

Kılavuz Rayları ve Emniyet Freni Mekanizmaları Üzerindeki Gerilmelere Dair Araştırma

Dr. C. Erdem İmrak¹, Said Bedir¹, Sefa Targıt²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Türkiye

²ASRAY Şirketi, Türkiye

Anahtar Sözcükler: Makaralı tip ani emniyet freni mekanizması, asansör kılavuz rayı, gerilme analizi, sonlu eleman yöntemi, Abaqus/Cae

ÖZET

Makaralı tip ani emniyet freni mekanizması, asansör sisteminin en önemli elemanlarından biridir. Emniyet freni mekanizmasının işletimi sırasında yüksek gerilmelere ve fren ivmelerine maruz kalır. Bu çalışmada, gerilmeleri, sapmaları ve deformasyonları araştırmak için, kılavuz rayı ve emniyet freni mekanizması modellenir ve bu analizler farklı yük durumları ve farklı ray desteği mesafeleri için gerçekleştirilir. Ayrıca, serbest düşme testi donanımı kurulur ve emniyet freni mekanizmasının işletimi sırasında ortaya çıkan gerilmeler gerilme-ölçerler vasıtasıyla kaydedilir. Geleneksel hesaplama, sonlu eleman analizi ve deneysel yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılır.

1. GİRİŞ

Asansör kılavuz rayları ve emniyet freni mekanizmaları, asansör sisteminin yüksek emniyet şartı gerektiren en önemli komponentleridir. Emniyet freni mekanizmaları asansör kabine monte edilir ve kılavuz raylarının her iki tarafına yerleştirilir. Normal koşullarda kılavuz rayları sadece asansörün seyir yaptığı asansör güzergahlarını tanımlar ve asansör kabinlerine etki eden yüklerden ve kuvvetlerden ayrı oldukları kabul edilir (Demirsöz ve ark., 2005). Asansörün seyri sırasında, kuvvetler nispeten düşük olur, özellikle de kabin iyi dengeliyse ve yük dağılımı iyiyse. Raylar üzerine etki eden diğer yükler, acil durumlarda emniyet freni mekanizması işletiminden gelir (Targıt, 2002). Uygulanan yükler, emniyet freni mekanizması tipine bağlı olarak çok yüksek olabilir. Özellikle de makaralı tip ani emniyet freni mekanizmaları, emniyet freni mekanizması işletimleri sırasında raylar üzerinde yüksek gerilmeler ve deformasyonlar meydana getirir (İmrak ve ark., 2006).

Emniyet freni mekanizmalarının asansörlerle birlikte uygulanması ihtiyacı gözden geçirilmiş ve kılavuz raylarında bozulmayı en aza indirme ihtiyacını dikkate alan aşamalı emniyet freni mekanizmalarının avantajlarını ele almıştır (Jaros, 1988). Avrupa Standardı EN81-1, Amerikan Emniyet Kodu A17.1, Avustralya Standardı AS 1735.2 ve Çekoslovak Standardı'na göre kılavuz raylarındaki gerilme ve sapma hesapları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır (Janovsky, 1992, Janovsky, 1999). EN81-1'e göre kılavuz rayı hesaplaması

