını da sağlar. Asansörlere yönelik sismik gereklilikler ülkeler ve bölgeler arasında farklılık göstermektedir. Ülkemizde, deprem şartlarına tabi asansörler konusunda Avrupa'da kullanılan EN 81-77 standardına uygun olan TS EN 81-77 standardını kullanmakta; ASME A1.1 standardı Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmaktadır. Bu standartlar boyut, kritik yükler ve kritik elemanlar arasındaki ayırım gibi konularda sayısal gereksinimler içerir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) kurumu, ülkemizdeki deprem verilerini sağlamak amacıyla Türkiye Deprem Tehlike Haritalarını (TDTH) hayata geçirdi. Bu çalışma, deprem sırasında oluşan yatay ve düşey kuvvetlerin yanı sıra önemli donanım ve yapısal özelliklerin hesaplanmasını içermektedir. Daha detaylı bilgi için ASME A17.1 ve TS EN 81-77 standartları incelenmelidir [1].

Konsol tipinin seçimi kullanılan klipse bağlı olacaktır, çünkü braketteki gerilmeler klips ve kılavuz ray arasındaki sürtünme katsayısı ile ilişkilidir [2]. Kombinasyon tipi konsollar, bir karşı ağırlık aracın arkasında değil de yan tarafına yerleştirildiğinde kullanılır. Bu konsoldan iki çeşit mevcuttur. İlki, karşı ağırlık kabinin yan tarafında, kabin rayının ortasında yer aldığı kullanılan "U" tarzı birleşik konsoldur. Bu konsolu monte etmek, açılırların uzunluğu ve miktarı nedeniyle zor olabilir. Ancak, doğru tasarlandığında tek tip malzemeyle üretilebilir. Çeşitli araştırmalar sonucu şantiye şefleriyle yapılan görüşmelerde bir konsolun başarılı olmasında en önemli faktörün montaj kolaylığı ve tasarımının basit olması olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci faktör olarak da imalat yer alıyor. Çalışmalar sonucu basit olanın daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Konsolların rengi ve kaynak daha düşük öncelikli olduğu sonucuna varıldı. Memnuniyet anketi, montajcıların en çok mevcut tasarımlar için gereken kaynak miktarından memnun olduğunu gösterdi.

Konsolların ağırlığı, üretim kolaylığı ve toplam ağırlığı da mevcut tasarımdan memnuniyet konusunda üst sıralarda yer aldı. Tasarım boyunca aynı hammaddenin kullanılmasına verilen önem ise şaşırtıcıydı. Bazı kombine ve tek kabinli veya uzatıcı plakalı karşı ağırlık konsollarında birden fazla malzeme türü kullanılmaktadır. Baştan sona aynı hammaddeyi kullanmak, ankette önem sıralamasında dördüncü sırada yer aldı. Müşterilerin en memnun olmadığı özellikler ise basit/evrensel bir tasarımın olmaması ve montaj kolaylığıdır. Kılavuz raylarının yerleştirilmesi sırasında, ray ile binayı bağlayan mesnetler büyük önem taşır. Bu mesnetler ve ray arasında, hareket kabiliyetini engelleyecek sabit bir bağlantı bulunmamalıdır. Eğer ray, mesnetlere kaynakla sabitlenir ya da zamanla korozyon nedeniyle iki metal birleşirse, ısıl genleşme nedeniyle büyük gerilmeler meydana gelir ve ray deforme olur. Bu durumu önlemek için, ray ile mesnet arasına korozyonla oluşacak bağı engelleyecek bir madde, örneğin gres yağı, uygulanabilir. Asansör mühendisleri tarafından belirlenen mesnetler arasındaki mesafe önemlidir. Literatürde konsol aralığının ideal bir ölçüsü belirtilmemiştir. Konsol aralığı küçüldükçe, konsol sayısı artar ve ray boyutu azalır. Optimum çözüm, konsol montajı maliyeti ile ray maliyetini dengelemekten geçer. Teorik olarak mesnet mesafesini sonsuza kadar küçültmek mümkündür, ancak bu, binanın mesnetleri kabul edebilecek yapısal elemanlarının izin verdiği ölçüde gerçekleştirilebilir. Mukavemeti olmayan bir dolgu duvarına mesnet yerleştirilmemelidir [3].

