

DEPREM BÖLGELERİNDEKİ ASANSÖR TESİSLERİNİN DEPREM ÖNLEMLERİ VE HESAPLAMA ESASLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Abdül Melik Sancak¹, Cevat Erdem İmrak², Adem Candaş³

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi^{1,2,3}
sancak17@itu.edu.tr¹, imrak@itu.edu.tr², candas@itu.edu.tr³

ÖZET

İnsan ve yüklerin düşey taşınmasında kullanılan, birçok mekanik eleman ve bağlantıdan oluşan asansörler tüm transport sistemleri gibi depremlerden etkilenmektedir. Deprem sonrası yapılan incelemelerde asansörlerin mekanik elemanlarının hasarlandığı ve kullanılamaz hale geldiği görülmektedir. Türkiye'nin faal fay hatlarının bulunduğu bir deprem ülkesi olması göz önüne alındığında, binalarda hizmet veren asansörlerin depremlerden minimum etkilenmesi ve deprem sonrasında kritik binalarda kullanılabilir olmaları önemlidir. Bu sebeple mevcut ulusal ve uluslararası asansör standartlarının yanında, depremin asansör sistemlerine etkilerinin açıklanması ve önlemler alınması için farklı standartlar yayınlanmaktadır. Bu standartlarda bulunan deprem yükleri, deprem tedbirleri gibi bilgiler birbirinden farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çalışmada, ASME A17.1 ve TS EN 81-77 standartlarında yer alan hesaplama metodolojileri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve açıklayıcı bir örnek üzerinden değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Deprem sırasında oluşan kuvvetler asansörlerin yapısal elemanlarına hasar verebilir. Bu nedenle kullanıcılar asansörlerde mahsur kalabilir ve asansörler tahliye amaçlı kullanılamayabilir [1]. Asansörlerin deprem sırasında ve sonrasında güvenle kullanılabilmesi için kabin, kılavuz ray, konsol, karşı ağırlık gibi elemanlar için standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlarda deprem anında asansör sistemlerinde bulunması gereken güvenlik tedbirlerinin yanı sıra deprem sonucu elemanlar üzerine etkiyen kuvvetlerin hesaplanarak olumsuz etkilerin azaltılabilmesi için hesaplama yöntemleri ve tablolar verilmiştir. Asansörler için oluşturulan deprem standartları ülkeler ve bölgeler arasında farklılık göstermektedir. Ülkemizde, sismik durumlara tabi asansörler hakkında Avrupa'da kullanılan EN 81-77 standardıyla uyumlu olarak TS EN 81-77 [2] standardı; Amerika Birleşik Devletleri'nde ASME A17.1 [3] standardı kullanılmaktadır. Bu standartlarda kritik elemanlar arasındaki mesafe, boyut ve kritik yükler gibi sayısal kriterler bulunmaktadır. Ülkemizdeki deprem verileri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) kurumunun hizmete sunduğu Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) etkileşimli internet uygulamasında yayınlanmaktadır [4]. Bu çalışmada deprem sırasında meydana gelen yatay ve düşey yönlü kuvvetlerin hesapları yapılmış olup, donanımsal ve yapısal açıdan önemli olan noktalara değinilmiştir. Daha kapsamlı bilgiler için ASME A17.1 ve TS EN 81-77 standartları incelenmelidir.

2. TS EN 81-77 STANDARINDA DEPREM ÖNLEMLERİ VE HESAPLAMALARI

TS EN 81-77 "Asansörler – Yapım ve montaj için güvenlik kuralları – Yolcu ve yük asansörleri için özel uygulamalar – Bölüm 77: Sismik durumlara tabi asansörler" standardı, ülkemizdeki asansör tesislerinin deprem önlemleri ve hesaplamaları kapsamında Türk Standartları Enstitüsü tarafından kabul edilerek yayımlanmış bir asansör deprem standardıdır. Bu standardın amacı can kaybını önlemek ve yaralanmaları azaltmak, insanların asansörlerde mahsur kalmasını önlemek,

yağ sızıntısı sonucu oluşan çevresel problemleri önlemek, servis dışı kalan asansör sayısını azaltmak ve diğer risklere karşı kullanıcıları ve asansör sistemini korumak amacıyla yolcu ve yük asansörleri ile ilgili güvenlik kurallarını tanımlamaktır [2].

