

# Silindirik bir sıvı tankının oturma performansının belirlenmesi

**Berrak TEYMÜR\***, Erdem ÜNCÜ

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Geniş çaplı ve esnek taban özelliklerine sahip silindirik tank yapılarının tasarımında, problemleri zeminlerde iyileştirme gerekliliği ortaya çıkması durumunda, alanın genişliğine bağlı olarak ıslah maliyeti yüksek olmaktadır. Bu tip yapıların geoteknik açıdan analizinde, gerek taşıma gücü gerekse oturma kriterlerinde sınır değerler, yapısal bütünlük performansı yönünden ele alınması gerekmektedir. Tank oturmaları zeminin göçmeye karşı güvenliğine göre daha önemli ve esas tasarım koşuludur. Oturmalar aynı zamanda komşu yapıları ve boru bağlantılarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Tank yapısı altında gerçekleşen oturmalara bağlı olarak üstyapı formunda deformasyonlar meydana gelmektedir. Deformasyon derecesine bağlı olarak yüzer çatılı sistemlerde, çatı sisteminin sıkışmasına ve sistemin çalışmamasına neden olabilmektedir. Zeminin sıvılaşmasına ve sıvılaşan tabaka kalınlığına bağlı olarak deformasyonlar meydana gelecektir. Yapının esnek olması nedeniyle, deprem yüklerine bağlı olarak, büyük deplasman ve deformasyonlar oluşacak yapıda yıkılma veya hasar oluşmasa dahi yapısal sistemde arızalar meydana gelebilecektir. Bu çalışma kapsamında, tank yapıları için özellikle kritik olabilen oturmalar ele alınmıştır. Literatürde silindirik tank yapıları için verilen, oturma limit değerleri ve bu değerler dikkate alınarak, siltli kil kum tabakalı bir zeminde yer alan silindirik tank yapısı için analiz yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucu oturmalar silindirik tankın bazı noktalarında izin verilebilecek değeri aşmaktadır. Ayrıca tank ek-seni boyunca meydana gelen düzlemsel oturma, merkez noktada hesaplanan oturma ile karşılaştırıldığında çanaklanmaya bağlı olarak oturma meydana gelmiştir. Meydana gelecek oturmaları ön-lemek için zemin iyileştirilmesi önerilebilir.*

**Anahtar Kelimeler:** Silindirik tank, oturma, taşıma gücü.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Berrak TEYMÜR. teymurb@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 38 31.

Makale metni 02.08.2011 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.08.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2012 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Teymür, B., Üncü, E., (2011) 'Silindirik bir sıvı tankının oturma performansının belirlenmesi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 4, 57-69" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Determination of the settlement performance of a cylindrical tank for liquids

### Extended abstract

Cylindrical tanks are usually used in petro-chemical industry to store water or chemical materials. When their diameters, heights are taken into account, excess stresses will be transferred to the soil that they would be built on. Therefore even if the soil is considered to have sufficient bearing capacity, under the loading conditions over a large area, there can be problems due to bearing capacity, settlements and deformations. When designing a tank, foundation engineering is an important factor to consider.

In the design of these wide diameter and flexible based structures, built on the problematic soils, a need for soil improvement as it would be done for a wide area could be costly. Therefore in the geotechnical analysis for these structures, the limit and tolerable values for settlement criteria needs to be considered in terms of structural integrity performances. When wide cylindrical tank structures are built on the weak soils, the settlement performance needs to be considered along with the damages that can occur on the upper structure. Settlements can cause problems in the nearby structures and the pipe connections can be effected. Cylindrical tanks are usually built on compacted granular fill materials or ring foundations with filled granular materials in the middle. In the weak soil conditions, the appropriate soil improvement method is chosen and applied or pile foundation system is used.

In this paper, a cylindrical tank constructed on a site where there could be geotechnical problems, is considered. The tank considered is 65m in diameter and has a height of 19m. The settlements that could be critical are compared with the allowable ones stated in literature. Types of settlements that a wide cylindrical tank undergo are; uniform, planar and non-planar rotation, dishing, rotation at the crust and the base of the tank, and settlement at the base of the tank. The settlement calculations done were based on Janbu's tangent modulus method developed in 1967. Uniform settlements occur where beneath the tank at every point similar settlements exist. Planar rotation occurs when there is a differential settlement between two points on the tank. Dishing occurs where differential settlements are observed between two points on the tank and the middle of the tank

base settle more than expected. Under the base of the tank, if there is soil with different geotechnical properties, local settlements can occur. Due to different soil strata thickness and deformation modules at the crust of the tank non-planar deformations can happen.

In the case considered here, settlement calculations are done for various points on the tank and the total settlement values changed between 32cm to 79.3cm. Therefore as the minimum values for the settlement of the structure is calculated, it is seen that uniform settlement will occur. The settlements that would occur due to dishing or rotation will make up the differential settlements. According to the settlement analysis done, dishing value of 9.6cm is calculated in the centre of the tank. The differential settlements will occur at the crust of the tank which was not within the limits suggested in literature. Settlements due to liquefaction of soil were calculated as well. With different thickness of the liquefiable layers settlement values varied in different parts of the tank.

As the structure is flexible, in the case of floating roofed tank systems, due to earthquake loadings, there would be big displacements and deformations that could cause collapse of the structure or damage in the structural system. Therefore the cylindrical tanks that would be constructed in the earthquake zones, dampers can be placed in their foundations.

Under the tanks that are big in diameter, differential settlements will occur. Soil improvement can be done to prevent these deformations. Stress distribution in the soil of these heavy structures attenuates at depth. Therefore site investigation needs to be done in detail and at depth.

Bearing capacity can be sufficient and settlements can be within limits under static conditions. However when saturated soils are considered, under earthquake loadings, liquefaction analysis needs to be done. Excess settlements can occur due to liquefaction. Steel cylindrical tanks are usually filled with liquid. Depending on the level of fullness, the vibrating frequency of the tank changes and needs to be calculated and dampers can be used. Dynamic analysis needs to be done with considering the local soil conditions.

