

ASANSÖR MUKAVEMET HESABINDA YENİ BİR YAKLAŞIM

Ali Fethi OKYAR
Yeditepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Kayışdağı Kampüsü, İstanbul
E-posta: okyar@yeditepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, bir asansör firmasından gelen talep üzerine hazırlanan, ve dayanım hesabında kullanılan yeni bir formülasyon sunulmaktadır. Formülasyonun yenilik içeren yanı, kabinin içinde bulunduğu karkas yapının üzerinde oluşan yüklerin yapının bütünlüğünü gözetilerek bulunuyor olmasıdır. Diğer bir deyişle, kuvvet ve momentler, her bir yapı elemanı için ayrı ayrı değil, bütün yapı için aynı anda çözülmektedir. Standard formüllerde hesaba katılmayan bu özellik, yani eleman bağlantı noktalarındaki davranışın etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar standard hesaplama tekniği ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmış, esnekliğin etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Standartlar, karkas, süspansiyon, mukavemet, enerji metodu

1 GİRİŞ

Asansör tasarımı ve dayanım hesapları hakkında bilgisi olmayan, fakat bu konu ile ilgilenmek isteyen bir mühendisin ihtiyaç duyacağı öncelikli kaynakların, konu hakkında yazılmış standartlar ve kitaplar olması doğaldır. Dışarıdan ilk bakışta nasıl çıkartıldığı anlaşılabilen tasarım formülleri, yılların tecrübesi ile oluşturulmuş kabul edilmektedir. Fakat şu da kabul edilmelidir ki, mantığı kavranmadan kullanılan formül, mühendise kolaylık sağlayan bir araçtan tehlikeli bir araca dönüşebilir. Dolayısıyla bu tip tasarım formülleri kullanılırken, paralel olarak problemi farklı bir yaklaşımla da çözümlenerek sonuçları beraber yorumlamak, faydalı olmaktadır.

Eleman bazında tek tek formül çıkartılması, ancak elemanlar arası bağlantı sağlayan bayrakların nasıl çalıştığı varsayımı üzerinden yapılabilir. Yani, bayrak-potrel bağlantısının menfez gibi davrandığı kabul edildiğinde, moment tamamen potrellere kalmakta, bayrakların raylar üzerinde ankastre hareket ettiği varsayıldığıdaysa, oluşan moment potrel ile dikme arasında bölüşülmektedir. Gerçek durumda ise, ne birinci varsayımdaki gibi bir menfez hareketi, ne de ikincisindeki gibi tam bir ankastre hareket olmamaktadır. Bayraklarda moment aktarımı olmaktadır, çünkü gerek potrel-bayrak ve gerekse de bayrak-dikme bağlantıları birden fazla cıvata ile sağlanmaktadır. İkinci olarak da, bayrakların raylara paralel hareket ettiğini kabul etmek için bir neden yoktur, ufak da olsa açısız sapmalar meydana gelebilir.

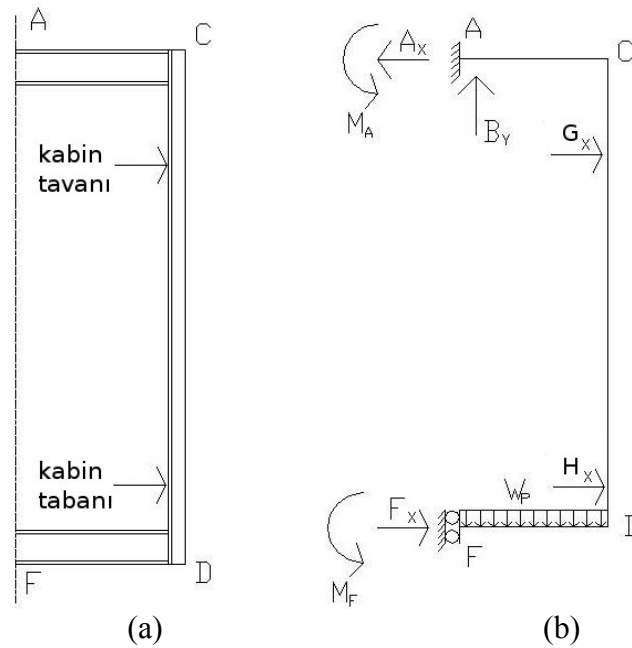
Standartlardaki tasarım formüllerinin bulunmasında, bağlantılarla ilgili varsayımların kullanıldığı sanılmaktadır (en kötü durumda potrel üzerinde yüksek moment, dikme üzerinde yüksek moment oluşturacak şekilde). Bu sav, yazının ilerleyen kısımlarında sınanmaktadır. Gerçekte karkas yapısında oluşan iç kuvvet dağılımının daha doğru bir

