

# BETONARME SİLİNDİRİK SU DEPOLARINDA EKONOMİK BOYUTLARIN BELİRLENMESİ

**Güneş KOZLUCA\*, Halil NOHUTÇU\*\***

\*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

\*\*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

Geliş Tarihi : 05.09.2006

## ÖZET

Su depoları ihtiyaca göre farklı geometrik şekillerde yapılmaktadır. Uygun maliyetlerde depo tasarımlarının yapılması, ülke ekonomisi açısından önem taşımaktadır. Tasarımlarda, öngörülme hesabına girilmemiştir. Malzeme maliyeti açısından en ekonomik tasarımlar, küresel ya da silindirik depolardır. Bu çalışmada sulama veya içme suyu amaçlı, alttan ankastre, üstü açık silindirik betonarme su depolarında cidar kalınlığı, yükseklik ve yarıçap değerleri değiştirilerek tasarımlar yapılmış ve en ekonomik depo yarıçapı-depo yüksekliği oranı araştırılmıştır. Depolama hacmi sabit tutulmuştur. Bu oran kullanılarak yapılacak depolar ile ekonomimize katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Betonarme silindirik su deposu, En uygun maliyet.

## DETERMINATION OF ECONOMIC SIZES FOR RC CYLINDRICAL WATER STORAGE TANKS

### ABSTRACT

Water storage tanks are built in different shapes and sizes according to needs. Designs of water storage tanks with low costs are quite important for the national economy. Cylindrical and sphere tanks are the most economic types of tanks in terms of material cost. In this study several cylindrical tank designs are made. Then most economic tank radius – tank height ratio is searched by simply changing thickness, height and the radius of the tank considered. Storage capacity of these cylindrical tanks are all the same. All these reinforced tanks have cylindrical reinforced concrete walls fixed at the bottom and free top edge without roof. It is thought that tanks constructed with this optimal ratio will be beneficial.

**Key Words :** RC cylindrical water storage tanks, Optimum cost.

### 1. GİRİŞ

Su depoları ihtiyaca göre farklı geometrik şekillerde betonarme veya çelikten yapılmaktadır. Depoların küresel veya silindirik şekillerde yapılması kullanılacak malzeme miktarını en aza indirmektedir.

Silindirik depoların ekonomik tasarımı ile ilgili benzer çalışmalar daha önce de yapılmıştır. 1993 yılında minimum maliyette silindirik depo tasarımı konusu incelenmiştir (Tan et al., 1993). “Serviceability of circular prestressed concrete tanks” isimli çalışmada sıcaklık, rötre gibi gerilme artışlarına neden olan olaylar, çatlama durumları ve (Ghali and Elliott, 1992).

“Betonarme öngerilmeli silindirik su depolarının tasarımı” isimli çalışmada öngerilme hesap esasına göre depo tasarımı yapılmıştır (Subaşı, 1999).

“Prestressing of circular tanks” isimli çalışmada silindirik depolarda öngerilmenin gerekçeleri araştırılmıştır (Ghali and Elliott, 1991).

“Design of prestressed tanks” isimli çalışmada öngerilmeli depoların lineer olmayan analizi yapılmış ve sünme etkileri araştırılmıştır (Brondum-Nielsen, Troels, 1992).

Yine “Silindirik betonarme tankların davranışı, tasarımı ve bakımı” ve “Silindirik betonarme tank için öngerilme etkilerinin hesabı” isimli çalışmalar mevcuttur (Kuyucular ve Subaşı, 1999).

Mustafa Çelebioğlu, “Silindirik su deposu tasarımı” isimli bir çalışmada öngerilme hesap esaslarına göre boyutlandırma yapmıştır (Çelebioğlu, 2005). Benzer bir çalışmada silindirik su tanklarının minimum ağırlığa göre tasarımı yapılmıştır (Thambiratnam and Thevendran, 2005).

1964 yılında “Concrete water towers, Bunkers, Silos and Other elevated Structures” isimli bir kitap yazılmıştır (Gray and Manning, 1964).

1967 yılında depo tasarımı ile ilgili “Concrete Reservoirs and Tanks” ve isimli bir kitap yazılmıştır (G. P. Manning).