**Keywords:** bearing capacity, cylindrical tanks, settlement.

## **Giriş**

Genel olarak petrol ve kimya endüstrisinde, petrol ürünleri, su ve kimyevi maddelerin depo edilmesi amacıyla kullanılan silindirik tank yapılarında, tankın çapı ve yüksekliği dikkate alındığında; tank yapısının, inşa edildiği geniş alanda zemine yüksek mertebelerde ilave gerilmeler aktaracağı beklenmektedir. Dolayısıyla sağlam olarak nitelendirilebilecek bir zemin kesitinde dahi geniş yayılım gösteren yükleme koşulları altında taşıma gücü oturmalardan açısından problem olabilmekte ve tank yapılarının tasarımında temel zemin mühendislik özellikleri önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (DeBeer, 1969).

Geniş çaplı ve esnek taban özelliklerine sahip bu tip yapıların tasarımında, problemlerle zeminlerde iyileştirme gerekliliği ortaya çıkması durumunda, alanın genişliğine bağlı olarak ıslah maliyeti yüksek olmaktadır. Dolayısıyla bu tip yapıların geoteknik açıdan analizinde, gerek taşıma gücü gerekse oturma kriterlerinde limit ve izin verilebilir değerler, yapısal bütünlük performansı yönünden ele alınması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında silindirik tank yapıları için yapının inşa edileceği geoteknik özellikler dikkate alınarak, yapıların oturma performans kriterleri değerlendirilmiştir. Janbu (1967) tangent modulus yöntemine göre oturmalardan hesaplanmıştır. Ayrıca nümerik model yapılmış ve hesaplanan oturmalardan ile karşılaştırılmıştır fakat bu çalışma kapsamında verilmemiştir.

## **Silindirik tank yapılarının geoteknik mühendisliği açısından değerlendirilmesi**

Genel olarak, silindirik tank yapıları temel mühendisliği açısından aşağıdaki şartları sağlamalıdır;

- Tank yapısından etkiyecek gerilme değerleri, zemin tarafından belirli bir güvenlik faktörü ile taşınmalıdır.
- Üst yapı yükleri altında temel zeminde meydana gelecek toplam oturma ve farklı oturma değerleri izin verilebilecek sınırlar içerisinde kalmalıdır.
- Tank taban plağı üniform bir oturmaya sahip olmalıdır.

Temel mühendisliği değerlendirme ve tahkiklerine esas olarak yukarıda belirtilen kriterler, tankların yapısal özellikleri, proje bütünü ve proje gereksinimleri, servis süresi, üretici standartları gibi hususlar ile bir bütün olarak göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla tank yapısı tasarımında, temel tipi seçimi ve temel zemini ıslah gereksinimi, temel zemini özelliklerinin yanı sıra pek çok kriter çerçevesinde ele alınmaktadır. Tank oturmalardan zeminin göçmeye karşı güvenliğine göre daha önemli ve esas tasarım koşuludur. Oturmalar aynı zamanda komşu yapıları ve boru bağlantılarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Zemin koşullarının iyileştirilmesine yönelik pek çok zemin ıslah yöntemi mevcuttur. İnşaat proje takvimi ve maliyetler yönünden zemin ıslah yöntemlerinin kazıklı çözümler ile mukayesesi önerilmektedir (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008).

Çok geniş oturum alanlarına sahip olan tank yapılarında, yapının inşa edileceği bölgenin jeolojik ve geoteknik özellikleri dikkate alınarak, yapı inşası sırasında olası problemler öngörüle-bilmektedir. Tank yapı yükü altında temel zemininde meydana gelen oturma davranışı ve mertebeleri, zeminin göçmeye karşı güvenlik faktörüne göre ön plana çıkan temel tasarım koşulunu belirlemektedir. Üst yapıdan temel zeminine etkiyen gerilme değerleri, tank yapısı taban alanının genişliğine bağlı olarak, Bou-sinessq gerilme dağılımı prensibine göre çok derinlere kadar sönümlenmemektedir.

Silindirik tank yapıları, genel olarak sıkıştırılmış granüler dolgu malzeme üzerine veya halka temel ve ortası granüler malzeme ile doldurulmuş yüzeysel temel sistemleri üzerine inşa edilmektedir. Çok zayıf zemin koşullarında ise, zayıf tabakalar uygun bir zemin ıslah yöntemi ile ıslah edilmekte veya kazıklı temel sistemleri ile teşkil edilmektedir. Yüzeysel temellerin taşıma gücü ( $q_d$ ) zemin türü ve özelliklerine, temel boyutlarına, gömülü temel derinliğine, etkiyen yükün eğimi ve eksantrikliğine, etkiyen titreşim ve moment değerlerine, temel şekli, yer altı suyu seviyesi, taban pürüzlülüğü gibi değerlere bağlı kalınarak irdelenmelidir (Önalp, 2006).

Silindirik tank yapıları altındaki oturma mertebeleri genel olarak zemin koşullarına, tank yapı-

sı boyutu ve ağırlığına, komşu yapılara, yeraltı suyu seviyesindeki değişime, zemin yüzeyinde etkileşim bölgesinde gerçekleşen kazı ve dolgu uygulamalarına bağlı olarak değişmektedir. Tank yapıları altında meydana gelen başlıca oturmalar, üniform oturma, düzlemsel dönme, çanaklanma, düzlemsel olmayan dönme, taban plağı altında, çeperden uzak noktalarda gelişen yerel oturmalar, kabuk ve taban plağında gelişen dönme ve çeper altında oluşan farklı oturmalar dır (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008).

Çok geniş çapta inşa edilen silindirik tank yapıları altında meydana gelen oturmalar, tankın yapısal bütünlüğünü dikkate alarak her bir farklı oturma için ayrı değerlendirilmelidir. Tank yapısı altında gerçekleşen oturmalara bağlı olarak üstyapı formunda deformasyonlar meydana gelmektedir. Ovalizasyon olarak adlandırılan bu durum, deformasyon derecesine bağlı olarak yüzer çatılı sistemlerde, çatı sisteminin sıkışmasına ve sistemin çalışmamasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, oturma performans kriterlerinin belirlenmesinde, üstyapı bütünlüğü de dikkate alınarak, oturmalara bağlı, kabuk formunda irdelenmesi gerekmektedir. Oturma ve oturmalar için literatürde verilen limit değerler aşağıda açıklanmaktadır.