Asansör kılavuz ray konsolları (mesnetleri), kılavuz rayları destekleyen ve binaya bağlayan elemanlardır. Kılavuz raylar için ayrıntılı hesap yöntemleri ve standartlar mevcut olmasına rağmen, bu rayları tutan ve binaya bağlayan kısımlar için herhangi bir standart veya hesaplama yöntemi bulunmamaktadır. Kılavuz ray konsollarının imalatında genellikle St-37 veya St-42 yapı çelikleri kullanılır. Konsollar genellikle hazır çelik saç levhalardan istenen boyutlarda kesilip, gerekli cıvata delikleri açıldıktan sonra bükme işlemi uygulanarak şekillendirilmektedir. Cıvata delikleri genelde kanal şeklinde ve eğimli bir şekilde açılmaktadır. Cıvata deliklerinin kanal şeklinde ve eğimli olmasının nedeni konsolların duvara ve rayların konsola bağlanmasında avantajlar sağlamaktadır [4].

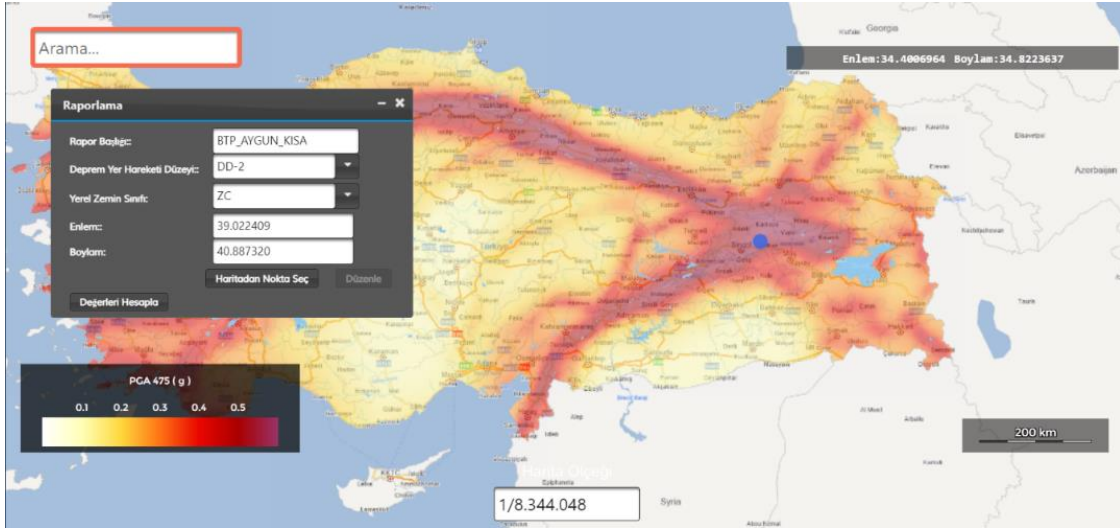
Kılavuz ray konsolları bina duvarlarına belirli aralıklarla monte edilmektedir. İki konsol arasındaki mesafe mühendisler tarafından uygulanmak istenen yonteme göre TSE standartlarına uygun şekilde belirlenmektedir. Kılavuz rayları konsola bağlamak için ray sabitleme tırnakları kullanılmaktadır. Asansörler yapılar tamamlanmadan kurulduğu için bina tamamlandıktan sonra raylar ve konsol arasında bası kuvvetleri oluşturmaktadır. Bu kuvvet raylar ve konsollar üzerinde deformasyona neden olabilir. Ray sabitleme tırnaklarının kullanılmasının ana sebebi bası kuvvetlerinin giderilmesidir [4].

Konsolların çelik binalarda uygulanması genellikle çelik kirişlere cıvata ya da kaynak bağlantısı ile sağlanmaktadır. Kaynak yöntemi hızlı ve güvenilir bir yöntem olmasına rağmen dikkatli bir şekilde uygulanması gereklidir. Konsolun çelik kirişlere cıvata ile bağlanması durumunda delikler farklı yollarla açılabilir. Büyük yüklemeli durumlarda matkaplama en verimli yöntem olarak değerlendirilmektedir [4]. Konsolların tuğla yapılara montajında çelik ek parçalar kullanılmaktadır. Çelik ek parçalar asansör boşluğundaki tuğlarla birlikte yapıya bağlanır ve bu parçalar tuğla duvar yüzeyinden belirli bir miktar içeri doğru yerleştirilmektedir.