“Experimental modal analysis of a water-filled circular cylindrical tank” isimli çalışmada su deposu boş iken ve tam dolu iken yatay yükler altında çözülmüştür. Deneysel bir çalışmadır (Amabili and Pagnanelli, 2001).

“Corrosion of circular prestressed concrete water tanks” isimli çalışmada iki grup öngerilmeli dairesel su deposu durabilite ve korozyona karşı korunma yönlerinden karşılaştırılmıştır (Jorgensen et al., 1997).

“Numerical approach to the analysis of circular cylindrical water tanks” isimli çalışmada silindirik su deposu deformasyonlarının difarensiyel denklemlerini çözen nümerik bir yaklaşım önerilmektedir (Thevendran, 1986).

Bu çalışmanın verileri bir yüksek lisans çalışmasından alınmıştır.

Çalışmada hedeflenen boyutlara ulaşmak için maliyet optimizasyonu yapılmaktadır. Belirlenecek boyutlar ile mühendisler uzun deneme yanılma

çözümlenmeleri yapmadan ekonomik tasarımlar yapabileceklerdir.

## 2. KULLANILAN YÖNTEM

Sert kil zemin üzerinde oturan 10.000 m<sup>3</sup> su hacmine sahip silindirik bir su deposunda hacim sabit kalmak şartı ile boyutlar değiştirilerek toplam 12 farklı depo boyutu belirlenmiştir. Bu depolar için SAP 2000 programında sonlu elemanlar modelleri oluşturulmuş, statik ve dinamik analiz, betonarme hesap, metraj ve maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en uygun maliyeti veren boyutlar belirlenmiştir.

### 2. 1. Boyutlandırma

Sert kil zemine ait zemin emniyet gerilmesi  $\sigma_z^{em} = 122.5 \text{ KN/m}^2$  dir (Yıldırım, 1982). 10.000 m<sup>3</sup> hacimli depoda su yüksekliği en fazla 12.25 metre olmaktadır. Su seviyesi üzerinde 0.50 m'lik dalgalanma payı bulunmaktadır (Jain and Jaiswal, 2005).

Radye kalınlığı da 0.50 m alındığında depo yüksekliği  $h_{depo} = 13.25 \text{ m}$  olmaktadır. En küçük cidar kalınlığı 0.25 m'dir (Topçu, 2003). Cidar kalınlığı  $t = 25, 30 \text{ ve } 35 \text{ cm}$  iken su ve depo yükseklikleri her defasında 3'er metre düşürülerek  $h_{su} = 12.25-9.25-6.25 \text{ ve } 3.25 \text{ m}$  olmak üzere toplam 12 farklı depo boyutu elde edilmiştir (Tablo 1).

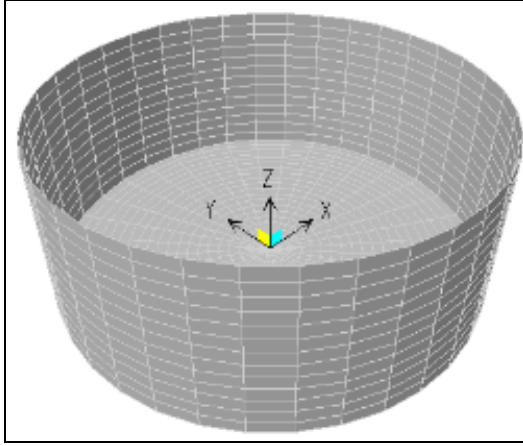
Tablo 1. Tasarımı Yapılan Depoların Boyutları.

t (m)	$h_{su}$ (m)	r (m)	$r/h_{depo}$
0.25	12.25	16.24	1.23
	9.25	18.68	1.82
	6.25	22.69	3.13
	3.25	31.42	7.39
0.30	12.25	16.27	1.23
	9.25	18.70	1.82
	6.25	22.72	3.13
	3.25	31.45	7.40
0.35	12.25	16.29	1.23
	9.25	18.73	1.83
	6.25	22.74	3.14
	3.25	31.47	7.40

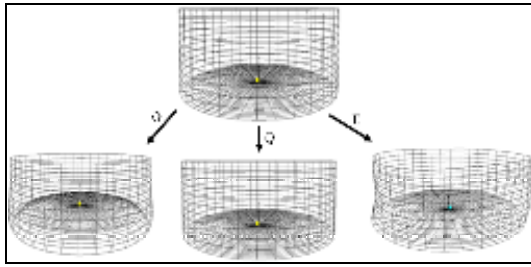
Hacmin sabit kalması gerektiğinden yükseklik azaldıkça yarıçap değerleri artmaktadır.