şekilde hesaplanabilmesi için, bahsedilen bağlantılardaki moment aktarımının da hesaba katılması gerektiği düşünülmektedir. Bu amaçla oluşturulan bütünleşik karkas yapı modeli takip eden bölümde anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, enerji metodu kısaca anlatılacak ve çözüm adımları betimlenecektir. Dördüncü bölüm yöntemin bir örnek üzerinde uygulanması sonrasında elde edilen sonuçları içermektedir. Sonuç bölümünde ise, bütünleşik karkas yapı modeli ile standard hesap yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmış ve yeni yöntemin getirdiği avantajlar değerlendirilmiştir.

2 YAPI MODELİ

Bütünleşik yapılarda, bağlantılardaki yük aktarımı ancak deformasyonların hesaba katılmasıyla çözülebilmektedir. Örneğin bir köşede birleşen iki kiriş elemanı birbirlerine ankastre olarak bağlanmışsa, her iki kiriş için bu noktadaki rotasyon aynı olacaktır. Bu ilişki denklem olarak yazılıp diğer statik denge denklemleri ile birlikte düşünüldüğünde, statik belirsizlik bir derece indirgenmektedir. Bu şekilde, statik belirsizlik derecesi sıfır olana kadar yeni deformasyon ilişkileri yazılır, ve nihayetinde sistem çözülebilir kılınır.



Şekil 1. Simetri koşullarına uygun olarak indirgenmiş bütünleşik yapı modeli (a). Yapı üzerinde etkiyen dağılım yükü (w_p), ve belirsiz reaksiyon yükleri.

Karkasın sırt sırta duran iki çerçevesine yükün eşit olarak dağıldığı ve çerçeveye önden bakıldığında tam ortadan geçen düzlem etrafında yükün eşit dağıldığı kabul edildiğinde, deformasyonların da bu düzlem etrafında simetrik olduğu, dolayısıyla karkas mukavemet hesabının bir çerçevenin yarısı üzerinde yapılabileceği görülür. İncelemenin yapıldığı bölge Şekil 1'de gösterilmiştir.

Yapıya etkiyen kuvvet ve momentler Şekil 1'de gösterilmektedir. Saat yönünde sırasıyla, A_x , M_a , B_y , G_x , H_x , F_x , ve M_f , olmak üzere toplam yedi belirlenmesi gereken reaksiyon kuvveti bulunmaktadır. Şekilde taban potrelin üzerinde görülen w_p , kabin ve anma ağırlıkları toplamının alt kirişlere dağıtılması ile bulunmaktadır.

Statik denge durumuna dönüldüğünde, yapının denge korunumu ile ilgili üç denklem

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum M_o &= 0\end{aligned}\quad (1)$$

olarak yazılmaktadır.

Sonuçta yedi bilinmeyenli bu sistemin çözülebilmesi için dört denkleme daha ihtiyaç duyulmaktadır. Statik olarak belirsiz olan bu sistemin çözülebilmesi için mukavemetde çok yararlı bir yöntem olan enerji metodu seçilmiştir. Bunun sebebi, gerekli olan dört fazladan denklemin nispeten kolaylıkla elde edilebilmesidir. Bu amaçla *maxima* adlı açık kaynaklı güçlü bir sembolik manipülasyon yazılımı kullanılmıştır.

