

AYARLI KÜTLESEL SÖNÜMLEYİCİLERİN AÇIK DENİZ YAPILARINA UYGULANMASI

Mehmet Bakiođlu Ünal Aldemir

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Mekanik Anabilim Dalı, 34469, Maslak, İstanbul
bakiođlu@itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, üzerine ayarlı kütleli sönümleyici yerleştirilmiş bir deniz yapısına bir geminin yanaşma probleminin modellenmesi ve sayısal çözümü sunulmuştur. Platform ve gemi arasındaki dönme ve hidrodinamik etkileşim kuvvetleri basitlik açısından ihmal edilmiştir. Usturmaça ve kazıklar lineer olmayan yaylar ile modellenmiştir. Sayısal analizde Wilson- θ metodu durum vektörü kavramı ile kullanılmıştır. Ayarlı kütleli sönümleyicinin sistem cevabına ve enerji dağılımına etkisi sayısal olarak araştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

ABSTRACT

The modeling and numerical solution for berthing a ship to a nonlinear flexible marine structure equipped with a passive tuned mass damper are studied. For simplicity; rotations and hydrodynamic interaction between the platform and the ship are ignored. Fenders and piles are modelled by nonlinear springs. In the numerical analysis, Wilson- θ method is used with the state vector concept. The effects of the tuned mass damper on the system response and energy distribution are investigated numerically and the results are discussed.

1. GİRİŞ

Gemi dizaynında meydana gelen gelişmeler daha büyük yeni yanaşma yapılarını gerektirmektedir. Fakat mevcut limanlardaki yer darlığı ve gemilerin manevrası için gerekli derin su ihtiyacından dolayı yanaşma yapıları liman dışında yapılmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak bu yapıların daha büyük yükler ve deplasmanlar için dizayn edilmeleri gerekmektedir. Çünkü bu yapılar gemilerin yanaşması esnasında oluşan kuvvetlerden başka aynı zamanda dalga ve rüzgar gibi kuvvetlerinde etkisindedirler.

Ayrıca gemi trafiğindeki artış ve diğer çeşitli sebeplerden dolayı yanaşma esnasında hem insan hayatına hem de çevreye büyük zarar verebilecek kazalar meydana gelmektedir. Bu sorunları çözmeye mevcut yönetmeliklerin ve kuralların yenilenmeleri bir dereceye kadar etkili olmaktadır.

Yukarıda bir kısmı ifade edilen nedenler bir açık deniz yapısına yanaşma probleminin ve yanaşma yapısının daha dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Her ne sebeple olursa olsun yanaşma yapılarında oluşabilecek fazla miktarda enerjinin yardımcı sistemler tarafından alınarak esas yapının korunması gerekmektedir.

Yanaşma yapılarında bu iş için usturmaçalar kullanılmaktadır. Usturmaçalar fazla miktarda kinetik enerjiyi absorbe ederek yanaşma yapısına ve gemiye daha az kuvvet gelmesine sebep olurlar. Başka yardımcı sistemler olmadığından usturmaçalarda çok büyük deplasmanlar oluşmaktadır. Bu durumda büyük deplasmanlardan dolayı usturmaçalarda oluşan lineer olmayan davranışın ve histeriz kayıplarının modellemede dikkate alınması gerekmektedir. Esnek deniz yapılarına yanaşma probleminin analitik modelleri ve çözümü hakkında literatürde birçok çalışma vardır[1-4].

Bu çalışmada ise deniz yapısını ve gemiyi maruz kalabilecekleri büyük kuvvetlere karşı korumada usturmaçalara ek olarak pasif kontrol sistemlerinden ayarlı kütleli sönümleyicilerin kullanılması önerilmiştir.

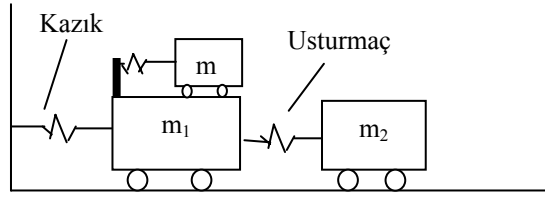
Problem en genel halde lineer olmayan bir esnek deniz yapısına yanaşma problemi olarak ele alınmıştır. Modellemede yanaşma yapısı dipten kazıklarla mesnetlenmiş bir rijit platform, gemi ise rijit bir cisim olarak kabul edilmiştir. Platform ve gemi arasındaki dönmeler ve hidrodinamik etkileşimler ihmal edilmiştir. İç ve dış sönümler hızın fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Problemin çözümü durum vektörü kavramı kullanılarak Wilson- θ yöntemiyle zaman ortamında yapılmıştır.