### 2. 2. Sonlu Elemanlar Modeli

SAP 2000 programında oluşturulan modelde 4 düğüm noktalı kabuk eleman seçilmiştir (Şekil 1). Depo altındaki zeminin etkisi, yaylar ile modellenmiştir.



Şekil 1. Sonlu elemanlar modeli.



Şekil 2. Kabuğun şekil değiştirmiş hali.

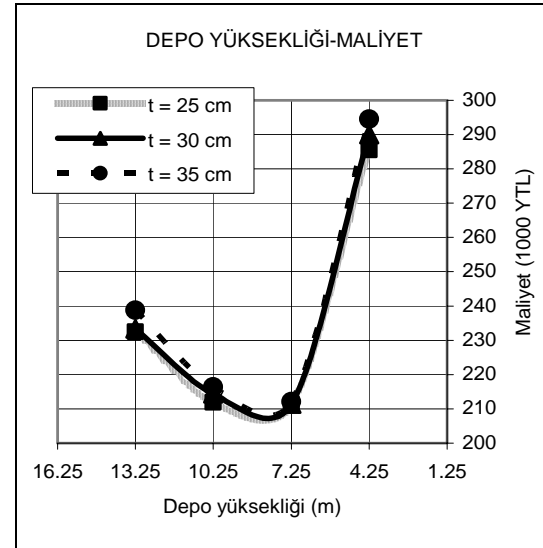
### 2. 3. Maliyet Değerlendirilmesi

Analizler sonucunda elde edilen kesit tesirleri gerekli katsayılar ile çarpılarak yük birleşimleri oluşturulmuştur. Sıvı basıncına maruz duvarlarda hareketli yük katsayısını 1.4 almak koşulu ile yük birleşimleri  $1.4G + 1.4Q$  ve  $1.0G + 1.4Q + 1.0E$  olmaktadır (Anon., 2000). Sonuçlar karşılaştırılmış, emniyet ve yapılabirlik sınırları içinde depolar donatılmıştır. Cidardaki düşey donatılar, eğilme momentlerini, yatay radyal donatılar ise çekme

kuvvetlerini karşılamaktadır. Radyedeki donatılar hasır şeklinde yerleştirilmiştir. Ayrıca çiroz ve etriyeler kullanılmıştır. Depolara ait metraj-maliyet değerlerine bağlı olarak en uygun oranlar araştırılmıştır.

Betonarme hesapları tamamlanan depolar, malzeme sarfiyatları açısından değerlendirilmiştir. Depolara ait maliyet sonuçları incelendiğinde Tablo 2'deki değerler elde edilmiştir.

Depo yüksekliği-maliyet eğrisine bakıldığında en uygun depo yüksekliği tüm cidar kalınlıkları için 7-9 metre aralığıdır. Yükseklik 7.30 metrenin altına düştüğünde maliyetler artmaya başlamaktadır (Şekil 3). Bunun nedeni hacmin sabit kalması için depo yarıçapının çok fazla artması ve dolayısı ile beton ve donatı metrajlarının artmasıdır.

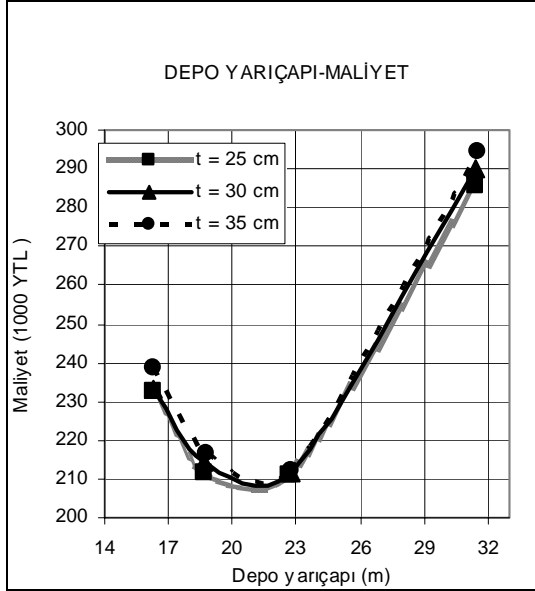


Şekil 3. Depo yüksekliği-maliyet ilişkisi.