Standartta, deprem nedeniyle oluşan, asansörde hasara neden olan yatay ivmelenme, “tasarım ivmesi (a_d)” olarak tanımlanmıştır. Tasarım ivmesinin belirttiği sismik kategoriler Çizelge 1’de görülmektedir. Tasarım ivmesi; yer çekimi ivmesi, zemin davranışı ve diğer çeşitli yapısal olmayan elemanlar gibi parametrelerle tanımlanan bir fonksiyondur [2]. Bu değer tüm kılavuz ray, konsol, kabin, yük, pabuç, paten vb. hesaplamalara dâhil edilir [2].

Çizelge 1. Asansör sismik kategorileri [2]

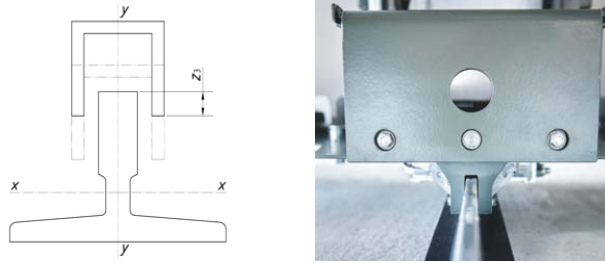
Tasarım İvmesi (m/s^2)	Asansör Sismik Kategorisi	Yorumlar
$a_d \leq 1$	0	TS EN 81-20 ve TS EN 81-50 şartları yeterlidir
$1 < a_d \leq 2,5$	1	Küçük düzeltmeler gerekli
$2,5 < a_d \leq 4$	2	Orta derecede düzeltmeler gerekli
$a_d > 4$	3	Önemli düzeltmeler gerekli

TS EN 81-77 Standardında asansörlerde depreme karşı alınması gereken tedbirlerden öne çıkanları şunlardır [2]:

- Tüm makina unsurları, kasnaklar, halatlar ve unsurları, destekler ve diğer elemanlar tasarım ivmesi nedeniyle oluşan kuvvetler dahil edilerek yer değiştirmeye karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalı ve gerekli şekilde sabitlenmelidir. Sismik durum için belirtilen tüm yükler ve kuvvetler dikkate alınmalıdır.
- Tasarım ivmesi sonucu oluşan kuvvetlerin hesaplanmasında, yolcu asansörleri için kabinin kütlesi ve eşit olarak dağıtılmış anma yükünün %40’ı, yük asansörleri için ise %80’i ele alınarak normal hesaplamalara eklemeye yapılmalıdır.
- Sismik kategori 2 ve 3 için kabin karkasını kılavuz raylarında tutabilecek üst ve alt tutucu aygıt (= retaining device) kurulmalıdır.
- Karşı ağırlık veya dengeleme ağırlığı karkasını kılavuz rayları arasında tutabilecek üst ve alt tutucu aygıt sağlanmalıdır.
- Tutucu aygıtlar üzerine gelecek yükler kabin kılavuz pabuçlarına gelen yüklere benzer olarak dağıtılacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Tutucu aygıtlar, kılavuz pabuçlarının tespitine yakın olarak sabitlenmelidir. Tasarlanan boyutlar deprem sırasında güvenlik tertibatının serbest kalmasına neden olmamalıdır.
- Tutucu aygıtın derinliği, kılavuz ray unsurlarına veya diğer sabit unsurlarla çarpışmayı önlemek için sınırlandırılmalı ancak deprem sırasında tutucu aygıt ile kılavuz rayın kabine bakan kısmı arasında bulunan en az örtüşme mesafesi sağlanmalıdır.
- Kabin yapısı, mekanik elemanlar ve bağlama elemanları tasarım ivmesi sonucu oluşan kuvvetler dahil olmak üzere toplam kuvvetlere karşı kalıcı deformasyon göstermemelidir.
- Halatların kasnak oluklarından çıkmasını önleyen sistemlerin, gerekli açılarda tespit ve ara tespit içermelidir. Tespitlerin mukavemeti ve halat çaplarına göre çekme makaralarına ve kasnaklara olan mesafeleri uygun olmalıdır.
- Emniyet katsayısı, kılavuz rayların uzamasının %12 ve üzerinde olması durumunda 1,8; %8 ila %12 arasında olması durumunda ise 3,0 alınmalıdır.
- Hidrolik asansörlerde boruların esnek olması tercih edilmelidir.
- Ana enerji hattı hasar gördüğünde asansör en yakın kata otomatik olarak hareket edecek kapasitede enerjiye sahip olmalıdır.
- Sismik kategori 3’te karşı ağırlık veya dengeleme ağırlığına sahip asansörler için sismik algılama sistemi kurulmalıdır. Sismik algılama sistemi sadece asansöre bilgi göndermek

