

# Ray Deformasyonlarının Asansör Kabini Titreşimlerine Etkisinin İncelenmesi

Zeki KIRAL\*

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İZMİR  
e-posta: zeki.kiral@deu.edu.tr

Binnur Gören KIRAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İZMİR  
e-posta: binnur.goren@deu.edu.tr

## ÖZET

Asansörler, günlük hayatımızda dikey taşımada kullandığımız vazgeçilmez ulaşım araçlarıdır. Seyahat süresinin kısa olmasına rağmen çoğumuz asansörleri kullanırken güvenli ve konforlu bir seyahat beklentisi içerisindeyizdir. Asansörün durma ve kalkma anındaki ivmelenmeleri, kabin içerisindeki titreşim ve ses seviyeleri, kabin içi görünüm ve fonksiyonellik, engelliler için düzenlemeler konfor parametreleri olarak sayılabilen özelliklerdir. Özellikle günümüzde yüksek binaların yapımının hız kazanması ile birlikte asansör kabin hızları da yükselmektedir. Yüksek kabin hızları kabin titreşimleri üzerinde etkin olan önemli bir parametredir. Bu çalışmada normal kullanım-çalışma durumu için bir asansör kabininin ray deformasyonlarından kaynaklanan titreşim davranışı farklı kabin hızları için sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hareketli yük, ray deformasyonu, kabin titreşimleri

## Investigation of the Effect of Rail Deformations

### ABSTRACT

Elevators are the indispensable transportation vehicles, which are used in vertical transportation in our daily life. Most of us expect a safe and comfortable journey even though the duration of the journey is short. The accelerations of the elevator during stoppage and departure, the vibration and noise levels inside the car, the interior view of the car and the functionality, arrangements for handicapped people are considered as comfort parameters. Today, the car speeds increase as the speed of the highrise building construction increases. The high car speeds are an important parameter which influence the vibrations of the car. In this study, the vibration behavior of an elevator car due to the rail deformations is investigated for normal use-running case by the finite element method for different car speeds.

**Keywords:** Moving load, rail deformation, car vibrations

## GİRİŞ

**T**itreşim, asansör kabini içerisindeki seyahat konforunu etkileyen temel parametrelerden biridir. Asansör kabini içerisinde hissedilen titreşimin temel kaynakları kılavuz raylarda montaj esnasında ortaya çıkabilecek kaçıklıklar, kılavuz ray deformasyonları ve makine-motor çalışması ile ilgili düzensizlikler olarak sıralanabilir. Son yıllarda asansör kabini titreşimleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Gomez, 2004; Funai, 2004). Ray montajı ile ilgili problemler, montaj esnasındaki özen ve çalışma periyodu süresince yapılacak düzenli bakım çalışmaları ile giderilebilir (Hagiwara, 2004). Ray deformasyonları, asansör kabininin hareketi sırasında kabin

patenlerinden kılavuz raya aktarılan kuvvetler etkisinde oluşmaktadır. Asansör projelerinde ray deformasyonları için kullanılan temel kriter, raydaki en büyük statik deformasyon değerinin konsollar arası 5 mm den az olması, kabin taşıyıcı kirişlere 1/1000'ini geçmemesi şeklinde uygulanmaktadır (Tavaslıoğlu, 2003). Bununla birlikte, normal kullanım-çalışma durumu için asansörden kabine uygulanan kuvvetlerin zamanla konumu değişen hareketli yükler olduğu ve ray üzerinde dinamik etkiler oluşturduğu dikkate alınmalıdır. Kılavuz raylar ile ilgili detaylı bilgiler ilgili referansta bulunabilir (Targıt, 2003). Bu çalışmada, 8 kişilik bir asansör için farklı çalışma hızlarında kılavuz raya etki eden hareketli yüklemeye etkisi ile oluşan dinamik ray deformasyonlarının asansör kabini üzerindeki titreşim değerlerine etkisi incelenmiştir.