3 FORMÜLASYON

Bu çalışmada tercih edilen enerji metodu Castigliano'nun ikinci teoremi olarak bilinmektedir. Bu metodun kullanımında, yapıya ait elastik enerji denkleminin yükler cinsinden yazılması önemli bir yer tutmaktadır. Kiriş tipi çalışan elemanların sakladığı enerji ağırlıklı olarak eğilmeden kaynaklanmaktadır, ve ifadesi,

$$U = \int_l \frac{M^2}{2EI} dl \quad (2)$$

olarak verilmektedir. Gerekli integralin alınması ve sonrasında metodun gerektirdiği diğer işlemlerin yapılmasında *maxima* yazılımı büyük fayda sağlamaktadır.

Yapıda bulunan toplam beş eleman, Şekil 1'de gösterilen üst potrel, dikme, alt potrel ile kabin taban ve tavan kirişleridir. Son iki eleman sadece çekme/ basma altında çalışırken, önceki üç eleman ise eğilme altında çalışmaktadır. Takip eden altbaşlıklarda her bir eleman için çıkartılan yük hesabı ve enerji ifadesi verilecektir.

3.1 Kabin Tavan

Saklanan enerji,

$$U_v = G_x^2 b 4 A_v E \quad (3)$$

olarak bulunur. b ve A_v sabitleri sırasıyla, kabin genişliği ve tavan kirişlerinin net kesit alanıdır.

3.2 Kabin Taban

Saklanan enerji,

$$U_b = H_x^2 b 4 A_b E \quad (4)$$

olarak bulunur ki. A_b taban kirişlerinin net kesit alanıdır.

3.3 Üst Potrel

İki parçalı eğilme moment fonksiyonu,

$$M(x) = \begin{cases} -M_a, & 0 < x < x_b \\ -(B_y x_b - B_y x + M_a), & x_b < x < x_c \end{cases} \quad (5)$$

iken, bu ifadenin (2) nolu denklemin içinde kullanılmasıyla enerji,

$$U_u = 12 I_u E \left\{ x_c 3 [B_y^2 x_c^2 + (-3 B_y^2 x_b - 3 B_y M_a) x_c + 3 B_y^2 x_b^2 + 3 M_a^2 + 6 B_y M_a x_b] - x_b 3 [B_y^2 x_b^2 + 3 B_y M_a x_b + 3 M_a^2] + M_a^2 x_b \right\} \quad (6)$$

olarak bulunur. Bu denklemde I_u , ve E , sırasıyla, üst potrelin eylemsizlik momenti, ve malzemenin elastik modülüdür.

3.4 Dikme

Üç parçalı eğilme momenti,

$$M(x) = \begin{cases} -C_x x + M_c, & 0 < x < x_g \\ G_x (x - x_g) - C_x x + M_c, & x_g < x < x_h \\ H_x (x - x_h) + G_x (x - x_g) - C_x x + M_c, & x_h < x < x_d \end{cases} \quad (7)$$

iken, buna bağlı enerji,

$$U_k = -16 I_k E \left\{ (H_x^2 + (C_x - G_x) H_x) x_h^3 + 3 (G_x H_x x_g - H_x^2 x_d - H_x M_c) x_h^2 + 3 (-2 G_x H_x x_d x_g + (H_x^2 + (G_x - C_x) H_x) x_d^2 + 2 H_x M_c x_d) x_h + (G_x^2 + C_x G_x) x_g^3 - 3 (G_x^2 x_d + G_x M_c) x_g^2 + 3 ((G_x H_x + G_x^2 - C_x G_x) x_d^2 + 2 G_x M_c x_d) x_g + (-H_x^2 + (2 C_x - 2 G_x) H_x - G_x^2 + 2 C_x G_x - C_x^2) x_d^3 - 3 (H_x + G_x - C_x) M_c x_d^2 - 3 M_c^2 x_d \right\} \quad (8)$$

olarak bulunmaktadır. Bu ifadede yer alan I_k dikmenin eylemsizlik momentidir.