Yüksek katlı binalarda ve hastane ve okul gibi kamu binalarında, asansörlerin deprem anında kullanıcılar için güvenli olması hayati öneme sahiptir. Uzun süreli durmalar veya sistemin hasara uğraması kullanıcılar için ciddi tehlike oluşturur. Asansör sisteminin veya elemanların sismik yüklerin etkisiyle hasar görmesi afet sonrası tahliye de zorlaştırır. Asansör kuyusunun duvarlarına bağlanan ve karşı ağırlık ile kabin raylarını sabitleyen konsolların deprem anında oluşan sismik yükler nedeniyle hasar gördüğü bilinmektedir. En tehlikeli senaryo, bir depremin karşı ağırlığın veya kabinin yerinden çıkıp birbiriyle çarpışmasına neden olması durumunda ortaya çıkar. 2011 Van Depremi ve 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından bölgede yapılan saha çalışmalarında deprem sonrasında asansörlerin hangi nedenlerle kullanılamaz duruma geldiği irdelenmiş ve konsol elemanlarının hasar görmesi sonucu asansörlerin kullanılamaz duruma geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı öncelikle deprem anında konsol elemanlarına etkiyen sismik kuvvetlerin bulunması ve sonuçlar doğrultusunda depreme dayanıklı yeni bir konsol tasarımı yapılmasıdır. Bu kapsamda bilgisayar analizleri gerçekleştirilecek ve yeni tasarımın gelen kuvvetlere mukavim ve farklı ölçülerde inşa edilmiş asansör kuyularına kolay montaj edilebilir olması sağlanacaktır.

3. KONSOLLARA ETKİYEN DEPREM YÜKLERİNİN BULUNMASI

AFAD'ın Şekil 2'de görülen Türkiye Deprem Tehlike Haritası internet sitesinden yararlanarak haritada fay hatlarının kesişim yeri olan, en riskli renkte görülen Bingöl yakınlarında haritadan seçilen koordinat, zemin sınıfının ZC (çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) seçilmesi ve Deprem Yer Hareketi Düzeyinin DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 yani tekrarlama periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi) seçilmesi sonucunda sistemden S_s , F_a , S_1 , S_{DS} , S_{D1} , PGA ve PGV değerleri alınmıştır.



Şekil 2 . AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda seçilen deprem riskli bölge koordinatları

Burada, F_a : Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı*, S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz], S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz], S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz], S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz], PGA : En büyük yer ivmesi [g], PGV : En büyük yer hızı [cm/sn] alınır.

Sistemden bulunan değerler kullanılarak TS EN 1998-1 standardı [14] esas alındığında ivme ve deprem kuvveti edilecektir. Buna göre yapısal olmayan elemanların sismik katsayısı

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \frac{3 \cdot \left(1 + \frac{z}{h}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \quad (1)$$

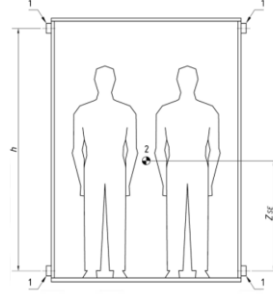
ve tasarım ivmesi

$$a_d = S_a \cdot \left(\frac{\gamma_a}{q_a}\right) \cdot g_n \quad (2)$$

ile hesaplanır. Buradaki γ_a : Elemanın önem katsayısı (TS EN 1998-1'den alınır), q_a : Elemanın davranış faktörü (TS EN 1998-1'den alınır), α : Yer Tasarım ivmesinin yer çekimi ivmesine oranı ($a_g g_n$), a_g : Yer tasarım ivmesi (TS EN 1998-1'den veya AFAD TDTH'tan alınabilir), S : Toprak faktörü (TS EN 1998-1'den alınır : B Tipi, AFAD'da C Tipine denktir), T_a : Yapısal olmayan elemanın temel titreşim periyodu [s], T_1 : Binanın temel titreşim periyodu [s], h : Bina boyu, z : Yapısal olmayan elemanın binada bulunduğu yüksekliktir. Deprem kuvveti, Q : Beyan yükü [kg], P : Boş kabin ağırlığı [kg] ve eşitlik (2)'de bulunan tasarım ivmesi kullanılarak

$$F_{SE} = a_d \cdot (P + 0,4 \cdot Q) \quad (3)$$

ile hesaplanır.