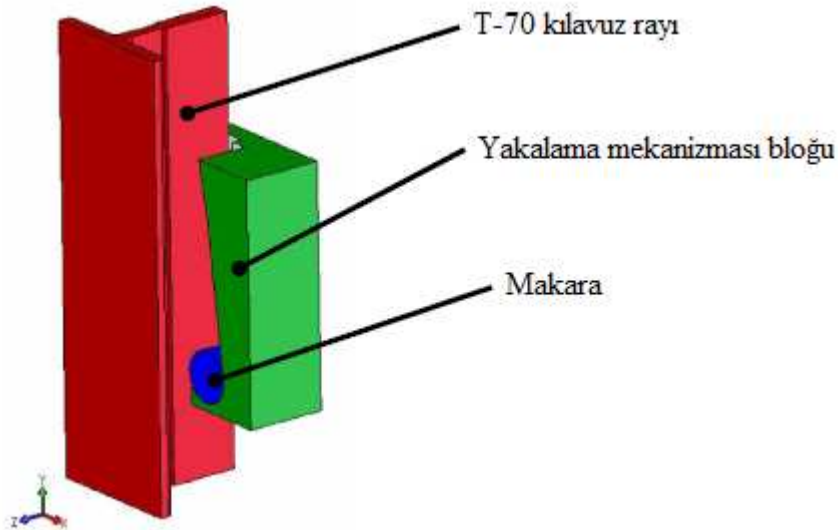
araştırılmış ve kılavuz rayı hesabını pratik ihtiyaçlara adapte etmek için bir yöntem uygulanmıştır (Stawinoga, 2001). Emniyet freni mekanizması işletiminin gerilme hesabı üzerindeki etkilerini göstermek için, sonlu eleman yönteminin kılavuz rayı gerilme analizine uygulanması gerçekleştirilmiştir (Demirsöz ve ark., 2005).

Serbest düşme testi donanımı kurulur ve emniyet freni mekanizmasının işletimi sırasında ortaya çıkan gerilmeler gerginlik-ölçerler vasıtasıyla kaydedilir (İmrak ve ark., 2006). Gerilme-ölçer sadece temas ettirildiği nokta için bir değer verir. Ancak, gerilme gradyanı elde etmek için, şerit paternli ölçüm cihazı kullanılabilir.

Bu çalışmada, kılavuz rayı olarak T-70 kılavuz rayı profili ve emniyet freni mekanizması olarak da tek yönlü makaralı tip ani emniyet freni mekanizması alınır. Bu kılavuz rayı ve emniyet freni mekanizması tiplerinin her ikisi de asansör sistemlerinde en yaygın kullanılanlardır. Geleneksel hesaplama, sonlu eleman analizi ve deneysel yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılır.

2. MAKARALI TİP ANİ EMNİYET FRENI MEKANİZMASI

Ani emniyet freni mekanizması, kabinin durdurulması için bir mekanik sıkıştırma komponenti olup, kabin hızının önceden belirlenmiş bir değere ulaşması durumunda kılavuz raylarını kavrarlar (Janovsky, 1999). İşletim her iki kılavuz rayında eşzamanlı olmalıdır. Bu çalışmada, deneysel analiz için kullanılan makaralı tip emniyet freni mekanizması, kabin karkasının alt elemanlarının aşağısına yerleştirilir ve bir çift kılavuz rayı üzerinde çalışır; Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Makaralı tip ani emniyet freni mekanizması

Ani tip emniyet freni mekanizmasının durdurma süresi ve mesafesi önemli ölçüde kısadır ve durdurma kuvvetini ve durdurma mesafesini sınırlandırmak için hiçbir esnek parça dahil edilmez. Ani tip emniyet freni mekanizması 0,63 m/s’yi aşmayan nominal hız için kullanılabilir (Inglis, 2000). Bir kabinin, ani tip emniyet freni mekanizmasının davranışı üzerindeki etkisi önceden ne tam olarak tahmin edilebilir, ne de hesaplanabilir. Bu nedenle, deneysel olarak incelenmelidir (Janovsky, 1999).

3. EMNİYET FRENİ MEKANİZMALARININ GERİLİM HESAPLARI

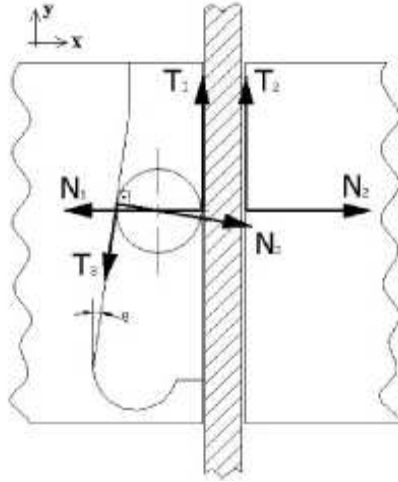
Emniyet freni mekanizmasının işletimi sırasında makaralar arasındaki sürtünmelerden dolayı yüksek yükler ve gerilmeler meydana gelir. Sürtünme kuvvetleri kılavuz rayları ve emniyet freni mekanizması blokları üzerinde genelde sıkıştırma ve bükülme gerilmelerine yol açar. Sürtünme kuvvetleri uygun seviyede, en azından serbest düşme sırasında asansör kabinini durdurmak için gereken seviyede olmalıdır.