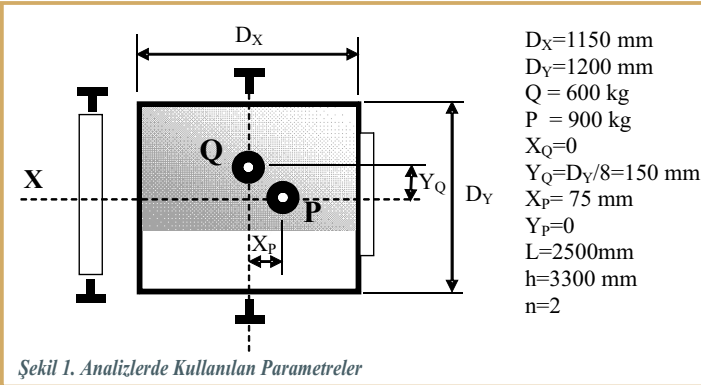
\* İletişim yazarı

Geliş/Received : 04.02.2008

Kabul/Accepted : 19.03.2008

## METOT

Bu çalışmada, 8 kişilik bir asansör kabini için normal kullanım-yükleme durumunda kılavuz ray üzerine etki eden x ve y yönündeki hareketli kuvvetlerin etkisi altında kılavuz raydaki dinamik yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme değerleri asansör kabini üzerine yer değiştirme zorlaması olarak etki ettirilerek kabin üzerindeki farklı noktalar için titreşim değerleri yer değiştirme, hız ve ivme olarak elde edilmiştir. Yapılan dinamik analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm için ANSYS™ programı kullanılmıştır (Moaveni, 1999). İncelenen kabin için temel büyüklükler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Analizlerde Kullanılan Parametreler

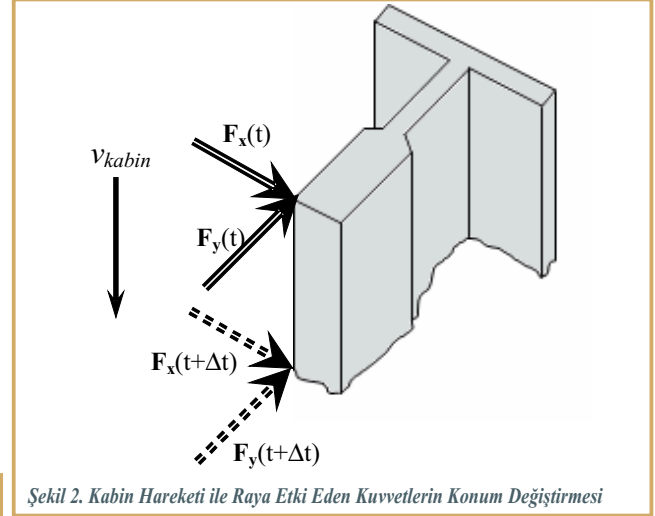
Normal kullanım-yükleme durumu için kılavuz rayaya etki eden kuvvetler şu şekilde hesaplanır (Tavaslıoğlu, 2003),

$$F_x = \frac{k_2 g_n [Q(X_Q - X_S) + P(X_P - X_S)]}{nh} \quad (1)$$

$$F_y = \frac{2k_2 g_n [Q(Y_Q - Y_S) + P(Y_P - Y_S)]}{nh}$$

Burada  $k_2$  elektro manyetik fren ile sert duruş faktörünü,  $g_n$  yerçekimi ivmesini,  $n$  kılavuz ray sayısını  $h$  ise patenler arası mesafeyi göstermektedir. Şekil 1'de verilen değerlerin Denklem 1'de yerine konması ile  $F_x=120.38$  N ve  $F_y=321.0545$  N olarak elde edilir. Standart hesaplamalarda  $F_x$  ve  $F_y$  kuvvetinin bu kuvvetler etkisinde rayda oluşan maksimum eğilme miktarı (sehim) değeri hesaplanmakta ve standartta izin verilen değer ile karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada standart hesaplamalardan farklı olarak rayaya etki eden kuvvetlerin ray boyunca kabin hızı ile hareket ettikleri dikkate alınmış ve raydaki dinamik yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Ray üzerindeki kuvvetlerin hareketi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada kılavuz raylar T89/B olarak seçilmiştir. Konsollar arası mesafe 2.5 m ve