2. FORMÜLASYON

Yanaşma yapısı zemine kazıklarla bağlanmış rijit bir platform olarak modellenmiştir. Platformun kazıklarla beraber toplam kütlesi m_1 'dir. Rijit cisim olarak kabul edilen gemi ise sabit ilave kütleli de içecek şekilde m_2 kütlesindedir. Yanaşma yapısı üzerine yerleştirilen kütleli sönümleyici m_3 kütlesindedir. Geminin yanaşma hızı v 'dir.

Gemi ve yanaşma yapısının dönmeleri ihmal edilmiştir. Kazıklar ve usturmaçalar lineer olmayan yaylar ile modellenmiştir. Bu kabuller ve idealleştirmeler altında yanaşma yapısı,

gemi ve kütesel sönümleyici sistemi yay-kütle sistemi ile Şekil 1'de görüldüğü gibi modellenmiştir.



Şekil1. Yapısal modelin kütle-yay sistemi ile gösterimi.

Bu sistemin hareket denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$m_1 \ddot{x}_1(t) + f_1^d(t) + f_1^s(t) - f_2^d(t) - f_2^s(t) - f_3^d(t) - f_3^s(t) = 0 \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) + f_2^d(t) + f_2^s(t) = 0 \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{x}_3(t) + f_3^d(t) + f_3^s(t) = 0 \quad (3)$$

Burada $f_i^d(t)$ ve $f_i^s(t)$, ($i=1,2,3$), yapı, gemi ve sönümleyici üzerine etki eden sönüm ve geri çağırıcı kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin

$$f_i^d(t) = f_i^d[\dot{x}_j(t)] \quad (4)$$

$$f_i^s(t) = f_i^s[x_j(t)]$$

denklemleri ile ifade edildiği gibi hız ve deplasmanın fonksiyonları oldukları kabul edilmiştir. (1)-(3) denklemlerini aşağıdaki şekilde matris-vektör notasyonu ile de yazmak mümkündür.

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{X}}(t) + \mathbf{F}^d[\dot{\mathbf{X}}(t)] + \mathbf{F}^s[\mathbf{X}(t)] = \mathbf{0} \quad (5)$$

Burada \mathbf{M} , (3x3) köşegen kütle matrisi, $\mathbf{X}(t)$, $\mathbf{F}^d(t)$ ve $\mathbf{F}^s(t)$ ise sırasıyla 3-boyutlu deplasman, sönüm ve rijitlik kuvvet vektörleridir. Problem için başlangıç koşulları

$$\mathbf{X}(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \dot{\mathbf{X}}(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ -v \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

olarak verilmiştir.

3. SAYISAL YÖNTEM

(5) denklemini (6) koşulu altında Wilson- θ yönteminden yararlanarak direk entegrasyonla çözmek mümkündür. Çözümde h zaman aralığını ifade etmek üzere nh anındaki herhangi bir değer n indisi ile gösterilmiştir. Örneğin nh anındaki ivme, hız ve deplasman vektörleri $\ddot{\mathbf{X}}_n, \dot{\mathbf{X}}_n$ ve \mathbf{X}_n ile gösterilmiştir.

(5) ile verilen lineer olmayan denklemin çözümü durum vektörü kavramı kullanılarak Wilson- θ yöntemiyle elde edilebilir. (nh) anındaki $\mathbf{Z}(t)$ durum vektörü

$$\mathbf{Z}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_n \\ \dot{\mathbf{X}}_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

olarak tanımlanmıştır. $(n+1)h$ anındaki \mathbf{Z}_{n+1} durum vektörü

$$\mathbf{Z}_{n+1} = \mathbf{P}_n^1 \mathbf{Z}_n - \mathbf{P}_n^2 \mathbf{M}^{-1} (\mathbf{C}_n \mathbf{F}_n^d + \mathbf{K}_n \mathbf{F}_n^s) \quad (8)$$

denkleminle elde edilir. Bu ifadeden anlaşılmaktadır ki, durum vektörü \mathbf{Z}_{n+1} , (nh) anındaki değerlere bağlı olarak bulunmaktadır.