Emniyet freni mekanizmasının işletimi sırasında, kabin, potansiyel ve kinetik enerjisini yüksek darbe kuvvetlerine ve ivmelerine sebep olan sürtünme enerjisine transfer eder. Sistemi etkileyen toplam kuvvet Şekil 2'ye göre elde edilebilir.

$$T_{\max} = m(Q + P) \quad (1)$$

Burada, Q nominal yük, P kabinin kütlesi ve m de darbe katsayısıdır. Dinamik prosesten dolayı yerçekimi yükü yönündeki toplam kuvvetler sıfırdan farklı olur ($\Sigma Y > 0$), bu nedenle aşağıdaki eşitsizlik yazılabilir.

$$T_1 - N_3 \sin \alpha > 0. \quad (2)$$



Şekil 2. Kılavuz rayı ve bloklar üzerine etki eden kuvvetler

x yönünde etki eden kuvvetler reaksiyon kuvvetleriyle dengelenir ($\Sigma X = 0$), bu nedenle aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$N_3 = \frac{N_1}{\cos \alpha}. \quad (3)$$

Burada, α kama açısıdır. Kabinin durduran toplam sürtünme yükleri kılavuz rayı sayısına bağlıdır ve n kılavuz rayı sayısıdır.

$$T_{\max} = n(T_1 + T_2) \quad (4)$$

Burada, T_1 teğet reaksiyon kuvveti ve T_2 de sürtünme direnci kuvvetidir. Asansör tesisatları genelde iki kılavuz rayına ve dolayısıyla da her bir ray üzerinde iki emniyet freni mekanizmasına sahiptir. Darbe katsayısı EN81-1'e göre seçilir. x yönündeki toplam kuvvetler sifıra eşit olduğundan ve reaksiyon kuvvetleri birbirine eşit olduğundan ($N_1 = N_2$),

$$N_1 = \frac{T_1}{\mu_1}, \quad (5)$$

Burada, N_1 ve N_2 Şekil 2'deki normal reaksiyon kuvvetleri ve μ_1 de makara ile kılavuz rayı arasındaki sürtünme katsayısıdır. Bu nedenle, düşmekte olan kabini durdurması gereken teğet reaksiyon kuvveti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_1 \cong \frac{m(Q+P)}{2\left(1 + \frac{\mu_2}{\mu_1}\right)}, \quad (6)$$

Burada, μ_2 emniyet freni mekanizması bloğu ile kılavuz rayı arasındaki sürtünme katsayısıdır. Emniyet freni mekanizmasını ikazlamak için, makara kılavuzunun eğimi aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$\tan \alpha < \frac{\mu_1 - \mu_3}{1 + \mu_1 \mu_3}, \quad (7)$$

Burada, μ_3 emniyet freni mekanizması bloğu ile makara arasındaki sürtünme katsayısıdır. Eşitlik (7) dikkate alınırsa, mekanizma bloğu üzerinde meydana gelen toplam gerilme aşağıdaki gibidir (Bedir, 2007).

$$\sigma_{v3} = \sqrt{\left(\frac{N_3}{A_3} + \frac{M_{xe3}}{I_{x3}} \cdot y_3 - \frac{M_{ye3}}{I_{y3}} \cdot x_3\right)^2 + 4 \cdot \tau_{b3}^2} \leq \sigma_{em}, \quad (8)$$

Burada A_3 blok üzerindeki makara temas alanı, M_{x3} N_3 kuvvetinden kaynaklanan moment, M_{y3} T_3 kuvvetinden kaynaklanan moment, I_{x3} ve I_{y3} sırasıyla x yönündeki ve y yönündeki atalet momentleri, τ_{b3} de T_3 kuvvetinden kaynaklanan burulmadır.