Şekil 3. Beyan yükünün dikeyde kütle merkezi tanımı

Asansör kabinindeki yolcuların kütle merkezinin kabin zemininden mesafesi Şekil 3'ten

$$X_{SE} = \frac{z_{SE}}{c_h} \quad (4)$$

olarak elde edilir.

Deprem kuvvetinin eksenlere dağılım hesapları yapılırken X_{SE} veya $(1 - X_{SE})$ 'den büyük olanı esas alınacaktır. Buna göre eksenlere göre X eksenine etkiyen deprem yükü ($a_x = a_d$, $a_y = 0$):

$$F_{SE_x} = \frac{(a_x \cdot (P + 0,4 \cdot Q) \cdot X_{SE})}{n} \quad (5)$$

ve Y eksenine etkiyen deprem yükü ($a_x = 0$, $a_y = a_d$):

$$F_{SE_y} = \frac{(a_y \cdot (P + 0,4 \cdot Q) \cdot X_{SE})}{\frac{n}{2}} \quad (6)$$

ile hesaplanabilir.

Yukarıda izah edilen hesaplama metoduna dair açıklayıcı bir örnek aşağıda verilmiştir. Gerekli kuvvetlerin hesaplanmasına dair bir açıklayıcı örnek olarak tasarımda ve hesaplamalarda kullanılacak değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek asansör konfigürasyonu

Tanım	Sembol	Veri
Bina Kat Sayısı		8
Asansör Kuyusu Yüksekliği		25 m
Kılavuz Rayların Sayısı	n	Simetrik, 2
Bir Kılavuz Ray Sırasında Bulunan Ray Sayısı		5
Kabin Kılavuz Patenleri Arası Mesafe	hp	2200 mm
Asansör Tipi		Yolcu Asansörü
Asansör Yolcu Sayısı		10 Kişi
Asansör Beyan Yüğü	Q	800 kg
Asansör Boş Kabin Ağırlığı	P	1100 kg
	Cw	1350mm
Asansör Kabin Boyutları	Cd	1400mm
	Ch	2200mm

Örnek binanın Bingöl ili, Solhan İlçesi, (Enlem:38,02 Boylam 40,88) adres bilgisi Türkiye Deprem Tehlike Haritası internet sitesinden kullanılarak, sistemden S_s , F_a , S_1 , S_{DS} , S_{D1} , PGA ve PGV değerleri $S_s = 1.723$, $S_1 = 0.455$, $S_{DS} = 2.068$, $S_{D1} = 0.683$, $PGA = 0.700$, $PGV = 43.757$ bulunur.

Gerekli sayısal büyüklükler TS EN 1998-1 standardından ve AFAD TDTH'den seçilerek hesaplanır. TS EN 1998-1 standardının madde 4.3.5.3 göre γ_a değeri normal binalar için önem faktörünü 1,0 alınmasını; ELA (= European Lift Association) sismik asansör açıklamasında özel güvenlik amaçlı asansörler, hastaneler veya acil servis asansörleri için 1,5 alınmasını tavsiye etmiştir. Öneri olarak Sınıf 3 ve 4 kategorisinde sayılan özellikli binalarda (okullar, kongre binaları, kültürel varlıklar, yüksek katlı binalar) bu değeri ek bir güvenlik önlemi olarak 1,2 almak da iyi bir uygulama olacaktır.

Yapısal olmayan elemanların sismik katsayısı (1) eşitliğinden

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \frac{3 \left(1 + \frac{Z}{h}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 = 0,683 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{3(1+1)}{1+(1-0)^2} - 0,5\right) = 2,049$$

olarak hesaplanır. Tasarım ivmesi ise (2) eşitliğinden

$$a_d = S_a \cdot \left(\frac{\gamma_a}{q_a}\right) \cdot g_n = 2,049 \cdot \left(\frac{1,5}{2}\right) \cdot 9,81 = 15,076 > 4$$

olarak hesaplanır. Tasarım ivmesi değeri 4'ten büyük çıktığı için TS EN 81-77 standardından alınan Tablo 2'ye göre Asansör Sismik Kategorisi 3 olarak bulunmuştur.

Kılavuz rayların üzerine etkiyen kuvvetleri belirlemek için TS EN 81-50 standardında [16] belirtilen kılavuz ray hesapları kullanılabilir. Bu hesaplamalar, asansörün normal çalışması sırasında kılavuz raylara etkiyen kuvvetleri ortaya çıkarır. Kabinin kütle merkezinin hesaplanmasında kabin kapısının ve tuş panelinin kütlesi belirlenip hesaba katılmaktadır.