### **Oturma ve deformasyon çeşitleri**

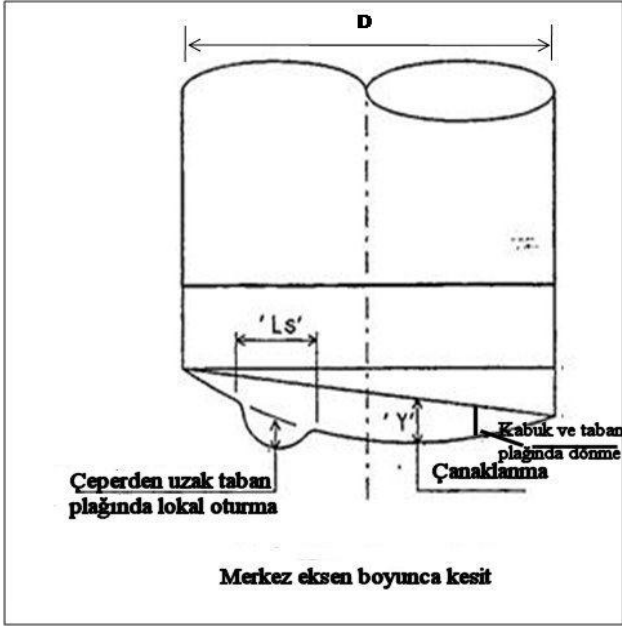
*-Üniform oturma* Tank yapıları altında her bir noktada benzer mertebede oluşan oturma değeri üniform oturma değerini vermektedir. Üniform oturmalar tankın yapısal bütünlüğü açısından tehlike oluşturmazlar. Ancak, tank özellikleri ve kullanım sistemine bağlı olarak operasyonel problemler meydana gelebilir. Boru bağlantıları gerçekleştirdikten sonra zamana bağlı oluşan üniform oturmalar, boru bağlantı noktalarında ilave gerilmelerin oluşmasına neden olabilir. Literatürde tank yapıları için üniform oturma limiti verilmemektedir (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008).

*-Düzlemsel Dönme* Tank yapısı, temel zemin profiline bağlı olarak, tankın dış yüzeyleri arasında farklı oturmanın oluşması ile tankın bir noktasından diğerine düzlemsel nitelikte oluşan dönme hareketi oluşur. Tank kabuğu ve taban plağında oluşan düzlemsel dönme nadiren zarar

verici sonuçlara neden olabilir ve estetik açıdan görünümün aksine yapısal bütünlüğü bozulabilmektedir. Tank kullanım amacı ve yapısal özelliklere göre, düzlemsel dönme kritik olmaktadır. Sabit çatılı ve yüzer çatılı sistemlerde izin verilebilir düzlemsel dönme, tank çapı (D)/100 olup, estetik açıdan düzlemsel dönme limiti D/200 olarak alınması önerilmektedir (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008). Ayrıca, farklı bir yaklaşımda düzlemsel dönme için limit değer tank yüksekliği (H)/250 olarak, maksimum limit değer ise 7H/1000 olarak önerilmektedir (Klepikov, 1989).

*-Çanaklanma* Tank yapıları altında, rijit karakterde tasarlanmamış temeller için üniform kalınlıktaki ve sıkışabilir zemin birimlerinde, tank yapısından tabana etkiyecek gerilme dağılımına göre, yapı altında çanak şeklinde bir oturma formu gözlenmektedir. Tank tabanı, tank cidarına (kabuğuna) göre altında oluşacak oturma ve deformasyonları, üstyapı tasarımında kullanılan malzeme özelliğine bağlı olarak tolere edebilmektedir. Kabuk ise, noktasal gerilmelere bağlı olarak temel taban plağına göre daha az deformasyona izin vermektedir. Çanaklanma ile bu iki yapısal eleman arasında meydana gelen farklı oturmalar, bu problemi ortaya çıkılmaktadır. Bu husus, yapısal özellikler ve tank kullanım amacına göre mutlaka tahkik edilmelidir. Literatürde, çanaklanma etkisi için limit değer tank çapı/100 olarak verilmektedir (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008). Çanaklanma için Klepikov (1989), geniş çaplı tanklarda maksimum çanaklanma limit değerini 180mm, küçük çaplı tanklarda ise 110mm olarak önermektedir. Çanaklanma şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir.

*-Çeperden uzak taban plağında yerel oturmalar* Tank yapısı temel zemin özelliklerine bağlı olarak, yapı altında yer alan ve büyük oranda farklılık gösteren deformasyon modülüne sahip zeminlerde, yerel olarak oturmalar meydana gelebilmektedir. Lokal oturmalar taban plağı altında ilave gerilmelere sebep olurlar. İzin verilebilir maksimum lokal oturma ölçülen iki nokta arasındaki uzaklık  $L_s/100$  olarak verilmektedir (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008). Çeperden uzak taban plağındaki uzak oturmalar Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Silindirik tank tabanı çanaklanma ve çeperden uzak taban plağında lokal oturma

-Düzlemsel olmayan dönme Değişken zemin tabaka kalınlığı ve deformasyon modüllerine göre, düzlemsel olmayan oturmalar tank kabuğunda çevresel deformasyonlara neden olmaktadır. Kabuğun sertliği düzlemsel olmayan oturmaları azaltmaya eğilimli iken, bu durum çelik gerilmelerini ve ovalliği arttırmaktadır. Ovallik yüzer çatılı sistemlerde sistemin doğru çalışmamasına neden olur. Tank yapısı temel zemininin noktadan noktaya farklı kalınlıklara ve farklı deformasyon modülüne sahip olduğu durumlarda hem yapı taban plağı altında hem de yapının kabuğu altında noktadan noktaya farklı oturmalar gözlenmektedir. Bu durum düzlemsel olmayan oturma olarak adlandırılmaktadır. Kabuk rijitliğine bağlı olarak, kabuk altında yer alan noktalarda meydana gelecek düzlemsel olmayan oturmalar, tank cidarında yırtılmalara, deformasyonlara yol açabilmektedir. Düzlemsel olmayan oturma geniş çaplı tank yapıları için temel zemini yönünden en kritik husustur (Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008).