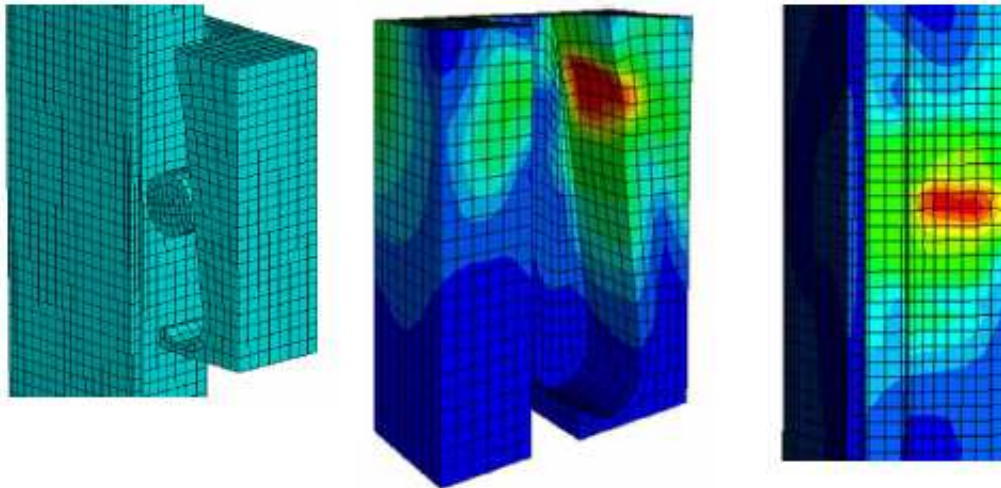
4. EMNİYET FRENI MEKANİZMASI TEST DONANIMI

Yazarlar tarafından tasarlanan dahili test kulesi, asansör ekipmanlarının ve özellikle de asansör kılavuz raylarının ve emniyet freni mekanizmalarının testinde kullanılabilir. Bu dahili test kulesinin bir amacı da asansör mühendislerinin ve teknisyenlerinin eğitimidir. Bu kule, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan Asansör Teknolojileri Laboratuvarının bir parçasıdır (İmrak ve ark., 2006). Bu testte, tahrik ünitesi zemin kat konumuna yerleştirilir, halat sistemi de makinenin zemin katı konumuna göre donatılır, tek halat sarımlı tahrik uygulanır ve halat oranı faktörü bire eşittir. Tahrik ünitesi bir frenli asansör makinesi, bir kaplin, bir tahrik kasnağı ve serbest düşme işletimi için ikinci bir

frenden oluşur. ASRAY Şirketince (İstanbul, Türkiye) imal edilen asansör makinesi kullanılır. Test için iki kabin karkası kullanılır ve bunların her biri döküm demirden yapılmış dolgu ağırlıklarıyla yüklenir. Her bir dolgu ağırlığı yaklaşık 17,3 kg ağırlığındadır. Kabin karkası kılavuzu, her bir kabin karkası için ayrı ayrı dört T-50 kılavuz rayı monte edilerek yapılır. Böylece, test kılavuz rayı serbest düşme testi sırasında gerginlik-ölçer uygulaması için serbest hale gelir. Asansör kılavuz raylarının seri üretiminin yapıldığı ASRAY Inc.'ten elde edilen asansör kılavuz rayı verileri kullanılmıştır. Kılavuz rayı kesitlerinin boyutları, kılavuz raylarının fiziksel özellikleri ve bu çalışmadaki profil özellikleri ISO 7465:2001'de verilmiştir. Gerilmeler, ölçülen şekil değiştirme değerleri kullanılarak hesaplanır.