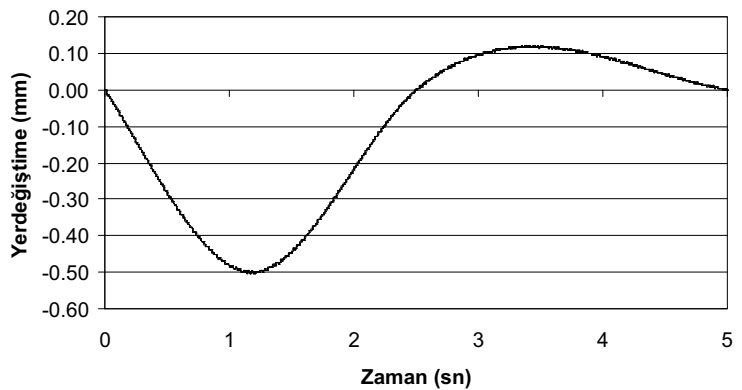


Şekil 2. Kabin Hareketi ile Rayaya Etki Eden Kuvvetlerin Konum Değişirilmesi

patenler arası mesafe 3.3 m olarak alınmıştır. Kılavuz ray ANSYS programı ile katı olarak modellenmiştir. Kılavuz rayaya ait sonlu elemanlar modelinde 10 düğümlü üçgen prizma elemanlar kullanılmış olup, model 1472 eleman ve 3251 düğümden oluşmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile rayaya ait hareket denklemleri matris notasyonunda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = \{f(t)\} \quad (2)$$

Burada M kütle matrisini, K direngenlik matrisini,  $\ddot{y}$  ve  $y$  sırasıyla ray sonlu elemanlar modelindeki düğümlere ait her bir eksen yönündeki ivmeleri ve yer değiştirmeleri göstermektedir.  $f(t)$  zamana bağlı düğümsel zorlama vektörü olup yüklerin hareketini modellemek üzere her analiz zamanı için kuvvetlerin etkime çizgisi üzerindeki farklı düğümlere uygulanan zorlamaları içermektedir. Dinamik analiz, APDL kodu kullanılarak (ANSYS Parametric Design Language) bu çalışma için yazılan bir program ile gerçekleştirilmiştir. Kabin hızı programda kullanılan bir değişken olup, analizler 1 m/sn ve 1.6 m/sn'lik kabin hızları için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te kılavuz ray üzerindeki bir nokta için (iki konsol ortasındaki



Şekil 3. Kılavuz Ray Konsol Arası Noktasına Ait Dinamik Yer Değişirtilmeler (Kabin Hızı: 1 m/sn)

nokta) zamana bağlı yer değiştirme değerleri 1 m/sn'lik kabin hızı için verilmiştir. Kabin 5 sn'lik hareketi sırasında 5 m'lik ray mesafesi kat etmektedir ve bu arada 2.5 m'de bir konsol geçmektedir.