Literatürde, çeper düzlemi için gerçekleştirilen açılımda farklı oturma için sınır değeri API 650 (2007)'e göre,  $s_m=0.0055(L^2)/H$  olarak verilmektedir. Klepikov (1989), geniş çaplı tanklar için oturma limit değerini  $s_m=0.01L$ , küçük çaplı

tanklar için  $s_m=0.008L$  olarak önermektedir. Burada L baz alınan oturmalar arası uzaklık, H ise tank yüksekliğidir. Malzeme davranışını da dikkate alan ve daha gerçekçi bir yaklaşım ile Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008'de çeper düzlemi için gerçekleştirilen açılımda farklı oturma limit değerini; sabit çatılı tank yapılarında;  $s_m=11.L^2\sigma_y/(HE)$ , yüzer çatılı tank yapılarında ise  $s_m=L^2\delta_R/(HE)$  olarak vermektedir. Bu bağıntılarda,  $s_m$  farklı oturma için verilen sınır değer, L baz alınan iki oturma noktası arası mesafe,  $\sigma_y$  tank plağının akma dayanımı, E çeliğin elastisite modülü,  $\delta_R$  yüzer çatı için verilen tolerans katsayısı (üretici tarafından verilmektedir) ve H tank yüksekliğidir.

Bu bağıntılara göre, hem sabit çatılı hem de yüzer çatılı tank yapıları için; 50m'den büyük çaplı tanklarda çeperde izin verilebilir farklı oturma limitini takriben 6.3cm, 50m'den küçük tank yapılarında ise 3.8cm olmaktadır. De Beer (1969), tank çeperi altında gerçekleşen farklı oturmaların hesabında, yukarıda verilen metotlardan farklı olarak, çeper düzlemi için gerçekleştirilen açılımda, her bir noktanın komşu diğer noktalara göre farklı oturma değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta S_i = \frac{S_{i-1} + S_{i+1}}{2} \quad (1)$$

Ayrıca, çeper boyunca meydana gelen farklı oturma değerleri altında, tank yapısının eğrilik yarıçapı farklı oturmaya maruz kalan her bir noktada farklı bir değer alacaktır. Analizlerin gerçekleştirildiği tank çevresinin sekiz eşit parçada incelendiği göz önüne alındığında, eğrilik yarıçapı aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir (De Beer, 1969).

$$R_c = \frac{l^2}{2\Delta S_i} = \frac{\pi^2 D^2}{128\Delta S_i} \quad (2)$$

De Beer (1969) tarafından önerilen ve yaygın olarak bilinen bir diğer yaklaşım ise, noktadan noktaya değişen oturma değeri ile iki nokta arasındaki mesafenin oranıdır. Bu değer 1/600 değerinden büyük olursa yapıda az hasar görülür. Şayet, bu oran 1/300'den büyük olursa yapıda

ağır ve ciddi hasarlar görülebilir. Bu kriter ise II. Limit kriter olarak adlandırılmıştır. Bu kriter benzer bir yaklaşımla, tank yapılarının yapısal bütünlüğü açısından, farklı oturma limit değeri olarak 1/450 oranı önerilmektedir (De Beer, 1969). Bu iki kriter de sabit çatılı tank yapıları için geçerlidir. Farklı oturmaya bağlı olarak yapısal deformasyonlar hareketli çatılı tank yapılarında, mekanizmada problemlere yol açabilecektir. Dolayısıyla, hareketli çatılı tank yapılarında bu kriterlerin yanında, çatı sisteminin stabilitesi açısından gerekli kontrollerin yapılması gerekmektedir.

*-Kabukta ve taban plağında dönme* Kabukta ve taban bağlantısında çanaklanma etkisi, kabuk taban plağında dönmeye neden olmaktadır. Bu durum ile tank kabuk yapısı ve taban plağı bağlantısı üzerinde ilave moment oluşur. Bu oturma formu için limit değer D/100 olarak önerilmektedir. Kabuk ve taban plağında oluşan dönmeye ilişkin gösterim Şekil 1’de verilmektedir.

*-Sıvılaşma ve sıvılaşmaya bağlı hacimsel deformasyonlar* Zemin sıvılaşması suya doymuş birimler üzerinde inşa edilen yapıların temel mühendisliği değerlendirmeleri açısından dikkate alınması gerekli, önemli bir husustur. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi esnasında meydana gelen yıkımlar geoteknik özelliklere bağlı olarak büyük mertebede zemin sıvılaşması sonucunda ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla yüksek sismik aktivitesi olan bölgelerde zemin sıvılaşması potansiyeli geoteknik açıdan belirleyici bir faktör olmaktadır. Zeminin sıvılaşması genel anlamda, suya doymuş granüler zeminlerde deprem halinde gerçekleşen hızlı tekrarlı yükleme koşullarında boşluk suyu basıncının artarak kayma mukavemetinin ve dolayısıyla taşıma kapasitesinin azalması olarak tarif edilebilir. Yeraltı suyu seviyesi zemin üst seviyesine 10.0m’den daha yakınsa, sahada kalın ve gevşek/yumuşak alüvyon katmanı bulunuyorsa, sahada gevşek kum-silt tabakası bulunuyorsa sahada sıvılaşma potansiyelinden söz edilebilir. Kum ve siltli kum gibi ince kohezyonsuz suya doymuş birimler için sıvılaşma riski yerine tekrarlı yüklemeler altında taşıma gücünde kayıplar ve yenilmeler oluşabilir.