Tablo 2. Asansör sismik kategori tablosu

Önem sınıfı	Binalar
I	Kamu güvenliği açısından düşük önemde binalar (örn. Tarımsal binalar)
II	Diğer sınıflara ait olmayan sıradan binalar
III	Sismik dayanımı göçme ile ilgili sonuçlar açısından bir öneme sahip binalar (örn. Okul, kongre binası, kültürel varlık)
IV	Deprem sırasında bütünlüğü sivil savunma için hayati öneme sahip binalar (örn. Hastane, itfaiye binası, enerji santrali)

Normal çalışma yükleri de hesaba katılarak Kılavuz kuvvetlerinden kaynaklanan kılavuz rayın Y – Y eksenine ilişkin etkiyen kuvvet (F_x)

$$F_x = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot (Q \cdot (x_q - x_s) + P \cdot (x_p - x_s))}{n \cdot h_p} = 7794,6 \text{ N}$$

kılavuz kuvvetlerinden kaynaklanan kılavuz rayın X – X eksenine ilişkin etkiyen kuvvet (F_y)

$$F_y = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot (Q \cdot (y_q - y_s) + P \cdot (y_p - y_s))}{\frac{n}{2} \cdot h_p} = 15576,2 \text{ N}$$

ve kılavuz raylar üzerine etkiyen dikey kuvvet (F_v)

$$F_v = (M_g \cdot g_n) + F_{pb} = 3325 \text{ N}$$

olarak elde edilir.

Dikey F_v kuvveti, kılavuz raya hesaplanan değer kadar etki etse de kılavuz ray ile konsollar arasına uygulanan yağ gibi kaygan madde sebebiyle, kılavuz ray ile konsol arasındaki sürtünme katsayısının X–X eksenine dik gelen kuvvetle çarpılması ile elde edilen değer kadar dikey kuvvet konsollara etki eder. Kılavuz ray ile konsol arasındaki sürtünme kuvveti katsayısı 0,16 olur. Böylece konsola etkiyen dikey kuvvet:

$$F_{v_{konsol}} = F_y \cdot \mu = 15576,2 \cdot 0,16 = 2492 \text{ N}$$

dir. TS EN 81-77 standardı esas alınarak hesaplanan deprem yüklerinin patenlere dağılımı Tablo 3'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

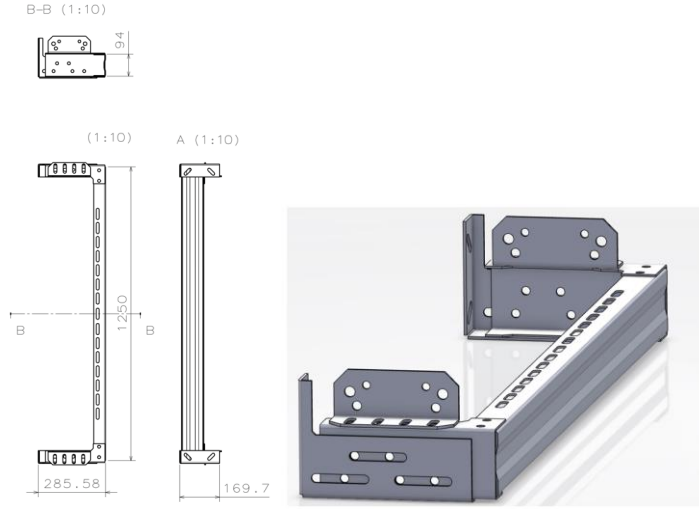
Tablo 2. Patenlere yük dağılımı tablosu

	Üst paten için	Alt paten için
Raya Y – Y eksenine ilişkin etkiyen kuvvet	$F_x = 7794,6 \cdot 0,291 = 2268 \text{ N}$	$F_x = 7794,6 \cdot (1 - 0,291) = 5526 \text{ N}$
Raya X – X eksenine ilişkin etkiyen kuvvet	$F_y = 15576,2 \cdot 0,291 = 4533 \text{ N}$	$F_y = 15576,2 \cdot (1 - 0,291) = 11044 \text{ N}$
Kılavuz raylar üzerine etkiyen dikey kuvvet	$F_v = 2492 \cdot 0,291 = 725 \text{ N}$	$F_v = 2492 \cdot (1 - 0,291) = 1767 \text{ N}$

4. KONSOL ELEMANI TASARIMI VE GERİLME ANALİZİ

Asansör montajlarında yaygın kullanılan konsolların deprem durumundaki davranışı ve deformasyon durumu incelenecektir. Elde edilecek simülasyon değerlerine göre mevcut konsol yapısının geliştirilmesi veya iyileştirilmesi gereken noktaları belirlenecektir.