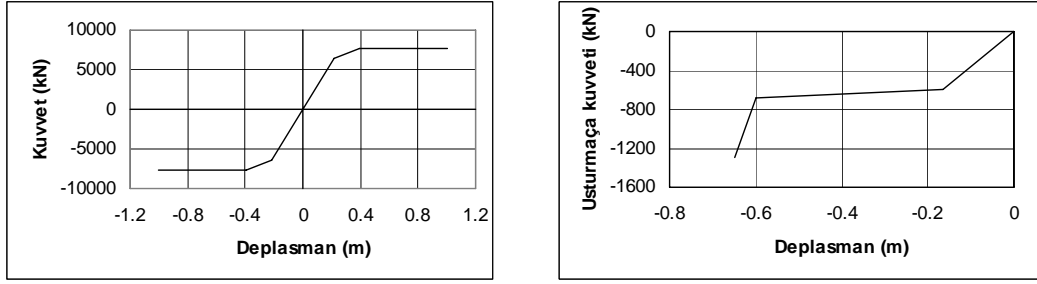
$$\mathbf{Z}_{n+1} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{n+1} \\ \dot{\mathbf{X}}_{n+1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z}_n = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_n \\ \dot{\mathbf{X}}_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{P}_n^1 = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \frac{1}{\theta^3} \mathbf{E} \mathbf{G} + b_1 \mathbf{I} \\ \mathbf{0} & \frac{b_3}{\theta^3} \mathbf{E} \mathbf{G} + b_4 \mathbf{I} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_n^2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{\theta^3} \mathbf{E} \mathbf{A} + b_2 \mathbf{I} \\ \frac{b_3}{\theta^3} \mathbf{E} \mathbf{A} + b_5 \mathbf{I} \end{bmatrix}$$

\mathbf{P}_n^1 ve \mathbf{P}_n^2 terimlerindeki n indisi bu terimlerin (nh) anında hesaplanacaklarını ifade etmektedir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Platform, her biri 24m uzunluğundaki 60 adet içine beton doldurulmuş çelik tüplerle zemine bağlanmış $10^m \times 100^m \times 1^m$ boyutlarında bir betonarme kazık başlığından meydana gelmektedir. Kazıklarla beraber platformun yaklaşık kütlesi 3000 tondur. Çelik tüpler 0.6m çapında ve 1 cm kalınlığındadır. Kazıklar ve usturmaça için kuvvet-deplasman eğrileri sırasıyla Şekil 2(a) ve (b)'de verilmiştir.



(a) (b)
Şekil 2. Kazıklar ve usturmaçalar için kuvvet-deplasman eğrileri.

Geminin kütlesi sabit ilave kütle ile birlikte 8302 ton olarak alınmıştır. Geminin yavaşma hızı olarak $v = 0.3$ m/sn seçilmiştir. Kazıklar için iç sönüm viskoz kabul edilmiş ve viskoz sönüm katsayısı kazık-platform sisteminin kritik sönüm değerinin %5'i olarak seçilmiştir.

İlk olarak sistemin davranışı lineer sönümsüz hal için kütle sönümleyici yokken incelenmiştir. Bu durumda lineer elastik rijitlik katsayıları olarak Şekil 2(a) ve 2(b)'de görülen lineer olmayan kuvvet-deplasman eğrilerinin birinci lineer kısımları seçilmiştir. Buna göre kazıklar ve usturmaça için lineer rijitlik katsayıları sırasıyla $k_1=29224.2$ kN/m ve $k_2=3636.4$ kN/m olarak bulunmuştur. Bütün iç ve dış sönümler ihmal edilmiştir. Bu kabuller altında sistemin doğal titreşim frekansları $w_1=0.623$ rad/sn ve $w_2=3.317$ rad/sn olarak elde edilmiştir. Maksimum kazık kuvveti 1747 kN ve maksimum usturmaça kuvveti ise 1579 kN 'dur.