4. SAYISAL SONUÇLAR VE HESAPLAMA SONUÇLARI

Bu çalışmada, T-70 kılavuz rayı profilleri ve makaralı tip ani emniyet freni mekanizmaları için gerilme ve sapmalar analiz edilir. Kılavuz raylarındaki gerilme ve sapmayı hesaplamak için, EN81-1 kuralları uygulanır ve daha sonra sonlu eleman yöntemiyle yapılan statik gerilme analizinden elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılır. Kılavuz rayının gerilme dağılımını ve sapmaları analiz etmek için, bir sonlu eleman analiz aracı olarak ABAQUS/CAE 6.6-1 yazılımı seçilmiştir. Emniyet freni mekanizmasının, kılavuz rayının ve gerilme dağılımlarının sonlu eleman modeli Şekil 3'te gösterilmiştir.



(a) gözenekli som model (b) emniyet freni mekanizması bloğu (c) T-70 kılavuz rayı

Şekil 3. Sonlu eleman modelleri ve gerilme dağılımları

Kılavuz rayının, emniyet freni mekanizması bloğunun ve makaranın ayrıntıları, CAD yazılımı arşivinde saklanan C3D8R üç boyutlu sonlu elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. İnce ilâ orta kalınlıkta kiriş yapılarının analizi için uygun bir elemandır. Bu eleman aynı zamanda 8 düğümlü lineer tuğla esastır. ABAQUS C3D8R elemanı, tek kalınlık elemanıya hassas olmayan sonuçlar vermektedir, fakat bu sayı arttıkça sonuçlarda gelişme olmaktadır.

Kılavuz rayı ve emniyet freni mekanizması bloğu deforme olabilen parça ve makara, sonlu eleman modellemesinde ise deforme olmayan rijit parça olarak modellenmiştir. ABAQUS/CAE'de analiz tipi olarak açık dinamik seçilmiştir. Kılavuz rayı modelinde kullanılan malzeme St37'den yapılmış olup Hooke Yasasına göre homojen ve izotropik elastiktir, emniyet freni mekanizması bloğu modeli St42'den yapılmış olup Hooke Yasasına göre homojen ve izotropik elastiktir, makara modeli ise CuSn12'den yapılmıştır ve malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Bedir, 2007).

Tablo 1. Malzeme özellikleri ve sonlu eleman özellikleri

Malzeme özellikleri	Kılavuz rayı	Malzeme özellikleri	Dişli bloğu
Malzeme	: St37	Malzeme	: St42
Akma gerilme mukavemeti	: 185 GPa	Akma gerilme mukavemeti	: 225
Elastisite modülü	: 207 GPa	Elastisite modülü	: 207 GPa
Poisson oranı	: 0,3	Poisson oranı	: 0,3
Yoğunluk	: 7850 kg/m ³	Yoğunluk	: 7850 kg/m ³
Malzeme özellikleri	Makara	Modelde kullanılan elemanlar	Sayı
Malzeme	: CuSn12	Eleman tipi	C3D8R
Akma gerilme mukavemeti	: 140 MPa	Düğüm	: 135663
Elastisite modülü	: 118 GPa	Eleman	: 104356
Poisson oranı	: 0,3		
Yoğunluk	: 8700 kg/m ³		

Makaralı tip ani emniyet freni mekanizması için sayısal hesaplamadan ve sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Emniyet freni mekanizması bloğu üzerinde ortaya çıkan gerilmelerin tabloda verilen değerleri karşılaştırıldığında, sayısal sonuçlar ile sonlu eleman analizi arasında önemli bir fark vardır.