TS-EN 71 87 standardı kullanılarak bulunan Tablo 2'de özetlenen deprem yükleri kabin kılavuz ray konsolu üzerindeki gerilme ve deformasyon değerleri bilgisayar destekli mühendislik yazılımı ile elde edilmiştir. Tablo 1'deki asansör konfigürasyonuna uygun kılavuz ray konsoluna teknik ölçüleri ve katı modeli dair Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Konsol ve teknik ölçüleri

Asansör kılavuz raylarının mesnetlenmesinde kullanılan konsol yapısını oluşturan elemanların sonlu elemanlar modellemesi ve analizi Abaqus yazılımı ile yapılmıştır. Problemin yapısına ve analiz metoduna en uygun eleman olan üç boyutlu ve 10 düğüm noktalı “quadratic tetrahedral” eleman seçilmiş ve Abaqus kütüphanesinde bu element tipi C3D10 olarak bulunmaktadır. Seçilen sonlu eleman tipinde her köşede ve kenar ortasında düğümlere sahiptir. Quadratik şekil fonksiyonlarına sahiptir ve bu sayede eğrisel yüzeyleri ve değişken yüklemeleri daha doğru modelleyebilir. Yapısal ve termal analiz gibi çeşitli mühendislik problemlerinde yüksek doğruluk sağlamaktadır. Konsol yapısının sonlu eleman modelinde 465.798 adet düğüm noktası ve 253.769 adet sonlu eleman kullanılmıştır. Konsol malzemesi olarak elastisite modülü yaklaşık 210 GPa, Poisson oranı 0.3, akma dayanımı ise 290 MPa olan S275JR (St-42) çeliği seçilmiştir. Sonlu elemanlar modelinin mesnet noktaları ve kuvvetlerin uygulandığı yön ve yerleri Şekil 5’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5. Konsol Elemanı Kuvvetleri ve Kısıtları

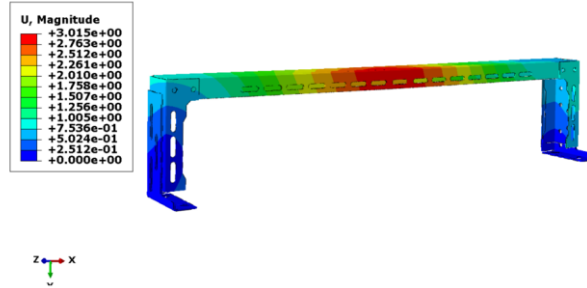
Sonlu elemanlar modeli hazırlanan konsol yapısına Tablo 3’te verilen patenlerin yük dağılımına uygun kuvvetler uygulandığında yapıda oluşan gerilmeler, von Mises gerilmesi olarak Şekil 6’da görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 6. Konsol Elemanı Gerilme Dağılımı (MPa)

Konsol malzemesinin mukavemet değeri 290 MPa olduğu dikkate alındığında grafikte sarı ve kırmızı ile görülen kısımlarında mukavemet sınırının aşıldığı görülmektedir. Bu hasar bölgeleri ile saha çalışmasında konsollardaki hasarlı bölgeler karşılaştırıldığında, tehlikeli bölgelerin konsolun deprem sonrasında çalışmasına engel olacak hasarlar oluşturmadığı, ancak yapılacak konstrüktif iyileştirmeler ile uç kısımlardaki temas bölgelerindeki kritik bölgeler ortadan kaldırılabilir.

Hesaplanan deprem yükleri uygulanan konsolda oluşan yer değiştirmeler Şekil 7 üzerinde gösterilmiştir. Beklendiği üzere konsol üzerine ray bağlantı bölgesinde 3.015 mm kadar bir yer değiştirme oluşmakta, simülasyon neticesine göre konsolun uzunluğu 1250 mm alındığından oluşan sehim %0,24 mertebesinde kalmaktadır. TS EN 81-20 standardında madde 5.7.4.6 müsaade edilebilir sehimler, güvenlik tertibatı devrede iken kabinin, karşı ağırlık veya dengeleme ağırlığının kılavuz raylarında her iki yönünde 5 mm ve güvenlik tertibatsız karşı ağırlık veya dengeleme ağırlığının kılavuz raylarında her iki yönünde 10 mm olduğuna göre konsoldaki bu sehim değerinin kılavuz rayın seyir konforu sınırları içinde kaldığı söylenebilir.