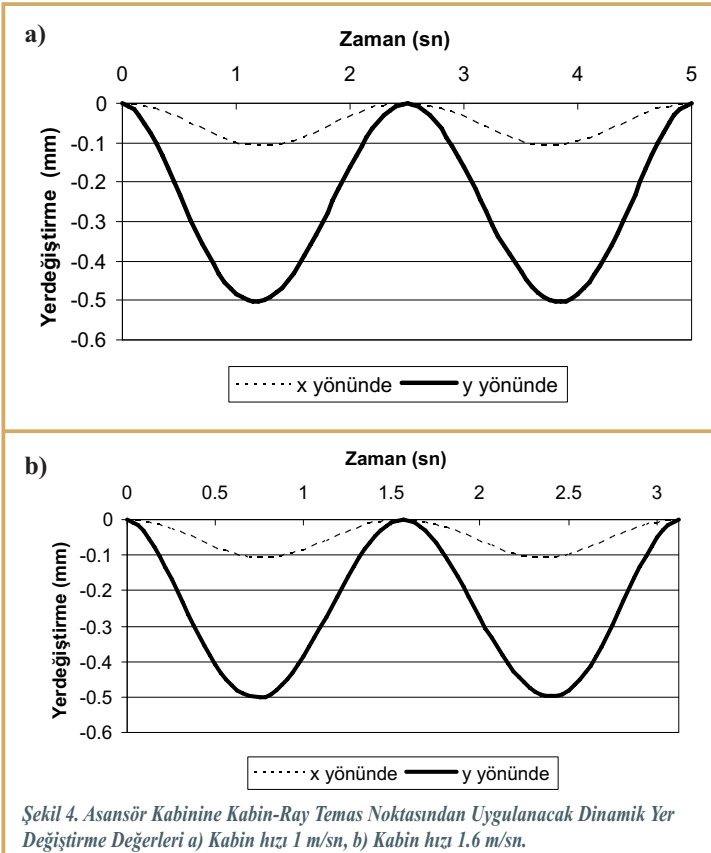
Kılavuz ray üzerindeki tüm noktalara ait dinamik yer değiştirme değerleri iki farklı kabin hızı için benzer şekilde hesaplanmıştır. Bu şekilde asansör kabininin hareketi sırasında kılavuz rayın dinamik yer değiştirme şekli elde edilmiştir. Raya ait dinamik yer değiştirmeler ray ile kabin temas noktası olan paten bölgesinden kabin geometrisine bir yer değiştirme zorlaması olarak verilerek kabinde ray deformasyonları sonucunda oluşan titreşimler hesaplanmıştır.

Yer değiştirme zorlaması altında kabin geometrisinin hareket denklemleri matris notasyonunda aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = [K]\{u(t)\} \quad (3)$$

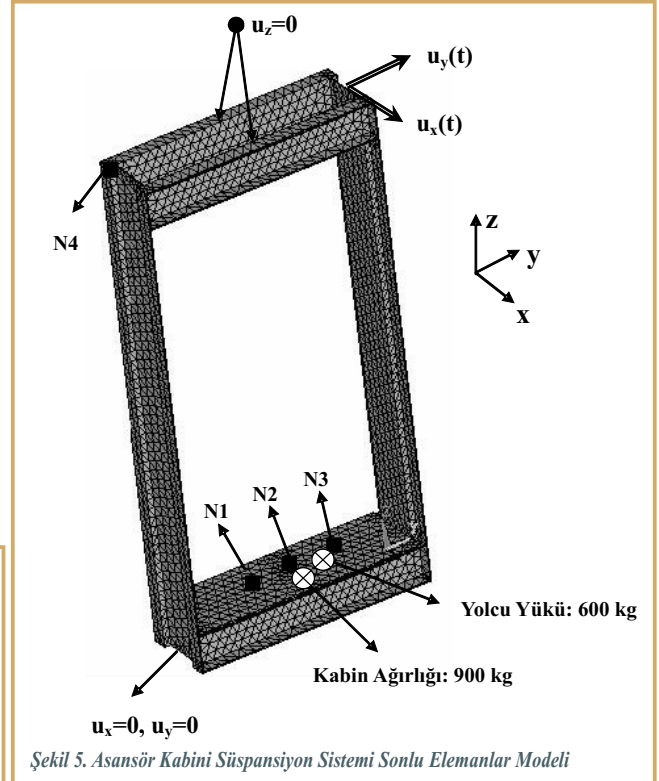
Burada  $u(t)$  geometrinin belirli noktalarından uygulanan zamana bağlı yer değiştirme zorlaması vektörüdür.

Asansör kabininin hareketi sırasında paten bölgesinden, kılavuz rayların deformasyonu sonucunda kabine aktarılan yer değiştirme değerleri aşağıdaki şekillerde verilen formda elde edilmiştir.