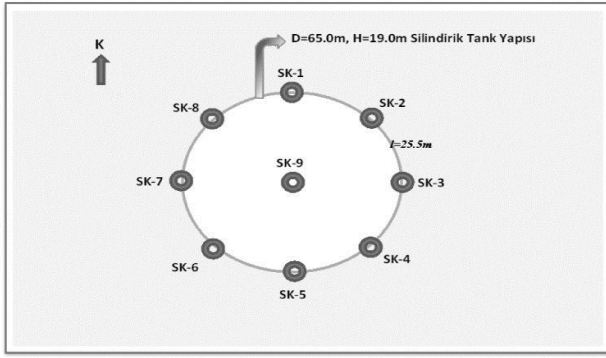
## **İncelenen silindirik tank**

Silindirik tank yapılarının tank yapısal sistemine bağlı olarak statik ve dinamik koşullarda, oturma performanslarının irdelenmesi amacıyla bir vaka incelenmiştir. Petrol türevli veya kimyevi maddelerin depo edilmesi amacıyla kullanılan tank tipi yapılar, sanayi ve endüstriyel bölgeleri ile lojistik maliyetlerin minimumda tutulabilmesi amacıyla, hinterlandı geniş olan limanlara ve ulaştırma alanlarına yakın olarak inşa edilmektedirler. İzmit İli ve civarında pek çok lojistik amaçlı liman ve bu limanların çevrelerinde petrol türevli veya kimyevi maddelerin depo edildiği silindirik tank çiftlikleri inşa edilmiştir. Bölgenin, jeolojik yapısı ile depremsellik bakımından Kuzey Anadolu Fay hattı koridorunda yer alması, bölgede gerçekleştirilecek yapılaşmalarda, doğru geoteknik model kurgusu altında temel mühendisliği açısından hassas statik ve dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır.

Depo olarak kullanım amacıyla tasarlanan silindirik tank yapısının çapı D=65.0m, yüksekliği H=19.0m’dir. Tank yapısı çatı tipi bakımından yüzer çatılıdır. Analizlerde, statik koşul için tank yapısının maksimum yükleme koşuluna ulaşacağı durum olan hidrostatik test aşaması için yükleme koşulu irdelenmiştir. Su dolu durumda tank tabanına etkiyecek maksimum gerilme 190kPa olarak belirlenmiştir. Silindirik tank yapısı temel taban gerilmesi değeri 200kPa olarak belirlenmiştir.

## **Zemin özellikleri**

İncelenen silindirik tank yapısının, zemin koşulları için İzmit Körfez rafineri bölgesi civarında gerçekleştirilen sondajlardaki veriler kullanılmıştır. Bölgede gerçekleştirilen sondajlar, arazi deneyleri ışığında tank yapısı temel zemini modeli oluşturulmuştur. İncelenen silindirik tank yapısının çevresinde sekiz adet her biri 40m derinlikte ve tank merkezinde bir adet 40m derinlikte toplam dokuz adet sondaj verisi tank yapısı temel zemin modelini oluşturmuştur. Tank yapısı sondaj yerleri Şekil 2’de verilmektedir. Sondaj kuyuları içerisinde ölçülen yeraltı suyu seviyesi zemin yüzeyinden itibaren 0.3m ila 2.0m arasında değişen derinliktedir.



Şekil 2. Tank Yapısı Sondaj Yerleri (Üncü, 2011)

### Tank yapısı temel zeminin geoteknik modeli

Silindirik tank yapısı çeper konumunda ve merkezde gerçekleştirilen sondaj verileri kullanılarak, tank yapısı temel zemin modeli oluşturulmuştur. Geniş çaplı silindirik tank yapılarında, yapının zemine yekpare olarak bastığı durumlarda, taban plağının geniş olması nedeniyle üstyapıdan etkileyen gerilme değerleri, zeminin üst seviyelerinde hemen sönümlenmemekte, derinlere kadar etkimektedir. Silindirik tank yapısında gerçekleştirilen sondajlar için ayrı ayrı modeller oluşturulmuş, bu modellerde zemin tabakalara ayrılarak, ortalama  $SPT/(N_1)_{60}$  değerleri belirlenmiştir. Geoteknik zemin modeli ve ortalama  $SPT/(N_1)_{60}$  değerleri ışığında, karşılaşılan killi ve kumlu birimler için drenajsız kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. Seçilmiş sondaj noktaları için oluşturulan geoteknik modeller ve hesap edilen zemin parametreleri Tablo 1’de verilmektedir.

Silindirik tank yapısı çeper konumunda gerçekleştirilen sondajda, mevcut zemin yüzeyinden itibaren 4.0m ile 8.0m derinliğe kadar, siltli, yüksek plastisiteli, orta katı kil ile karşılaşmıştır. Siltli kil birimin altında sondaj derinliği boyunca genel olarak siltli, çakıllı gevşek ile çok sıkı arasında değişen kum birimler geçilmiştir. Kum seriler arasında, orta-yüksek plastisiteli, çok katı özellikte ve düşük-yüksek plastisiteli ve sert siltli kil bulunmaktadır. Hesaplar sonucu kum zeminlerde içsel sürtünme açısı  $30^\circ$ ’den büyük, kil zeminlerde ise kayma mukavemeti 33 ile 300kPa arasında değişmektedir.

Silindirik tank yapısı tank merkezi konumunda gerçekleştirilen sondajda, mevcut zemin yüze-

yinden itibaren 6.0m derinliğe kadar, siltli, yüksek plastisiteli, orta katı kil ile karşılaşmıştır. Siltli kil birimin altında gevşek ile çok sıkı çakıllı kum birimler geçilmiştir. Kum seriler arasında, siltli kil birimler orta-yüksek plastisiteli, katı kıvamda, düşük-yüksek plastisiteli ve çok katı kıvamdadır. Bu sondajda, yeraltı suyu seviyesi 1.0m olarak gözlenmiştir. Hesaplar sonucu kum zeminlerde içsel sürtünme açısı  $29^\circ$ ’den büyük, kil zeminlerde ise kayma mukavemeti 53 ile 233kPa arasında değişmektedir.