için kullanıldığında, binadaki mevcut en alt kattaki asansör kuyusunun dibine yerleştirilebilir. Sismik algılama sistemi ivmeyi üç eksende algılayabilmeli, 0,5-10 Hz arasındaki frekanslarda çalışmalı ve tepki süresi 3 saniyeden kısa olmalıdır.

- Sismik algılama sistemi aktif olduktan sonra, tüm kayda alınmış kabin içi ve durak çağrıları iptal edilmeli ve yeni çağrılar reddedilmelidir. Kullanımda olan asansör hızı düşürülmeli veya durdurulmalı ve kabin en yakın durağa 0,3 m/s hızla gitmelidir. Asansör durağa vardığında kapılar kilitli olmamalı, açılmalı ve asansör kapıları açık bir şekilde servis dışı olmalıdır.
- Binaların, yapıyı dinamik olarak bağımsız birimlere ayıran genleşme geçişi (= expansion joint) ile bağımsız birimler olarak tasarlandığı durumlarda, kat kapıları girişleri ve asansör kuyusu dahil olmak üzere tüm asansör makinaları binanın aynı tarafında bulunmalıdır.
- Askı ve aşırı hız regülatör halatları, seyahat kabloları, dengeleme halatları ve zincirlerin sabit ekipmanlara dolanmasını önlemek için konsollar, cihazlar ve kuyuya monte edilen diğer ekipmanların montaj noktaları standartta belirtilen mesafe limitleriyle korunmalıdır.



Şekil 1. Tutucu aygıtının kılavuz rayla konumlanması [2, 5]

Asansörlerde deprem hesaplamaları TS EN 81-77 standardı esas alınarak aşağıdaki bağıntılar yardımıyla kolaylıkla yapılabilmektedir [2]:

$$a_d = S_a \times \left(\frac{\gamma_a}{q_a} \right) \times g \quad (1)$$

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

Bu denklemlerde,

- a_d : Tasarım ivmesi [m/s^2],
 S_a : Yapısal olmayan elemanların sismik katsayısı,
 γ_a : Elemanın önem katsayısı TS EN 1998-1'den [6] alınır,
 q_a : Elemanın davranış faktörü TS EN 1998-1'den [6] alınır,
 g : Yerçekimi ivmesi [m/s^2],
 α : Yer tasarım ivmesinin yer çekimi ivmesine oranı (a_g/g),
 a_g : Zemin ivmesi TS EN 1998-1'den [6] alınır / AFAD TDTH'den [4] yararlanılır [m/s^2],
 S : Zemin faktörü TS EN 1998-1'den [6] alınır,
 T_a : Yapısal olmayan elemanın temel titreşim periyodu [s],
 T_1 : Binanın temel titreşim periyodu [s],
 h : Bina boyu [m],
 z : Yapısal olmayan elemanın binada bulunduğu yükseklik [m].

Bu denklemde kullanılan katsayılar ve değerler yapı önem derecesine göre TS EN 1998-1:2005 standardından [6] seçilmektedir. AFAD kurumunun etkileşimli internet uygulaması TDTH [4] kullanılarak yerel zemin özelliklerine uygun ivme değerlerine ulaşılabilmektedir. Katsayılar seçildikten sonra deprem kuvveti denklemi:

$$F_{SE} = a_d \times (P_{EC} + k_{SE} \times Q) \quad (3)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. Burada,

- F_{SE} : Sismik kuvvet,
 Q : Beyan yükü,
 k_{SE} : Sismik yük katsayısı (0,4 insan asansörleri için, 0,8 yük asansörleri için) (karşı ağırlık hesaplamalarında bu değer q olarak değişir ve dengeleme faktörü olarak belirtilir),
 P_{EC} : Boş kabin kütesidir.