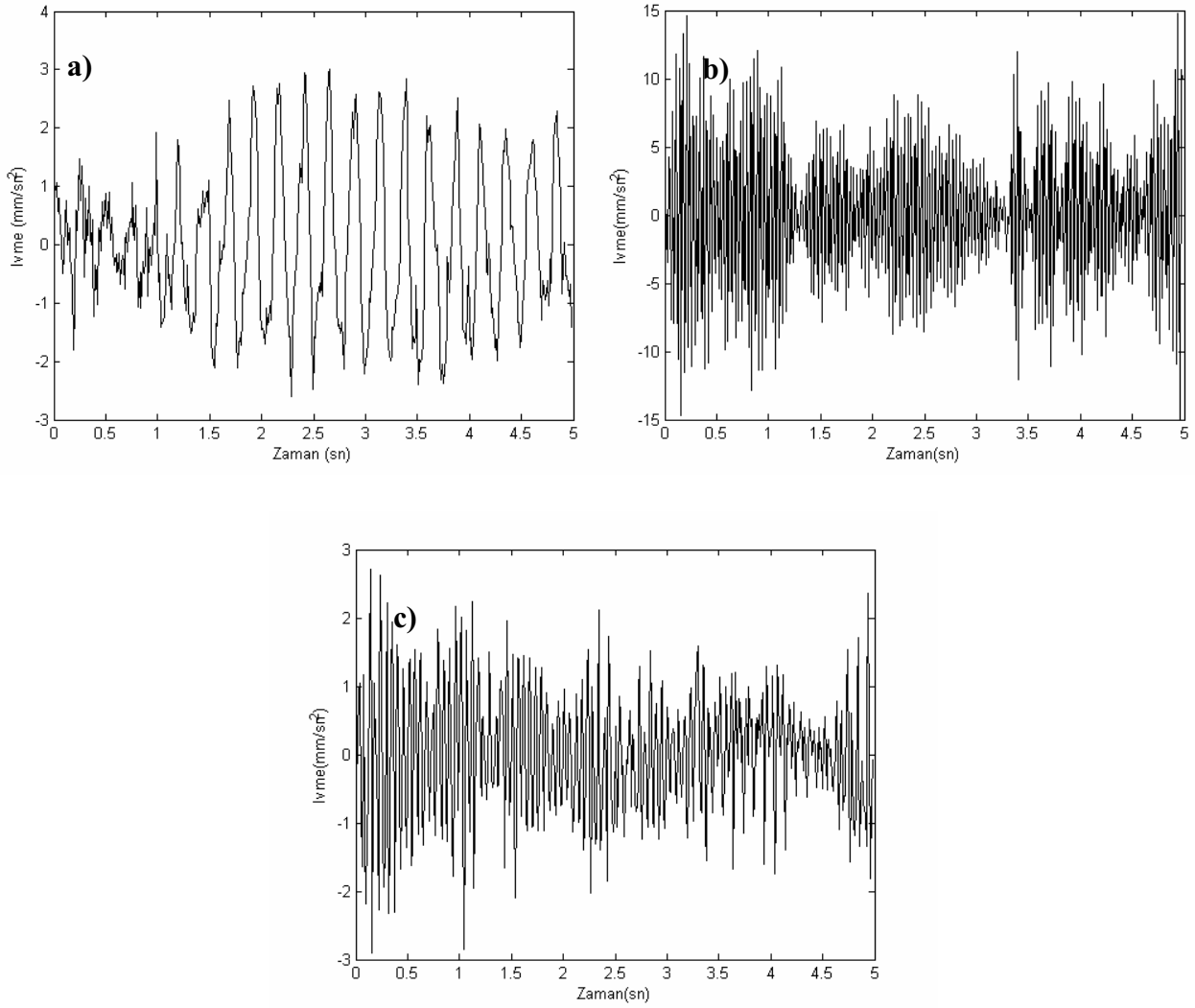


## KABİN MODELİ VE ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada 8 kişilik bir asansör kabini ele alınmıştır. Ele alınan kabin boyutları Şekil 1'de verilmiştir. Modelde basitlik sağlanması için asansör kabini, süspansiyon sistemi ve asansör kabini ağırlıkları (Q ve P) süspansiyon sisteminin belirli noktalarında noktasal kütle olarak modellenmiştir. Basitleştirilmiş sisteme ait sonlu elemanlar modeli Şekil 5'de verilmiştir. Kabine ait sonlu elemanlar modeli 13 293 eleman ve 27 153 düğüm noktası içermektedir.