Tablo 1. Hesaplanan zemin parametreleri

Derinlik (m)	Zemin	SPT-N	$q_u$ (kPa)	$\phi^\circ$
<b>SK-1</b>				
0-4	Siltli kil	5-10	33-67	
4-8	Kum	15		31
8-10	Siltli kil	20	133	
10-16	Kum	30		36
16-18	Siltli kil	30	200	
18-25	Kum	30-40		36-38
25-28	Siltli kil	45	300	
28-40	Kum	>45		>39
<b>SK-3</b>				
0-6	Siltli kil	5	33	
6-15	Kum	10-15		30-31
15-21	Siltli kil	20	133	
21-24	Kum	20		33
24-30	Siltli kil	25-30	167-200	
30-40	Kum	>30		>36
<b>SK-5</b>				
0-8	Siltli kil	5	33	
8-15	Kum	10-15		30-31
15-25	Siltli kil	10-15	67-100	
25-27	Kum	20		33
27-33	Siltli kil	15	100	
33-40	Kum	>35		>37
<b>SK-7</b>				
0-4	Siltli kil	10	67	
4-10	Kum	10-15		30
10-12	Siltli kil	10	67	
12-15	Kum	20		33
15-21	Siltli kil	20	133	
21-24	Kum	30		36
24-26	Siltli kil	30	200	
26-30	Kum	35		37
30-34	Siltli kil	40	267	
34-40	Kum	>45		>39
<b>SK-9</b>				
0-6	Siltli kil	8	53	
6-12	Kum	8		29
12-20	Siltli kil	15-20	100-133	
20-27	Kum	20-30		33-36
27-31	Siltli kil	35	233	
31-40	Kum	>40		>38

### Geoteknik değerlendirmeler

Geniş çaplı tank yapılarından, zemine etkiyen gerilme değerleri dikkate alındığında, yapının temel zemininin yapıdan etkiyen gerilme değerlerini ne kadar emniyetle taşıdığı ve zeminde meydana gelecek oturma mertebelerinin yapısal bütünlük açısından kıyası geoteknik açıdan irdelenmesi gerekmektedir. Pratikte geniş çaplı silindirik tank yapılar, herhangi bir temel inşa edilmeksizin, tank taban plağının direk olarak zemine oturtulması ile inşa edilmektedir. Ancak, geoteknik açıdan problemlili zeminlerde, özellikle oturma problemline yönelik olarak, temel sistemi ortası granüler dolgu olan halka temel olarak seçilmektedir. Bu sistem çeper altında oluşabilecek farklı oturma davranışları bakımından iyi performans göstermektedir. Silindirik tank yapısı konumunda gerçekleştirilen her bir sondaj verisi dikkate alınarak oluşturulan geoteknik zemin modelleri ışığında, silindirik tank yapısı yapısal özellikleri de dikkate alınarak temel mühendisliği değerlendirmeleri aşağıda sunulmaktadır.

### Taşıma gücü

Her bir yapı temelinin, üstü yapı yükleri altında göçmeye karşı belirli bir güvenliğinin bulunması gerekmektedir. Göçme kriteri aynı zamanda zeminin taşıma gücünü de göstermektedir. Tank yapısı, taban plağının siltli kil birimler içinde yer alacağı dikkate alındığında, üst seviyelerde yer alan nispeten zayıf özellikteki kil birimler için taşıma gücü değeri en kritik durum olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla, taşıma gücü analizleri üst seviyede yer alan siltli kil birimlerin kayma mukavemeti değerleri ışığında Terzaghi teorisine göre yapılmıştır. Yapı temel zeminini üst yapıdan etkiyecek gerilme değerlerini bu formül ile hesaplanan taşıma gücü değerini belli bir güvenlik faktörü (GF) ile taşımalıdır.

Seçilen SK-1, 3 ve 5 numaralı konumlarda siltli killerde taşıma gücü 170kPa olarak hesaplanmıştır. SK-7 ve SK-9 numaralarda ise 344kPa ve 272kPa olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarından, SK-1, SK-3 ve SK-5 numaralı sondajlarda karşılaşılan zayıf zemin koşulları için hesap edilen göçmeye karşı güvenlik faktörü birden küçük olup, üstü yapıdan etkiyecek gerilme mertebeleri altında göçmeye karşı güvenli değildir. Dolayısıyla bu bölgelerde taşıma gücü problemi

belirlenmiştir. SK-7 numaralı sondajda göçmeye karşı güvenlik faktörü, 1.7 ve tank merkezinde yer alan SK-9 numaralı sondajda ise 1.4 olarak hesaplanmıştır. Literatürde, statik durumda taşıma gücü açısından güvenlik faktörü değeri 2.5 olarak kullanılmaktadır. Bu analiz en kritik ve en zayıf koşul için geçerli olup, zemin davranışı açısından esasen, taşıyıcı mukavemeti daha yüksek olan alt tabakalardaki zemin birimler üstte yer alan zayıf zona etkiyecek gerilme taşıma gücü ilişkisini kuvvetlendirmektedirler.

### Oturma problemlerinin irdelenmesi

Oturma hesapları laboratuvar deneylerine ve elastisite teorisine dayalı olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Sondajlarda gerçekleştirilen Standart Penetrasyon Deney (SPT) verileri kullanılarak, Janbu'nun Tangent Modulus (Janbu, 1967) yöntemine göre oturma analizleri yapılmıştır. Oturma hesaplarında kullanılan deformasyon "m" modülü Tablo 2 kullanılarak SPT/N değerlerine bağlı olarak belirlenmektedir.

Tablo 2. Zemin tipleri ve seçilen zemin modülleri

Kil-silt	SPT-N	Kategori	m (zemin modül sayısı)	M (zemin modülü) (kN)
Yumuşak	2-4	3	10	mp'
Orta Katı	5-14	3	40	mp'
Katı	15-30	1	100	10m
Sert Kum-çakıl	30>	SPT-N Kategori	200	10m
			m (zemin modül sayısı)	M (zemin modülü) (kN)
Çok gevşek	<4	2	50	$m(10p')^{0.5}$
Gevşek	4-10	2	100	$m(10p')^{0.5}$
Orta sıkı	11-30	2	200	$m(10p')^{0.5}$
Sıkı	31-50	2	300	$m(10p')^{0.5}$
Çok sıkı	50>	2	400	$m(10p')^{0.5}$

Sondajlarda karşılaşılan zemin birimler dikkate alınarak oluşturulan geoteknik modellemeler



Tablo 3’de verilen kategorilere göre gerçekleştirilmiştir. Analizler geliştirilen Janbu yöntemine dayalı program ile yapılmıştır. Her bir tabakanın “m” modül sayısı belirlendikten sonra ise, Janbu yönteminde tariflenen ilgili kategoriye ait, Tablo 2’de verilen bağıntı ile zemin modülü “M” değerleri hesap edilmektedir.