Tablo 2. Depolara Ait Maliyet Sonuçları.

Boyutlar				Toplam Donatı (ton)	Toplam Beton (m <sup>3</sup> )	Toplam Kalıp (m <sup>2</sup> )	Toplam Maliyet (YTL)
t(m)	h <sub>depo</sub> (m)	r (m)	r/h <sub>depo</sub>				
0.25	13.25	16.24	1.23	196.83	746.19	308.57	232.470.91
0.25	10.25	18.68	1.82	159.03	841.28	354.38	211.860.25
0.25	7.25	22.69	3.13	131.04	1058.58	430.15	211.157.22
0.25	4.25	31.42	7.39	138.95	1748.66	594.71	285.531.54
0.30	13.25	16.27	1.23	189.78	814.54	309.51	233.402.78
0.30	10.25	18.70	1.82	154.88	901.82	355.32	214.362.37
0.30	7.25	22.72	3.13	125.10	1110.67	431.09	211.416.13
0.30	4.25	31.45	7.40	139.53	1790.85	595.65	290.056.05
0.35	13.25	16.29	1.23	188.32	882.85	310.46	238.802.93
0.35	10.25	18.73	1.83	150.08	962.71	356.26	216.378.08
0.35	7.25	22.74	3.14	119.63	1162.74	432.04	212.049.24
0.35	4.25	31.47	7.40	140.07	1833.03	596.59	294.547.61

Maliyet açısından en uygun yarıçap aralığı ise tüm cidar kalınlıkları için 20 – 22 metre aralığıdır. Depo yarıçapı 22 metreyi aştığında maliyetler hızla artmaya başlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Depo yarıçapı – maliyet ilişkisi.

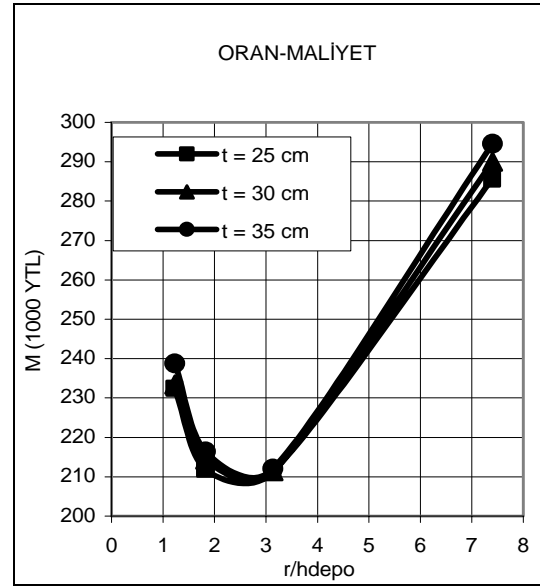
### 3. SONUÇLAR

Boyutları farklı ancak içlerindeki su hacmi eşit olan 12 farklı boyuttaki depoya ait maliyet sonuçları incelendiğinde benzer maliyet eğrileri elde edilmektedir.

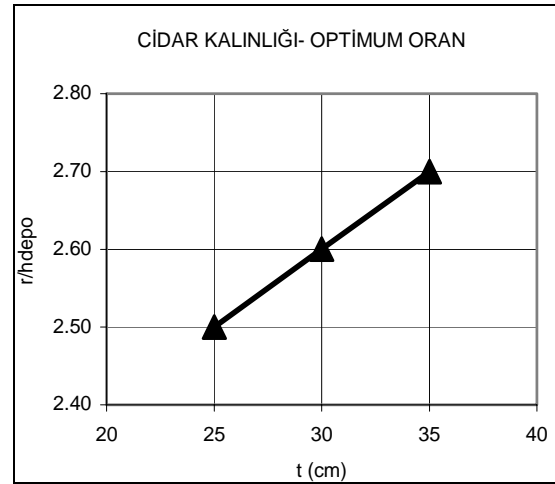
$r/h_{depo}$ -maliyet ilişkisinde 25 cm'lik depolar için elde edilen en uygun  $r/h_{depo}$  oranı 2.50, 30 cm'lik depolar için elde edilen en uygun  $r/h_{depo}$  oranı 2.60 ve 35 cm'lik depolar için elde edilen en uygun  $r/h_{depo}$  oranı 2.70 olmaktadır (Şekil 5). Optimum aralıkta eğrilerin çakışması cidar kalınlıkları arasındaki maliyet farkının az olmasındandır. En düşük maliyeti veren cidar kalınlığı 25 cm'dir.