Daha sonra kazıklara ve usturmaçaya dolayısıyla da gemiye gelen kuvveti bir ölçüde azaltabilmek ve enerjinin bir kısmını absorbe edebilmek için yavaşma yapısı üzerine pasif kütsel sönümleyici eklenmiştir. Bu sönümleyici ilk olarak iskele-gemi sisteminin birinci doğal frekansı w_1 'e ayarlanmış ve bu frekans sabit kalmak üzere kütsel sönümleyicinin kütlesi ve yay katsayısı uygun şekilde değiştirilerek sistemin davranışı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Daha sonra sönümleyici w_2 frekansına ayarlanarak aynı işlemler bu durum içinde yapılmış ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 ve 2'de görüldüğü gibi kısmen iyi sonuçlar sönümleyici w_2 'ye ayarlandığında elde edilmektedir. Bu durumda sönümleyici kütlesi 300 ton ve yay katsayısı da 3301 kN/m seçildiğinde maksimum kazık kuvvetinde yaklaşık %10'luk bir azalma sağlanmaktadır.

Tablo.1 Lineer sönümsüz hal (Kütsel sönümleyici w_1 frekansına ayarlı).

| Sönümleyici Kütlesi (ton) | Sönümleyici Yay Katsayısı (kN/m) | Maks. Kazık Kuvveti (kN) | Maks. Usturmaça Kuvveti (kN) |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 200 | 78 | 1746.7 | 1579.5 |
| 300 | 116 | 1746.5 | 1579.5 |
| 400 | 155 | 1746.3 | 1579.4 |
| 500 | 194 | 1746.1 | 1579.3 |
| 600 | 233 | 1745.9 | 1579.2 |
| 700 | 272 | 1745.8 | 1579.2 |

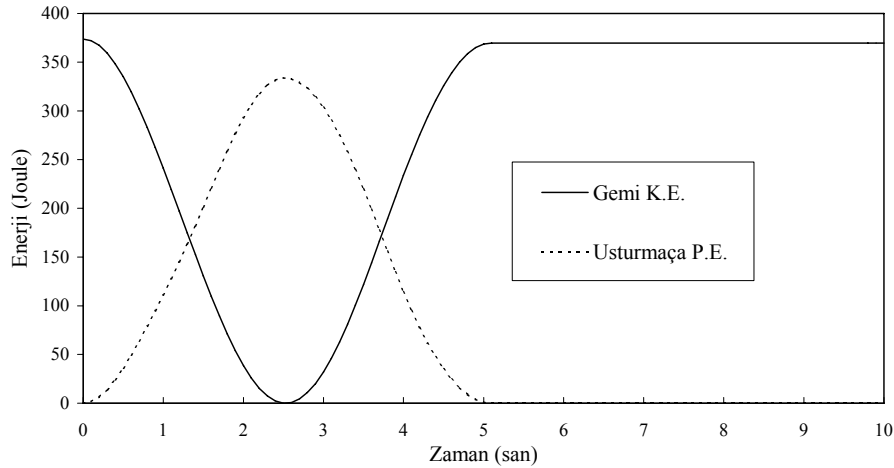
Tablo.2 Lineer sönümsüz hal (Kütlesel sönümleyici w_2 frekansına ayarlı).

| Sönümleyici Kütlesi (ton) | Sönümleyici Yay Katsayısı (kN/m) | Maks. Kazık Kuvveti (kN) | Maks. Usturmaça Kuvveti (kN) |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 200 | 2201 | 1580.4 | 1564.2 |
| 300 | 3301 | 1578.1 | 1558.1 |
| 400 | 4401 | 1584.3 | 1553.1 |
| 500 | 5501 | 1610.5 | 1549.1 |
| 600 | 6602 | 1654.6 | 1546.1 |
| 700 | 7702 | 1696.7 | 1543.9 |

Lineer sönümsüz hal için enerji dağılımı incelenerek kütleli sönümleyicinin sisteme olan etkisi araştırılmıştır. Sistemin başlangıçtaki toplam enerjisi 373.5900 joule olarak hesaplanmıştır. Bu değer geminin başlangıçtaki kinetik enerjisine eşittir. Enerji korunumunu kontrol edebilmek için sistemin toplam enerjisi her an hesaplanmış ve maksimum toplam sistem enerjisi 373.6083 joule olarak elde edilmiştir. Başlangıçtaki toplam enerji ile olan çok küçük fark kabul edilebilir sınırlar içindedir.