Tablo 3. Janbu yöntemine göre zemin kategorileri

No	Zemin
1	Elastik aşırı konsolide kil
2	Elastik-Plastik kum ve silt
3	Plastik normal konsolide kil

Zemin kesiti modellenmesi, tabakalara ayrılması ve her bir tabaka için zemin modülünün bulunması sonrasında bu tabakalara üstyapıdan gelecek gerilmeler hesaplanmıştır. Üst yapıdan gelecek yükler tabaka derinlikleri arttıkça azalmakta olup, Boussinesq denklemine göre hesaplanmaktadır. Gerilme faktörünün bulunmasında, Boussinesq’in üniform yayılı yüklü R yarıçapındaki daire alanının altındaki gerilme dağılışına ait abaktan faydalanılmıştır.

Her bir tabakaya ait zemin modülü M ve gerilme artışı  $\Delta\sigma_z$ , bulunduktan sonra, o tabakaya ait oturma miktarları zemin kategorilerine göre aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır.

Kategori 1, EL tipte zemin 
$$s_i = \frac{\Delta\sigma_z}{M} * H_i \quad (3)$$

Kategori 2, EP tipte zemin 
$$s_i = \frac{2}{m} \left[ \sqrt{\frac{p' + \Delta\sigma_z}{p_a}} - \sqrt{\frac{p'}{p_a}} \right] * H_i \quad (4)$$

Kategori 3, PL tipte zemin 
$$s_i = \frac{1}{m} \ln \frac{p' + \Delta\sigma_z}{p'} \quad (5)$$

Bağıntılarda,

$s_i$ : i nolu tabakaya ait oturma miktarı

$\Delta\sigma_z$ : z derinlikteki üstyapıdan dolayı oluşacak ilave gerilme

M: zemin modülü

m: modül sayısı

$p'$ : efektif jeolojik gerilme

$p_a$ : atmosferik basınç (1atm)

$H_i$ : i nolu tabakanın kalınlığı

olarak verilmiştir.

Her bir tabaka için oturma değerleri hesaplandıktan sonra toplanarak, toplam oturma miktarı hesap edilmiştir. Her bir sondajdan elde edilen geoteknik zemin modelleri için ayrı ayrı oturma hesabı gerçekleştirilmiştir. Hesaplarda, silindirik tank yapısı çapı  $D=65.0m$ , üstyapıdan zemine etkiyen gerilme değeri 200kPa değeri ve yapının taban plağının zemin yüzeyine oturacağı göz önüne alınmıştır. Granüler zeminlerde gerçekleşen oturma ve deformasyon davranışı, ani oturmalar yani elastik oturmalar şeklinde gerçekleşmektedir. İnce daneli zeminlerde ise oturmalar zamana bağlı konsolidasyon oturması olarak gerçekleşir. Hesaplanan oturma değerleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Hesaplanan oturma değerleri

	SK-1	SK-3	SK-5	SK-7	SK-9
$H_T$ (cm)	32.9	61.6	79.3	30.8	65.7
$H_e$ (cm)	5.5	8.6	6.4	7.8	13.3
$H_k$ (cm)	27.4	53	72.9	23	52.4

$H_T$ : Toplam oturma,  $H_e$ : Elastik oturma,  $H_k$ : Zamana bağlı oturma

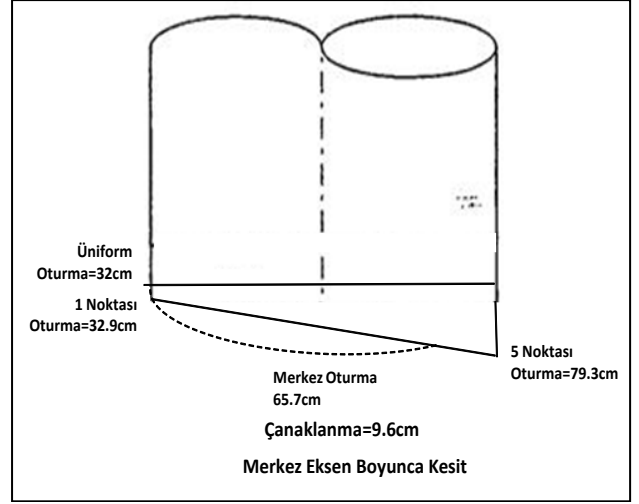
-*Üniform oturma* Tank yapısı için farklı noktalarda gerçekleştirilen oturma analiz sonuçlarına göre, toplam oturma değerleri 32cm ila 79.3cm arasında değişmektedir. Dolayısıyla, tank yapısı temel zemini için hesaplanan minimum oturma değeri yapının bu değer aralığında üniform karakterde bir oturma sergileyeceğinin göstergesidir. Bu oturma değerine ilave gelen oturmalar, farklı oturmaları meydana getirmektedir.

-*Yapı taban plağında düzlemsel dönme* Tank yapısı çeper doğrultusunda, hesaplanan oturma

değerleri incelendiğinde, maksimum oturmanın SK-5 numaralı model konumunda, minimum oturmanın ise SK-7 konumunda olduğu gözlenmektedir. Diğer oturma değerleri de bir arada değerlendirildiğinde taban plağında SK-7, SK-5 doğrultusunda düzlemsel bir dönme oluşacağı görülmektedir. Bu düzlem için maksimum dönme değeri yaklaşık 50cm'dir. Düzlemsel dönme sonucunda, tank kabuğu ve taban plağında zarar verici sonuçlara neden olabilir ve yapısal bütünlük bozulabilmektedir. Tank kullanım amacı ve yapısal özelliklere göre, düzlemsel dönme kritik olmaktadır. Bechtel Tasarım Şartnamesi, 2008'e göre düzlemsel dönme limiti 65cm'dir. Ancak estetik açıdan bu değer yarisını limit değer olarak şart koşmaktadır. Klepikov (1989)'e göre sınır değer 7.6cm olarak, yapısal bütünlük açısından ise 13.3cm olarak önerilmektedir. Bu limit değerler ışığında, düzlemsel dönme yapısal bütünlük açısından da tehlike arz etmektedir.