Şekil 7. Konsol Elemanı Yer Değiştirme [mm]

5. SONUÇ

Deprem sonrasında halat tahrikli asansörlerin kılavuz ray konsollarının deformasyona uğradıkları gözlemlenmiştir. Asansör montajında kullanılan bir kılavuz ray konsolunun bilgisayar destekli mühendislik yazılımıyla modellenerek, sisteme etkileyen deprem kuvvetleri uygulandığında oluşan deformasyon ve gerilme değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan sismik bölgelerde kullanılmak üzere tasarlanan konsol yapısının depremden sonra asansör kullanımına engel olmayacak yapıda ve oluşan sehim değeri ile seyir konforu sınırları içinde kılavuz rayın hizasında kalmasının mümkün olabileceği görülmüştür. Bu tasarımın iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için ayrıca deneysel gerilme analizi yöntemiyle saha ölçümleri alınması gerekecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sancak, A.** (2020). Asansörlerde Kabin Kılavuz Ray Konsollarının Sismik Bölgeler İçin Tasarımı, Modellenmesi ve Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2] **Sanz, J., Fernandez, J. E.,** (2008). Importance of the Riding Path in Elevator Safety. Elevator Technology 17, Proc. of ELEVCON, ss. 343-353.
- [3] **Altuntaş, M.** (2012). Asansör Kılavuz Ray Bağlantı Elemanlarının Deneysel Gerilme Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] **Savaş, E.** (2011). Asansör Kılavuz Ray Konsollarının Bilgisayar Destekli Gerilme Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [5] **Mert, Ö., Yeter, İ. ve Tavashoğlu, S.** (2018). Asansörde Konsol ve Bağlantı Parçalarında Oluşan Gerilmeler.
- [6] **Elmalı, S., Candaş, A., Kayaoğlu, E., İmrak, C. E. ve Targıt, S.** (2012). Modelling and Analysis of Guide Rail Brackets and Attaching Parts. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] **Onur, Y. A.** (2006). Asansör Kabin Çerçevelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi ve Gerilme Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [8] **Gibson, G. W.** (2008). Elevator Hoistway Equipment: Mechanical and Structural Design, Part I, Elevator World Continuing Education, s. 97.
- [9] **Sancak, A., Candaş, A., İmrak, C. E. ve Targıt, S.** (2023). The Simulation of Seismic Effects on Guide Rail Fasteners and Re-design of Brackets. The 23rd International Congress on Vertical Transportation Technologies ELEVCON 2023, Prague, Czech Republic.
- [10] **Dubey, S. V. ve Rane, S. B.** (2019). Comparative Study of Structural and Sheetmetal Combination Bracket on Elevator Rail System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [11] **Hummeldorf, P.** (2007). Elevator Rail Bracket Improvement Project. College of Applied Science University of Cincinnati, Ohio.
- [12] **Özel, C.** (2011). Asansör ve Taşıyıcı Elemanlarının Değişik Dinamik Çalışma Koşullarında Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonları. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- [13] **Koç, S.** (2009). Asansör Kılavuz Ray Konsollarının Gerilme Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [14] **TSE** (2005). Eurocode 8: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı – Bölüm 1: Genel Kurallar, Sismik Etkiler ve Binalar için Kurallar (TS EN 1998-1: 2005) (Eurocode 8). Erişim: <https://www.kutuphane.itu.edu.tr/>
- [15] **TSE** (2020). Asansörler – Yapım ve Montaj için Güvenlik Kuralları – Yolcu ve Yük Asansörleri için Özel Uygulamalar – Bölüm 77: Sismik Durumlara Tabi Asansörler (TS EN 81-77:2020-02). Erişim: <https://www.kutuphane.itu.edu.tr/>
- [16] **TSE** (2020). Asansörlerin Yapımı ve Kurulumu için Güvenlik Kuralları – İnceleme ve Deneyler – Bölüm 50: Asansör Bileşenlerinin Tasarım Kuralları, Hesaplamaları, İncelemeleri ve Deneyleri (TS EN 81-50). Erişim: <https://www.kutuphane.itu.edu.tr/>