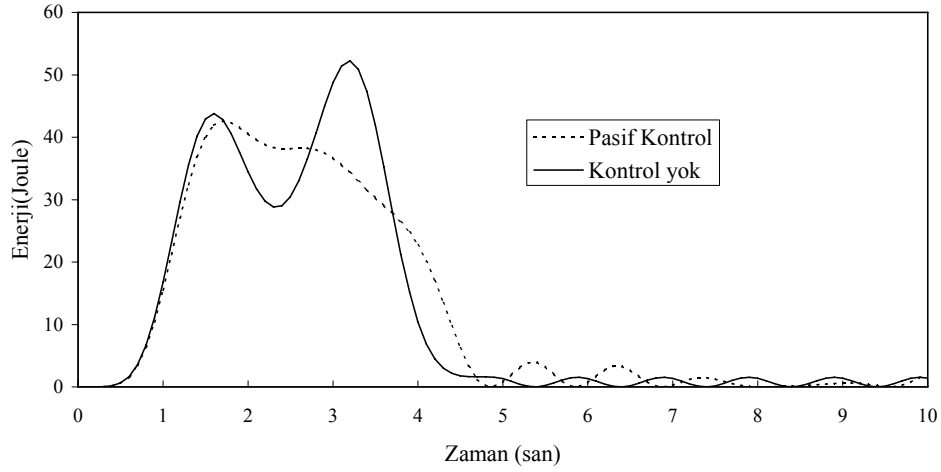
Gemi kinetik enerjisi ve usturmaçalardaki elastik deformasyon enerjisinin zamanla değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Grafiklerde K.E. ve P.E. kısaltmaları kinetik ve potansiyel enerjiler için kullanılmıştır. Şekil 3’de görüldüğü gibi başlangıçta gemi kinetik enerjisi şeklindeki toplam enerjinin büyük bir kısmı usturmaçalarda elastik deformasyon enerjisine dönüşmektedir. Geminin kinetik enerjisi minimum olduğunda usturmaçalarda depolanan enerji toplam enerjinin %89.4’ü olan 333.7682 joule olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3’de görüldüğü gibi, sistem lineer sönümsüz olduğundan $t=5$ saniye iken gemi iskeleden ayrıldığında başlangıçtaki kinetik enerjisini tekrar kazanmıştır.



Şekil 3. Lineer sönümsüz halde gemi kinetik enerjisi ve usturmaçalardaki potansiyel enerjinin değişimi.

Kütlesel sönümleyicinin kazıklardaki elastik deformasyon enerjisine olan etkisi Şekil 4’de görülmektedir. Açık ki kütleli sönümleyici varken kazıklardaki maksimum potansiyel enerjide belirgin bir azalma olmaktadır. Bunun sonucu olarak da kazık kuvvetlerinde %10’luk bir azalma meydana gelmektedir.



Şekil 4. Lineer sönümsüz halde kütleli sönümleyicinin kazıkların potansiyel enerji değişimine etkisi.

5. SONUÇLAR

Üzerine pasif ayarlı kütleli sönümleyici yerleştirilmiş esnek bir deniz yapısına bir geminin yanaşma probleminin genel halde formülasyonu yapılmış ve lineer hal için sayısal çözümler elde edilmiştir. Sonuçlar incelenen durumda pasif ayarlı kütleli sönümleyicinin etkisinin belirgin olmadığını göstermiştir. İskele ve gemiyi maruz kalabilecekleri büyük kuvvetlere karşı çok daha etkin bir şekilde koruyabilmek için pasif ayarlı kütleli sönümleyicilere ek olarak aktif kütleli sönümleyicilerinde kullanılması gerekebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Vasco, C. F., The Berthing Ship, The Dock and Harbour Authority, 45, pp.22-26, pp. 49-52, pp. 90-94, 1964.
- [2] Fontijn, H. L., The Berthing of a Ship to a Jetty. Proc. ASME, JWPO Div. Vol. 106, pp. 239-259, 1980.
- [3] Fontijn, H. L., On the Determination of Berthing Forces, Proc. Int. Con. on Num. and Hyd. Modelling of Ports and Harbours, Birmingham, England, pp.187-193, 1985.
- [4] Gaythwaiye, J. W., Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels, van Nostand Reinhold, New York, 1990.