Şekil 5'de görüldüğü gibi, süspansiyon sisteminin hareketi iki bölgeden sınırlandırılmış olup, halat bağlantı noktasında dikey yer değiştirmelere (z), sol alt köşede ise kılavuz raya temastan dolayı x ve y yönündeki yer değiştirmelere izin verilmemiştir. Süspansiyon sisteminin sağ üst köşesinde bir önceki bölümde elde edilen x ve y yönündeki dinamik yer değiştirme değerleri kabin geometrisine yer değiştirme zorlaması olarak uygulanmıştır. Şekil 5'de kabin ağırlığı ve yolcu yükünün hangi bölgelerde noktasal olarak kabul edildiği gösterilmiştir. Burada kullanılan mesafeler Şekil 1'de gösterilen  $X_p$  ve  $Y_Q$  değerlerine uygundur. Süspansiyon sisteminin tabanında 10 mm kalınlığında sac malzeme kullanılmıştır. Yapılan titreşim analizleri sonucunda Şekil 5'de gösterilen N1, N2, N3 ve N4 noktalarındaki yer değiştirme, hız ve ivme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6. N1 Noktasındaki İvme Cevabı a) x yönünde b) y yönünde , c) z yönünde, 1 m/sn kabin hızı için

Yapılan titreşim analizlerinde kabin sistemine ait 10 adet doğal frekans kullanılmış olup zaman aralığı  $\Delta t=1/(20 * f_{10})$  olarak alınmıştır. Burada  $f_{10}$  kabin sistemine ait 10. doğal frekanstır. Şekil 6'da N1 noktası x, y ve z yönündeki ivme değerleri verilmiştir. Şekil 6b'de görüldüğü gibi 1 m/sn kabin hızı için N1 noktasındaki en büyük ivme değerleri y yönünde elde edilmektedir.