Tablo 2. Makaralı tip ani emniyet freni mekanizması için gerilme sonuçları

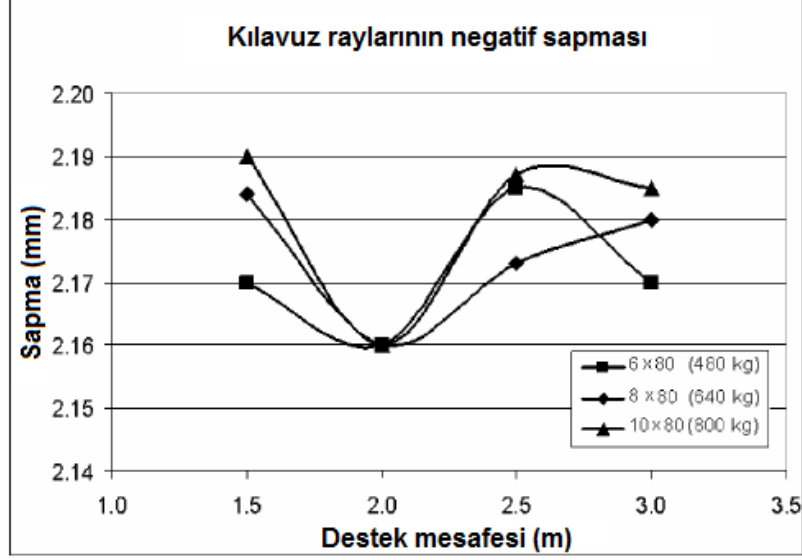
Nominal yük	Sayısal hesaplama σ (MPa)	Sonlu eleman analizi $\sigma_{eşdeğer}$ (MPa)	Fark (%)
480 kg / 6 kişi	3556	3873,5	8,93
640 kg / 8 kişi	3843	3874,5	0,82
800 kg / 10 kişi	4130	3882	6,00

T-70 tipi kılavuz rayı için sayısal hesaplamadan ve sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Kılavuz rayı üzerinde ortaya çıkan gerilmelerin tabloda verilen değerleri karşılaştırıldığında, test sonuçları ile sayısal sonuçlar arasında önemli bir fark vardır.

Tablo 3. T-70 tipi kılavuz rayı için test sonuçları

Nominal yük	Sayısal hesaplama		Sonlu eleman analizi $\sigma_{eşdeğer}$	Gerginlik-ölçer uygulaması σ
	σ_m	σ_c		
320 kg / 4 kişi	72,98	105,92	107,60	104,10
400 kg / 5 kişi	91,71	128,41	129,30	131,40
480 kg / 6 kişi	110,21	149,88	151,50	146,20

Kılavuz rayı, kuyu dibinde alt uçtan desteklenir ve kılavuz rayı mesnetleri kılavuz rayı boyunca birbirinden düzenli aralıklarla konumlandırılır (Janovsky, 1999). Bu çalışmada, mesnet mesafesinin ve kabin yüklerinin kılavuz rayı sapması üzerindeki etkileri sonlu eleman analiziyle incelenmiştir. Bazı önemli yük durumları için kılavuz rayı üzerinde yapılan sonlu eleman analizinin yer değiştirme sonuçları Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Kılavuz raylarında mesnet mesafesine ve kabin yüküne bağlı sapma

Şekil 4'ten, ABAQUS analizine göre 2000 mm düşey mesafede kılavuz raylarında daha az sapma ortaya çıktığı açıkça görülebilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kılavuz raylarının gerilmeleri sayısal, sonlu eleman yöntemi ve serbest düşme deneyiyle incelenmiştir. Emniyet freni mekanizması işletiminin gerilme hesaplamaları üzerindeki etkilerini göstermek için, açıklayıcı bir örnek verilmiştir. T70/A kılavuz rayında konsollar arasında 2000 mm düşey mesafe durumu karşılaştırma amacıyla incelenmiş ve sayısal sonuçlar, verilen serbest düşme deneyi sonuçlarıyla doğrulanmıştır. FEA'dan elde edilen gerilme ve sapma değerleri %1 ile %9 aralığında değişir ve hesaplanan gerilme ve sapma analitik değerleri karşılaştırılır. Bu saptmaya, esas olarak analitik hesaplamalardaki kabuller ve faktörler, ikinci olarak da sonlu eleman yöntemindeki sayısal yaklaşım sebep olur.