Normal kullanımda deprem kuvvetlerinin etkisi dahil olarak kabin kılavuz raylara etkileyen eğilme kuvvetleri:

$$F_x = \frac{k_2 \times g_n \times [Q_{SE} \times (x_Q - x_S) + P_{EC} \times (x_P - x_S)]}{n \times h_p} + \frac{a_x (P_{EC} + Q_{SE}) \times X_{SE}}{n} \quad (4)$$

$$F_y = \frac{k_2 \times g_n \times [Q_{SE} \times (y_Q - y_S) + P_{EC} \times (y_P - y_S)]}{\frac{n}{2} \times h_p} + \frac{a_y (P_{EC} + Q_{SE}) \times X_{SE}}{\frac{n}{2}} \quad (5)$$

bağıntıları ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda $X_{SE} = Z_{SE}/h_p$ veya $X_{SE} = (h_p - Z_{SE})/h_p$ olarak alınmaktadır. En büyük deprem kuvveti hesabı için X_{SE} oranlarından büyük olanı seçilir. (4) ve (5) denklemlerinde deprem kuvvetleri eşitliğin sağındaki ikinci terim olarak yer almaktadır. Burada,

- k_2 : Çalışma şartları için darbe katsayısı,
 g_n : Standart serbest düşme ivmesi (Yerçekimi ivmesi) m/s^2 ,
 x_p, y_p : Kılavuz ray koordinat sistemine göre kabin kütesinin (P) konumu [mm],
 x_s, y_s : Kılavuz ray koordinat sistemine göre askının (S) konumu [mm],
 x_Q, y_Q : Kılavuz ray koordinat sistemine göre beyan yükünün (Q) konumu [mm],
 x_c, y_c : Kılavuz ray koordinat sistemine göre kabinin merkez (C) konumu [mm],
 h_p : Kabin kılavuz patenleri arası düşey mesafe [mm],
 Z_{SE} : Ağırlık merkezinin alt kılavuz patene olan düşey uzaklığı [mm],
 n : Kılavuz rayların sıra adedi,
 Q_{SE} : $k_{SE} \times Q$.

x ve y eksenlerine göre eğilme gerilmeleri sırasıyla $a_x = a_d, a_y = 0$ ve $a_x = 0, a_y = a_d$ olarak kabul edilir.

3. ASME A17.1 STANDARDINDA DEPREM ÖNLEMLERİ VE HESAPLAMALARI

Asansör ve yürüyen merdivenler için diğer önemli bir güvenlik standardı olan ASME A17.1 standardı [3] güncel olarak asansör tasarımında kullanılmaktadır. Asansörlerin deprem önlemleri ve hesaplamaları için bu standardın 8.4 bölümünde bulunan bilgiler kullanılmaktadır. Farklı asansör tipleri için güvenlik tedbirleri ve detaylı hesaplamaları bulunmaktadır. ASME A17.1 standardında asansörlerde depreme karşı alınacak tedbirlerin başlıcaları aşağıda verilmiştir [3]:

- Asansör; konsol, kılavuz ray, tutucu aygıt, kabin karkasları, karşı ağırlık karkası, bağlantı noktaları, halat ve kasnakları, kablolar gibi tüm elemanlarına etkiyen yatay ve düşey deprem kuvvetlerine karşı dayanıklı olmalıdır.
- Askı plakası bloke edici kirişler dahil olmak üzere üst kirişler ve destekler, aynı anda etki eden deprem kuvvetleri sonucu oluşacak devrilme ve yer değiştirmenin önlenmesi için sabitlenmelidir. Askı elemanları için tutucular sağlanmalıdır.
- Darbe yüklerine maruz kalmayan ekipmanı yapıya bağlamak için kullanılan bağlantılar, sismik kuvvet bileşkesine dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Darbe yüküne maruz kalan bağlantılar, darbe yüküne tabi olmayan bağlantılara etkiyen kuvvetlerin iki katına kadar dayanacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Ray konsolları, ray tırnak ve civataları vb. elemanlar tarafından oluşturulan bağlantı noktalarında dengeleyici halat, zincir, askı halatları, hareketli kablolar gibi elemanların takılma, dolanma gibi sorunlar yaşamaması için uygun mesafeler bırakılmalıdır. Deprem anında halatların kasnaktan çıkması engellenmelidir.
- Kabin karkası üst ve alt konum sınırlanmaları sağlanmalıdır. Üst ve alt konum sınırlamaları arasındaki mesafe kabin karkasının yükseklüğünden daha az olmamalıdır. Bu tür sınırlamalar kılavuz rayla tümleşik tasarlandığında ayrıca konum sınırlamalarına gerek duyulmaz.
- Konum sınırlayıcısı ve bunların kabin karkasına bağlanması, kabin ağırlığı ve kabin kapasitesinin %40'ının toplamına yatay olarak etki eden sismik bir kuvvete dayanacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Karşı ağırlık karkası ve ağırlık bölümleri, alt konum sınırlamasının kılavuz ray kuvvetini, karşı ağırlık düzeneğinin ağırlığı veya etkili ağırlığı nedeniyle toplam sismik gücün üçte ikisinden fazla olmadan sınırlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Karşı ağırlık karkasına bağlı üst ve alt konum sınırlamaları bulunmalıdır. Hareket sınırlamaları ve bunların karşı ağırlık karkaslarındaki ekler sismik bir bileşen kuvvet seviyesine dayanacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Her kabin için deprem sırasında karşı ağırlığın rayından çıkması durumunda kabin-karşı ağırlık çarpışmasını engellemek için karşı ağırlık yer değiştirme tespit cihazı kullanılmalıdır.
- Her asansör için tanımlanmış sıfırlama düğmesi veya anahtarı bulunmalıdır.
- Her asansör grubu için en az bir sismik tespit cihazı bulunmalıdır. Bir sismik tespit cihazının deprem dalgası algılamasıyla, normal çalışma modunda olan tüm asansörler düşük hızla mevcut en yakın kata ilerleyecektir. Asansör katta durur vaziyette, kapılarını açarak servis dışı duruma geçer ve olduğu katta kalır.

Deprem anında asansöre etki eden yatay kuvvetler [3]:

$$F_p = \frac{0,4 \times a_p \times S_{DS} \times g_n \times W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \times \left(1 + 2 \times \left(\frac{z}{h}\right)\right) \quad (6)$$

$$F_{p_{max}} = 1,6 \times S_{DS} \times I_p \times W_p \times g_n \quad (7)$$

$$F_{p_{min}} = 0,3 \times S_{DS} \times I_p \times W_p \times g_n \quad (8)$$

bağıntıları ile hesaplanır. Hesaplanan asansöre etkiyen yatay deprem kuvvetinin (7) eşitliğinin sonucundan büyük olmasına gerek yoktur, (8) eşitliğinin sonucundan küçük olmayacaktır.

Deprem sebebiyle asansöre etki eden düşey kuvvet ise,

$$F_v = \pm 0,2 \times S_{DS} \times W_p \times g_n \quad (9)$$

ile hesaplanır [3]. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değeri (S_{DS}) aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$S_{DS} = F_a \times S_S \quad (10)$$

S_{DS} değerinin belirlenmesinde AFAD kurumunun TDTH [4] internet sitesinde yer alan hesaplama araçları, haritaları kullanılarak F_a ve S_S değerleri tespit edilir. Bu denklemlerde,

- F_p : Deprem sebebiyle kılavuz raylar üzerinde oluşan yatay kuvvet [N],
 $F_{p_{min}}$: Deprem sebebiyle kılavuz raylar üzerindeki kuvvetin olabilecek minimum değeri [N],
 $F_{p_{max}}$: Deprem sebebiyle kılavuz raylar üzerindeki kuvvetin olabilecek maksimum değeri [N],
 a_p : Bileşen büyütme faktörü,
 S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı,
 S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı,
 F_a : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı,
 I_p : Bileşen önem faktörü,
 R_p : Bileşen yanıt değişim faktörü,
 W_p : Boş kabin kütlesi ile %40 anma yükünün toplam değeri,
 z : İncelenecek bileşenin binada bulunduğu yüksekliği [m],
 h : Bina yapı yüksekliğidir [m].