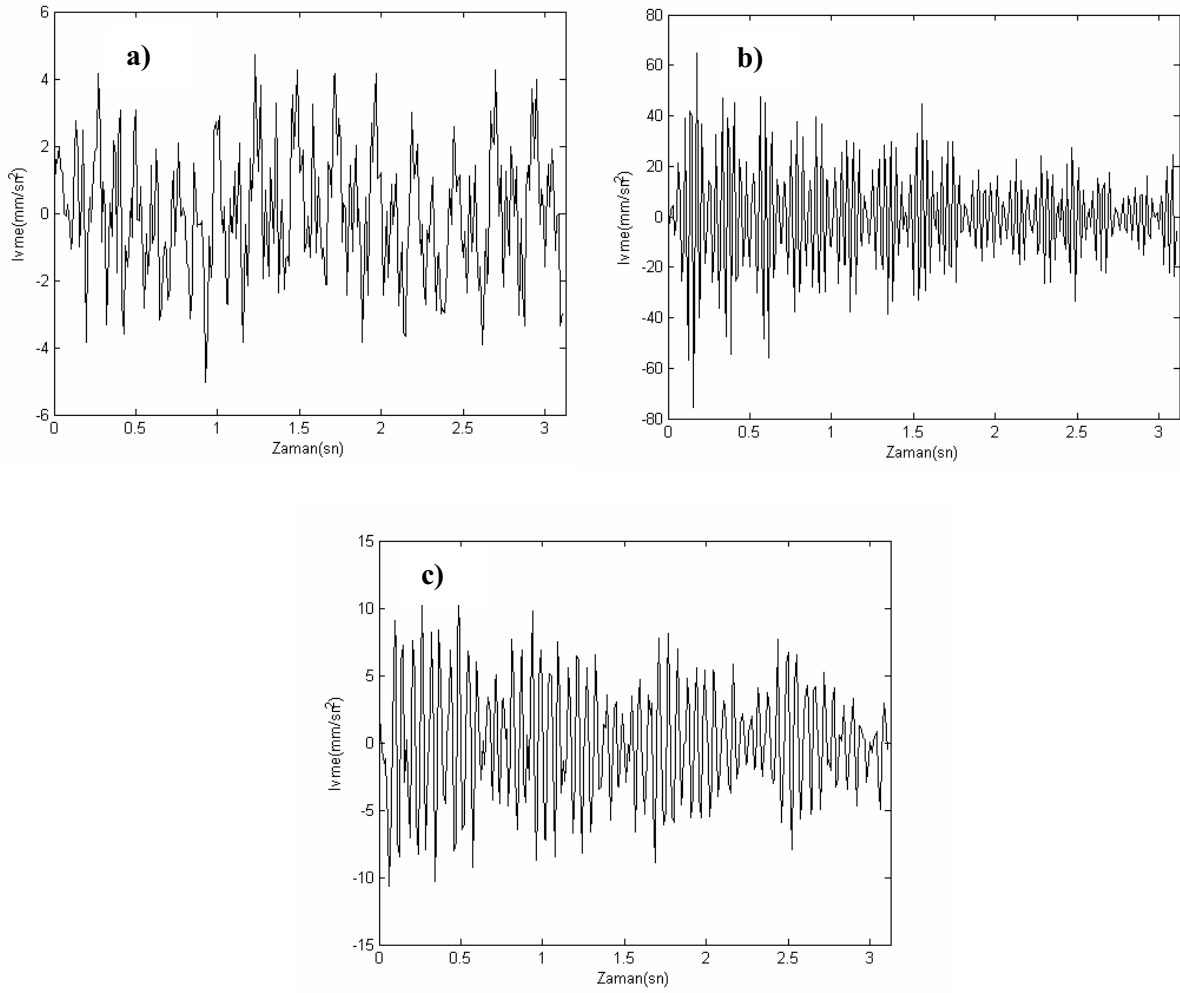
Şekil 7'den görüldüğü gibi kabin hızı 1.6 m/sn'ye yükseltildiğinde N1 noktası için elde edilen titreşim değerlerinde özellikle y ve z yönlerinde önemli bir artış oluşmaktadır. Bu sonuç temel olarak yüksek kabin hızlarında ray deformasyonlarının ve bununla birlikte ray montajında ortaya çıkabilecek kaçıklıkların kabin titreşimleri üzerinde önemli etkileri olabileceğini göstermektedir. Genel olarak titreşim değerlerinin analizinde, titreşim enerjisi bilgisini içermesinden dolayı kare ortalamasının karekökü (rms, root mean square) değerleri ve titreşim genlikleri hakkında bilgi sahibi olmak için titreşim sinyali içerisindeki tepeden tepeye

değeri (p-p, peak to peak) belirtilmektedir. N adet örneğe sahip bir sinyal (u) için bu değerler aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\text{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}, \quad p-p = \max(x_i) - \min(x_i) \quad (4)$$

Farklı iki kabin hızı için N1, N2, N3 ve N4 noktalarının ivme cevaplarından elde edilen rms ve tepeden tepeye değerler MATLAB™ (Çetin, 2003) programı ile hesaplanarak aşağıda verilmiştir.

Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen değerlere bakıldığında, 1.6 m/sn kabin hızı için kabin dinamik cevabına ait rms ve tepeden tepeye değerlerinin özellikle y yönünde tüm noktalar için arttığı gözlenmektedir. Bu durum, artan kabin hızlarında kabin titreşimlerinin ray deformasyonlarına karşı duyarlılığının arttığını ve kabin titreşim seviyelerinin artan kabin hızlarına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7. N1 Noktasındaki İvme Cevabı a) x yönünde b) y yönünde , c) z yönünde, 1.6 m/sn kabin hızı için

Tablo 1. 1 m/sn Kabin Hızı İçin Titreşim Cevaplarının İstatistik Değerleri

Nokta	Yön					
	x		y		z	
	rms (mm/sn <sup>2</sup> )	p-p (mm/sn <sup>2</sup> )	rms (mm/sn <sup>2</sup> )	p-p (mm/sn <sup>2</sup> )	rms (mm/sn <sup>2</sup> )	p-p (mm/sn <sup>2</sup> )
N1	1.2659	5.6137	5.6153	29.7262	0.9146	5.6192
N2	0.8307	3.6838	5.5983	29.6064	0.5312	3.9039
N3	0.6624	3.4094	5.6050	30.2995	0.8354	4.9926
N4	1.6852	8.1144	7.0780	43.6980	1.4513	8.4447