3.5 Alt Potrel

Elemanın bütünü üzerinde geçerli olan eğme moment fonksiyonu,

$$M(x) = M_d - x D_y + x^2 w_p 2, \quad 0 < x < x_f \quad (9)$$

iken ($M_d = M_c - x_d C_x + (x_d - x_g)G_x + (x_d - x_h)H_x$), elemanın elastik enerjisi

$$U_u = 1120I_a E \left\{ 3w_p^2 x_f^5 - 15D_y w_p x_f^4 + (20M_d w_p + 20D_y^2) x_f^3 - 60D_y M_d x_f^2 + 60M_d^2 x_f \right\} \quad (10)$$

olarak bulunur.

Yukarıda ifade edilen enerjiler, $U = U_b + U_v + U_u + U_d + U_a$ olarak toplanıp, ihtiyaç duyulan dört ek denklemin elde edilmesi için toplam enerjinin sırasıyla A_x , M_a , G_x , ve H_x yüklerine göre türevleri alınır ve sıfıra eşitlenir. Böylece elde edilen dört denklemlik ek kümenin, (1) nolu denge denklem kümesi ile birlikte çözülmesiyle, öncelikle A_x , M_a , G_x , ve H_x yükleri, ve takiben sistemdeki bütün yükler çözülür ve problemin çözümü tamamlanır.

4 ÖRNEK ÇÖZÜM

Önceki bölümde belirtilen yöntem kullanılarak elde edilen değerler ile, standartlarda belirtilen şekilde bulunan değerlerin karşılaştırılabilmesi için, örnek bir asansör ele alınmıştır. Örnek ile ilgili bilgiler çözüm için yazılan *maxima* programında tanımlandıkları şekliyle aşağıda verilmiştir:

Model geometrisi:

Potrel uzunluğu (mm), b : 990.0
Askı elemanının genişliği (mm), wa : 200
Dikme serbest uzunluğu (CD açıklığı) (mm), L : 3210
Kılavuz pabuçlar arası uzaklık (mm), H : 3400
Potrel merkez - kabin taban arası boşluk (mm), xd - xh : 100
Kabin yükseklik (mm), xh - xg : 2200

Eleman Kesitleri:

Üst Potrel, 2 adet NPU 100
Alt Potrel, 2 adet NPU 80
Dikme, Eşkenar Köşebent 50x50x5
Kabin Taban, 3 adet NPU 80
Kabin Tavan, 4 adet NPU 80

Malzeme ve Yükleme Koşulları:

Çelik, elastik modülü (N/mm²), E : 210000
Anma ağırlığı (kg), Q : 630
Kabin ağırlığı (kg), P : 910
Toplam ağırlığı (kg), W : Q+P
Dağıtılmış yük (N/mm), wp : g W / (2 b)

Enerji Metodunun uygulandığı program çıktılarına geçmeden önce standartlardaki formüllere göz atılacaktır. Alt ve üst potrel kirişlerin eğilme mukavemet hesabı'nda gösterildiği şekliyle şöyledir: net kesit üzerinde oluşan maksimum eğilme momenti

$$M_{net} = g \frac{W}{2} \frac{l_y}{2} = 3740 \text{ Nm} \quad (11)$$

iken, potrel başına düşen moment $M_p = 1870 \text{ Nm}$ olarak bulunur. Dikme üzerindeki eğme momenti ise yayılı yük durumu için şöyle gösterilmiştir:

$$M_d = g \frac{Q \cdot b}{8} \frac{L}{4H} = 180 \text{ Nm} \quad (12)$$

Tablo 1. Karkas yapısında oluşan iç kuvvetler.

Eleman	Bölge	Kuvvet (Çekme)	Moment (Eğme)
		(N)	(Nm)
Üst potrel	Orta (A)	109	1505 (1870)
Dikme	Üst taraf (C)	3886	85
Dikme	Alt taraf (D)	3886	374 (180)
Alt potrel	Orta (F)	3723	615

Aynı değerler, yazılan *maxima* programında kullanıldığında çıkan sonuçlar da Tablo 1'de gösterilmektedir. Oldukça detaylı bir şekilde ortaya çıkan iç kuvvetlerin yanısıra, bir diğer çıktı, kabin yapısında oluşan baskı kuvvetleridir. Kabinin üst ve alt kısımlarındaki çekme/basma kuvvet değerleri, sırasıyla 115N ve 3716N'lik baskı olarak bulunmuştur.