Cidar kalınlığındaki artışa paralel olarak en uygun  $r/h_{depo}$  oranının da doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 6).

Sonuç olarak yüksekliği 7-9 metre, yarıçapı 20-22 metre,  $r/h_{depo} = 2.50$  olan 25 cm cidar kalınlığındaki betonarme silindirik depolar, bu çalışmadaki verilere göre malzeme maliyeti açısından en uygun tasarımlardır. Malzeme sarfiyatlarının düşmesi ile birlikte nakliye, işçilik ve diğer sarfiyatlar da düşmektedir. Bulunan bu pratik oran ile tip projeler oluşturulup ekonomimize katkıda bulunulacaktır.



Şekil 5.  $r/h_{depo}$  – maliyet ilişkisi.



Şekil 6. Cidar kalınlığı – optimum  $r/h_{depo}$  ilişkisi.

### 4. KAYNAKLAR

Anonim, 2000. Türk Standartları Enstitüsü. TS-500. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.

Amabili, M., Pagnanelli, F. 2001. Pellegrini, M. Experimental Modal Analysis of a Water-filled Circular Cylindrical Tank Advances in Fluid Mechanics, v 30, Fluid Structure Interaction, p. 267-276.

Brondum-Nielsen, Troels. 1992. Design of Prestressed Tanks, ACI Structural Journal, V. 89, N. 3, p. 245-250.

Çelebioğlu M. F. 2005. Silindirik su deposu tasarımı, İTÜ - FBE ,Yüksek Lisans Tezi.

Ghali, A, Elliott, E. 1992. Serviceability of Circular Prestressed Concrete Tanks ACI Structural Journal, V. 89, N. 3, May-Jun. P. 345-355.

Ghali, A, Elliott, E. 1991. Prestressing of Circular Tanks ACI Structural Journal, V. 88, N. 6, P. 721-729.

Jain, S. K. and Jaiswal O. R. 2005. Guidelines For Seismic Design of Liquid Storage Tanks, IITK-GSDMA, 106 p.

Jain, S. K and Murthy, 2001. Explanatory Examples on Indian Seismic Code IS 1893-PART-1, 16 p.

Kozluca, G. 2006. Betonarme Silindirik Su Depolarında Optimum Yarıçap-yükseklik Oranının Belirlenmesi, OGÜ-FBE Yüksek Lisans Tezi.

Kuyucular, A., Subaşı T. 1999. Silindirik Betonarme Tankların Davranışı, Tasarımı ve Bakımı, X. Mühendislik Haftası Bildiriler Kitabı, SDÜ, Isparta.

Gray, W. S., Manning, G. P. 1964. Concrete Water Towers, Bunkers, Silos and Other Elevated Structures, A Concrete Series Book.

Jorgensen, Ib Falk,Close, Steven, R. 1997. Corrosion of Circular Prestressed Concrete Water Tanks, Structures Congress - Proceedings, V. 1, Building to Last, p 339-346.

Manning, G. P. 1967. Concrete Reservoirs and Tanks, A Concrete Series Book.

Subaşı, T. 1999. Betonarme Öngerilmeli Silindirik Su Depolarının Tasarımı, SDÜ-FBE Yüksek Lisans Tezi.

Tan, G. H., Thevendran, V., Das Grupta N. C. ve Thambiratnam D. P. 1993. Design of Reinforced Concrete Cylindrical Water Tanks For Minimum Material Cost.

Thambiratnam, D. P. and Thevendran, V. 2005. Minimum Weight Design of Cylindrical Water Tanks, International Journal for Numerical Methods in Engineering.

Thevendran, V. 1986. Numerical Approach to the Analysis of Circular Cylindrical Water Tanks, Computers and Structures, V. 23, N. 3, 1986, P. 379-383.

Topçu, A. 2003. Betonarme II. Ders Notları, T.C. Osmangazi Üniversitesi.

Yıldırım, S. 1982. Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı, 150 s.