Eğer $L \geq l$;

$$F_{x-x} = \frac{2 \times F_p}{3} \quad (11)$$

$$F_{y-y} = \frac{F_p}{3} \quad (12)$$

Eğer $L < l$;

$$F_{x-x} = F_p \times \left(1 - \frac{L}{3 \times l}\right) \quad (13)$$

$$F_{y-y} = \left(\frac{F_p}{2}\right) \times \left(1 - \frac{L}{3 \times l}\right) \quad (14)$$

L : Kabine bağlanan dikeyde alt ve üst sınırları belli olan sınırlamalar, kabin yüksekliğinden

düşük olamaz [mm],

l : İki konsol arasındaki dikey mesafe [mm].

4. ÖRNEK HESAPLAMALAR VE KARŞILAŞTIRMASI

Detayları açıklanmış olan deprem kuvvet hesapları için aynı parametreler seçilerek bir örnek üzerinden iki standartta yer alan hesaplamalar ve değerlendirmeler yapılmıştır. Deprem kuvvetlerinin hesaplanması incelendiği için normal çalışma anında oluşan kuvvetler hesaplanmamış ve parametreleri belirlenmemiştir. ASME A17.1 standardında gerilme analizleri için bulunan gerilme değerlerinin bazılarının 0,7 ile çarpılması emniyet gerilmeleriyle tasarımda izin verilen en yüksek gerilme değeri için belirtilmiş olsa da bu örnekte deprem kuvveti hesabı için 0,7 katı alınmadan hesaplamalar yapılacaktır. Bu bölümde hesaplar direkt denklemden çıktığı şekilde alınmıştır.

Çizelge 2’de TS EN 81-77 ve ASME A17.1 standartlarında yer alan hesaplama esaslarını karşılaştırmak için seçilen asansöre ve binaya ait teknik boyutlar ele alınmıştır.

Çizelge 2. Bina ve asansör teknik boyutları

Tanım	Sembol	Değer
Bina Kat Sayısı		6
Asansör Kuyusu Yüksekliği		20 m
Kılavuz Rayların Sayısı	n	Simetrik, 2
Bir Kılavuz Ray Sırasında Bulunan Ray Sayısı		4 (5 m x 4 = 20 m)
Kabin Kılavuz Patenleri Arası Mesafe	h_p	2300 mm
Asansör Tipi		İnsan Asansörü
Asansör Yolcu Sayısı		8 Kişi
Asansör Beyan Yüğü	Q	630 kg
Asansör Boş Kabin Ağırlığı	P_{EC}	850 kg
Asansör Kabin Boyutları	C_w	1100 mm
	C_d	1400 mm
	C_h	2200 mm

TS EN 81-77 standardında kullanılan denklemlerle deprem kuvveti:

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

$$a_d = S_a \times \left(\frac{\gamma_a}{q_a}\right) \times g$$

olarak hesaplanır. Gerekli sayısal büyüklükler TS EN 1998-1 standardından [6] ve AFAD TDTH’den [4] seçilerek hesaplanır. TS EN 1998-1 madde 4.3.5.3 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.

$$\gamma_a = 1,5, \quad q_a = 2, \quad \frac{z}{h} = 1, \quad a_g = 0,697g, \quad S = 1,2, \quad T_a = 0, \quad T_1 = 0,2 s,$$

$$\alpha = \frac{a_g}{g} = \frac{0,697 \times 9,81}{9,81} = 0,697$$

$$S_a = 0,697 \times 1,2 \times \left(\frac{3 \times (1 + 1)}{1 + (1 - 0)^2} - 0,5 \right) = 2,091$$

$$a_d = 2,091 \times \left(\frac{1,5}{2}\right) \times 9,81 = \mathbf{15,38} > \mathbf{4}$$

olarak bulunur. Tasarım ivmesi değeri 4’ten büyük çıktığı için TS EN 81-77’ye göre Çizelge 1’den görülebileceği üzere Asansör Sismik Kategorisi 3 olarak alınmıştır. Deprem sebebiyle oluşan deprem kuvveti:

$$F_{SE} = a_d \times (P_{EC} + k_{SE} \times Q) = 15,38 \times (850 + 0,4 \times 630) = 16950 \text{ N}$$

olacaktır. Ağırlık merkezinin alt kılavuz patene olan düşey uzaklığı 785 mm olarak kabul edilirse:

$$X_{SE} = Z_{SE}/h_p$$

veya

$$X_{SE} = (h_p - Z_{SE})/h_p$$

orantılardan büyük olanı kullanılmalıdır. Ağırlık merkezi hesaplaması her durumda yapılmadığından $X_{SE} = 0,6 - 0,7$ gibi bir oran kullanılır.