Tablo 1'in birinci ve üçüncü satırlarında moment değerlerinin yanında parantez içinde standartlardaki formüller kullanılarak elde edilen sonuçlar bildirilmiştir. Sayılar birbirlerine oldukça yakın olmasına rağmen (üst potrel için %24, dikme için %52 hata), dikkatle okunduğunda tablodan çıkan başka sonuçlar da vardır.

5 SONUÇLAR

Önceki bölümde hesaplanan değerler eleman bazında irdelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Önce potreli ele alalım. Potrel için standartta kullanılan formül ($M = gWb/4$), her iki tarafından basit menfezlerle bağlanlanmış ve tam ortasından W yükü etkileyen basit kiriş formülüdür. Halbuki ileride dikmenin incelenmesinde de görüleceği gibi, potrel-bayrak-dikme bağlantısı ankastre olup, bağlantıda oluşan moment dikme ile potrel arasında paylaşılır. Dolayısıyla standart formülün öngördüğü 1870 N-m, bütünleşik modelde 1505 N-m olarak bulunmaktadır. İlk sonuç şu şekilde özetlenebilir: Eleman bağlantılarındaki paylaşımlar göz önüne alındığında, standartlardaki üst potrel moment hesabının verdiği değer beklenen değer yaklaşık %25 üzerinde çıkmaktadır.

Dikmeye geldiğimizde ise, standartlarda bu eleman için öngörülen moment formülüne bakıldığında ($M \approx gQ \cdot b/32$), çift taraftan ankastre edilmiş ve yayılı yük taşıyan bir kiriş için yazılanla aynı olduğu görülmektedir. Önceki moment formülündeki varsayımınla çelişecek şekilde bu sefer, bağlantı noktasında potrelin sanki duvara

ankastreymiş gibi davrandığı varsayılmıştır. Yazar bu varsayımın, dikmenin raylara paralel hareketinden kaynakladığını düşünmektedir. Lakin, bütünleşik modelde bu tip varsayımlara gerek kalmadan paylaşılan yükler sonucun doğal bir parçası olarak elde edilmekte, belirsizlikler ortadan kalkmaktadır.

Ayrıca bütünleşik modelde kabinin taban ve tavan bölümleri de modele dahil edilmiştir. Bu sayede kabin tabanında meydana gelen sıkışma kuvvetinin dikmenin alt tarafında rotasyonu engellediği, bu yüzden dikmenin alt kısmında momentin (374 N-m) üst kısmına (85 N-m) oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Standard formülde ise alt-üst ayrımı olmaksızın 180 N-m lik bir dikme momenti bulunmakta olup, bu değer beklenen en yüksek değer yaklaşık yarısıdır. Yani dikme için standartta verilen moment formülünde ciddi bir düzeltme söz konusudur.

Kısaca özetlenecek olursa, güçlü bir sembolik manipülasyon yazılımının da yardımıyla, karkas üzerinde oluşan iç kuvvetlerin tahmininde kullanılabilecek yeni bir yöntem oluşturulmuş, bir örnek üzerinde kullanılmış ve sonuçlar geleneksel yöntemler ile karşılaştırılarak irdelenmiştir.

6 KAYNAKLAR

- (1) Türk Standardlar Enstitüsü, `Asansörlerin Hesap,Tasarım ve Yapım Kuralları (Elektrikle Çalışan İnsan ve Yük Asansörleri İçin)', 1988.
- (2) İmrak,E., Erdemli,İ., `Asansörler ve Yürüyen Merdivenler', Birsen Yayınevi, 2000.
- (3) Maxima, A GPL CAS based on DOE-MACSYMA, <http://maxima.sourceforge.net/>.
- (4) Timoshenko, S.P., Gere, J.M., `Mechanics of Materials', D. Van Nostrand, 1972.
- (5) Den Hartog, ,J.P., `Strength of Materials', Dover, 1961.