Tablo 2. 1.6 m/sn Kabin Hızı İçin Titreşim Cevaplarının İstatistik Değerleri

Nokta	Yön					
	x		y		z	
	rms (mm/sn <sup>2</sup> )	p-p (mm/sn <sup>2</sup> )	rms (mm/sn <sup>2</sup> )	p-p (mm/sn <sup>2</sup> )	rms (mm/sn <sup>2</sup> )	p-p (mm/sn <sup>2</sup> )
N1	1.8782	9.7301	20.0045	140.2353	4.2902	22.7670
N2	1.0973	5.3742	19.9644	140.5420	2.9038	18.3903
N3	1.5075	8.8737	19.9919	141.7222	4.2144	23.6039
N4	3.5045	20.5568	18.1945	164.5899	8.4230	46.7608



## SONUÇLAR

Bu çalışmada, normal kullanım-çalışma durumu için asansör kılavuz raylarındaki kabin hareketinden kaynaklanan dinamik yer değiştirmeler sonlu elemanlar yöntemi ile ANSYS programı kullanılarak elde edilmiştir. Kılavuz ray için elde edilen dinamik yer değiştirmeler kabin sistemine kabin-kılavuz ray temas bölgesinden yer değiştirme zorlaması olarak uygulanarak kabine ait titreşim davranışı elde edilmiştir.

Yapılan analizlerde, asansör kabinin artan hızlarında titreşim seviyelerinde gözlemlenen artıştan yola çıkarak, asansör kabinin yüksek hızlarda ray deformasyonlarına karşı daha duyarlı olduğu sonucu sayısal olarak elde edilmiştir. Özellikle hızın 1 m/s üstüne çıktığı durumlarda bu asansör montajında özellikle dikkate alınması gereken bir durum olarak görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle kılavuz rayların montajı sırasında ortaya çıkabilecek kaçıklıkların da benzer şekilde özellikle artan kabin hızlarında kabin titreşim seviyelerine olumsuz şekilde yansıtacağı sonucuna varılabilir.

Kabin titreşim seviyelerinde ortaya çıkabilecek olumsuzlukları önleyebilmek için ray montajı sırasında gereken özenin gösterilmesi ve asansörün işletmeye alınmasını takiben düzenli bakımların yapılmasının gerekliliği elde edilen nümerik sonuçlar ile de vurgulanmaktadır.

## KAYNAKÇA

1. Çetin, A.E., 2003, Herkes için MATLAB 6.5, Alfa Yayınları.
2. Funai, K., Katayama, H., Higaki, J-I., Utsunomiya, K., Nakashima, S., 2004, The Development of Active Vibration Dampers for Super High-Speed Elevators, Elevator Technology 14, pp. 81-89.
3. Gomez, A., Pelegay, J.L., Vila, L., Bernad, C., 2004, State of the Art Simulation and Measurement Techniques for the Analysis of Noise and Vibration Problems in Elevator Installations, Elevator Technology 14, pp. 90-97.
4. Hagiwara, T., Hamada, T., Yamamoto, S., 2004, Automatic Guide-Rail Measuring System for Elevator Installation and Renewal, Elevator Technology 14, pp. 106-112.
5. Moaveni, S., 1999, Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS, Prentice Hall, New Jersey.
6. Targit, S., 2003, Asansör Kılavuz Rayları Özellikler ve Uygulamalar, 1. İletim Teknolojileri Bildiri Kitabı, s. 291-300, İstanbul.
7. Tavashoğlu, S., 2003, Asansörde Pratik Bilgiler, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayını, Yayın No: E/2003/1-35.

*Daha Etkin  
Bir ODA için  
Üyelik  
Aidatlarımızı  
ÖDEYELİM*