$$X_{SE} = \frac{Z_{SE}}{h_p} = \frac{785}{2300} = 0,341$$

$$X_{SE} = \frac{h_p - Z_{SE}}{h_p} = \frac{2300 - 785}{2300} = 0,659$$

Kılavuz raylara gelen deprem kuvveti (4) ve (5) denklemlerinde eşitliğin sağındaki ikinci terim olan deprem kuvvetlerinin hesaba katılmasını sağlar (bu örnekte maksimum deprem yükü hesabı için denklemden X_{SE} büyük değer olan 0,659 alınır). Buna göre;

x eksenine göre alınırsa:

$$F_{SE_x} = \frac{a_x(P_{EC} + Q_{SE}) \times X_{SE}}{n} = \frac{F_{SE} \times X_{SE}}{2} = \frac{(16950) \times (0,659)}{2} = 5585 \text{ N}$$

y eksenine göre alınırsa:

$$F_{SE_y} = \frac{a_y(P_{EC} + Q_{SE}) \times X_{SE}}{\frac{n}{2}} = \frac{F_{SE} \times X_{SE}}{\frac{2}{2}} = \frac{(16950) \times (0,659)}{1} = 11170 \text{ N}$$

olarak hesaplanır. Bulunan kuvvetler deprem yükü olarak normal kullanımdan oluşan yüklere eklenmektedir.

ASME A17.1 standardında bulunan deprem kuvveti hesaplama denklemleri kullanılarak:

$$F_p = \frac{0,4 \times a_p \times S_{DS} \times g_n \times W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \times \left(1 + 2 \times \left(\frac{z}{h}\right)\right)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s$$

olacaktır. AFAD'ın Türkiye Deprem Tehlike Haritası internet sitesinden örnek alınan bir yer için haritadan seçilen koordinatta, 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 tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi) seçilmesi sonucunda sistemden alınan veriler (Diğer örnek ve uygulamalar için incelenecek bölgeye ait koordinat, zemin sınıfı, deprem yer hareketi düzeyi vb. seçimleri yapılmalıdır):

$$F_a = 1,2, \quad S_s = 1,731$$

olarak bulunmuştur. Bu değerler yardımıyla S_{DS} değeri:

$$S_{DS} = F_a \times S_s = (1,2) \times (1,731) = 2,078$$

bulunur. Denklemden bulunan diğer parametreler (ASME A17.1 Bölüm 8.4.14.1)

$$a_p = 1, \quad R_p = 2,5, \quad I_p = 1,5, \quad \frac{z}{h} = 1, \quad W_p = 850 + 252 = 1102 \text{ kg}$$

olarak seçildiğinde, deprem kuvvetleri:

$$F_p = \frac{0,4 \times 1 \times 2,078 \times 9,81 \times 1102}{2,5/1,5} \times (1 + 2 \times 1) = 16175 \text{ N}$$

$$F_{p_{max}} = 1,6 \times S_{DS} \times I_p \times W_p \times g_n = 1,6 \times 2,078 \times 1,5 \times 1102 \times 9,81 = 53915 \text{ N}$$

$$F_{p_{min}} = 0,3 \times S_{DS} \times I_p \times W_p \times g_n = 0,3 \times 2,078 \times 1,5 \times 1102 \times 9,81 = 10110 \text{ N}$$

olur. Hesaplanan deprem kuvveti, $10110 \text{ N} < F_p = 16175 \text{ N} < 53915 \text{ N}$ minimum ve maksimum sınırları içerisinde olduğundan kabul edilebilir.

Deprem sebebiyle düşey yönlü oluşan deprem kuvveti ise:

$$F_v = \pm 0,2 \times S_{DS} \times W_p \times g = 0,2 \times 2,078 \times 1102 \times 9,81 = 4495 \text{ N}$$

olur. Konsollar arası dikey mesafe, $l = 2800 \text{ mm}$ ve patenler arası düşey mesafe, $L = 2300 \text{ mm}$ seçildiğinden $L < l$ olmaktadır ve deprem kuvvetleri eksenlere göre:

$$F_x = F_{y-y} = \left(\frac{16175}{2} \right) \times \left(1 - \frac{2300}{3 \times 2800} \right) = 5875 \text{ N}$$

$$F_y = F_{x-x} = 16175 \times \left(1 - \frac{2300}{3 \times 2800} \right) = 11750 \text{ N}$$

olacaktır.

Çizelge 3. TS EN 81-77 ve ASME A17.1 Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

	TS EN 81-77	ASME A17.1	Fark
F_p veya F_{SE} [N]	16.950	16.175	+ %4,6
F_x [N]	5.585	5.875	- %5,2
F_y [N]	11.170	11.750	- %5,2

Her iki standartta yer alan hesaplamalara göre bulunan sonuçların birbirine yakın ancak farklı oldukları görülmüştür. Asansöre etkiyen deprem kuvvetlerinin (F_p veya F_{SE}) TS EN 81-77 standardında bulunan hesaplamalarda ASME A17.1 standardındaki hesaplamalara göre %4,6 daha fazla olduğu bulunmuştur. Bu farkın nedeni; yatay ivmelenme değeri için TS EN 81-77 standardında PGA (en yüksek yer ivmesi) değerinin, ASME A17.1 standardında ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) değerinin kullanılması ve seçilen diğer katsayıların farklı olmasıdır. Bulunan deprem kuvvetlerinin x ve y eksenlerine etkileri incelendiğinde TS EN 81-77'ye göre bulunan sonuçların hem x hem de y eksenlerinde ASME A17.1'e göre bulunan

sonuçlardan %5,2 daha az olduğu bulunmuştur. Bunun muhtemel nedeni TS EN 81-77'deki hesaplarda kuvvet ağırlık merkeziyle oranlanırken; ASME A17.1'de paten mesafeleri ve konsol aralıkları göz önünde bulundurularak deprem kuvvetinin eksenlere etkilerinin hesaplanmasıdır.

5. SONUÇ

TS EN 81-77 ve ASME A17.1 standartları deprem durumuna karşı alınacak önlemler açısından karşılaştırıldığında her iki standardın da birbirine benzer önlemler içerdiği görülmektedir. İki standart da mekanik ekipman, kabin, karşı ağırlık, halat, kablo gibi elemanların deprem nedeniyle üzerlerinde oluşan kuvvetlere dayanıklı olması koşulunu özellikle belirtmektedir. Aynı şekilde deprem algılama sistemi her iki standartta da yer almaktadır. Bunların dışında birbirine benzer şekilde farklı konularda birçok güvenlik tedbirleri önerilmektedir. Hesap kısmında ise farklı denklemler kullanılmasına karşın bulunan deprem kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Her iki standartta da zemin özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu kapsamda her iki standardında deprem sırasında asansörlerin ve kullanıcıların güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılabilenleri görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Sancak, A.M.**, 2020. Asansörlerde Kabin Kılavuz Ray Konsollarının Sismik Bölgeler için Tasarımı, Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [2] **TS EN 81-77: 2020-02**, 2020. Asansörler – Yapım ve Montaj için Güvenlik Kuralları – Yolcu ve Yük Asansörleri için Özel Uygulamalar – Bölüm 77: Sismik Durumlara Tabi Asansörler. Türk Standartları Enstitüsü, 2020.
- [3] **ASME A17.1-2016**. Safety Code for Elevators and Escalators America Society of Mechanical Engineers, ASME, 2016
- [4] **AFAD**, 2019. AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. Erişim: <http://tdth.afad.gov.tr/>
- [5] **Schindler**, 2019. Keeping Elevators Safe when the Earth Shakes. Erişim: <https://group.schindler.com/en/media/stories/keeping-elevators-safe-when-the-earth-shakes.html>
- [6] **TS EN 1998-1: 2005 (Eurocode 8)**. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı – Bölüm 1: Genel Kurallar, Sismik Etkiler ve Binalar için Kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, 2005.