-Çanaklanma İncelenen geoteknik model ışığında, farklı deformasyon modülüne sahip sıkışabilir zemin birimler için, tank yapısından tabana etkiyecek gerilme dağılımına göre, yapı altında düzlemsel, düzlemsel olmayan dönme ve bu form içinde çanaklanma gözlenmektedir. Yapılan oturma analizlerine göre, tank eksen boyunca 1-5 noktaları boyunca bir farklı oturma düzlemi üzerinde, merkez noktada hesaplanan oturma değerine göre çanaklanma hesaplanmıştır. Şekil 2'de gösterilen 1 numaralı noktada toplam oturma 32.9cm, 5 numaralı noktada ise 79.3cm'dir. 1-5 düzlemine göre, doğrusal bir dönme düzlemi olsaydı, merkez noktadaki oturma değeri 56.1cm olacaktı. Ancak merkez noktada oturma değeri 65.7cm olarak hesaplanmış olup, bu noktada çanaklanmaya bağlı oturma farkı 9.6cm'dir. Şekil 3'de oturmalar gösterilmektedir.

Silindir tank çapının 65m olduğu dikkate alındığında, çanaklanma etkisi için Bechtel Tasarım Şartnamesinde önerilen limit değer 65cm'dir. Klepikov (1989), geniş çaplı tanklarda maksimum çanaklanma limit değerini 18cm olarak önermiştir. Bu kıstaslar dikkate alındığında, çanaklanma probleminin yapısal bütünlük açısından kritik olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 3. Meydana gelen çanaklanma

-Çeperde meydana gelen farklı oturmalar Analiz sonuçlarından da görüleceği üzere, her bir geoteknik model için birbirinden farklı mertebelerde oturma değerleri hesap edilmiştir. Tank çeperi boyunca farklı oturma değerlerinin olduğu görülmektedir. Bu durum tank yapıları için en kritik ve en elverişsiz deformasyon davranışıdır.

De Beer (1969)'a göre, çeper düzlemi için gerçekleştirilen açılımda, her bir noktanın komşu diğer noktalara göre farklı oturma değeri denklem 1 ile hesaplanmaktadır. Çeper boyunca meydana gelen farklı oturma değerleri altında, tank yapısının eğrilik yarıçapı farklı oturmaya maruz kalan her bir noktada farklı bir değer olacaktır. Söz konusu analizlerin gerçekleştirildiği tank çevresinin sekiz eşit parçada ve ara mesafenin 25.5m olduğu göz önüne alındığında, eğrilik yarıçapı denklem 2 ile hesaplanmıştır. Bu denklemler kullanılarak her bir nokta için hesaplanan farklı oturma değeri ve bu noktadaki eğrilik yarıçapı değeri Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Hesaplanan farklı oturma ve eğrilik yarıçapı değerleri

	Toplam Oturma (cm)	Farklı Oturma (cm)	Eğrilik Y.çapı (m)
SK-1	32.9	5.1	6381
SK-3	61.6	12.6	2593
SK-5	79.3	13	2513
SK-7	30.8	14.3	2276
SK-9	65.7	-	-

65m çapındaki tank yapısı için II. Kriter daha uygundur. II. Kriter göre izin verilebilir oturma değeri  $\Delta s_i=5.68\text{cm}$ , eğrilik yarıçapı limit değeri ise  $R_c=5785\text{m}$ 'dir. SK-3, SK-5 ve SK-7 numaralı modellerden hesap edilen oturma değerleri II. Kriter için, izin verilebilir farklı oturma limitinin üzerindedir. Ayrıca, SK-1 numaralı modellerden hesaplanan oturma değerleri ise eğrilik yarıçapı için izin verilen limit değerinin çok üzerindedir. Dolayısıyla, bu kriter ışığında çeper altında farklı oturma probleminin olduğu söylenebilir. Hesaplanan farklı oturma değerleri ve tank yapısının yüzer tavanlı olduğu dikkate alındığında, bazı noktalara göre farklı oturma değeri izin verilebilir sınırlar içerisinde değerlendirilebilecek olup, diğer tüm noktalar arası farklı oturma problemi mevcuttur. Tablo 6'da yukarıdaki kriterlere göre hesaplanan oturmalar, izin verilen oturmalar ile karşılaştırılmış ve kritik olanlar belirlenmiştir.

Tablo 6. Hesaplanan ve izin verilen oturma değerleri

Oturma türü	İzin verilen oturma (cm)	Hesaplanan oturma (cm)	Oturmaların Karşılaştırılması
Üniform	-	32-79.3	-
Düzlemsel dönme	65 veya 13.3	50	kritik
Çanaklanma	65 veya 18	9.6	kritik değil
Çeperde farklı oturma	5.68	5.1-13	kritik

-Sıvılaşma ve sıvılaşmaya bağlı hacimsel deformasyonların belirlenmesi Söz konusu tank yapısının yüksek sismik aktiviteye sahip, birinci derece deprem bölgesinde inşa edileceği ve ilk 15.0m derinlik içerisinde karşılaşılan suya doymuş kumlu birimler için yapılan analiz sonucu sıvılaşma potansiyeli mevcuttur. Deprem yüklemesi sonrasında, sıvılaşmaya maruz kalan zeminlerde ilave oturmalar ve deplasmanlar meydana gelmektedir. Tokimatsu ve Seed (1987), sıvılaşma sonrasında hacimsel deformasyon yüzdesini, deprem yüklemesi altında oluşacak devirsel gerilme oranı (CSR) ile düzeltilmiş standart penetasyon deneyi verilerine bağlı olarak belirlemektedir (Şekil 4). Şekil 5'de ise Is-

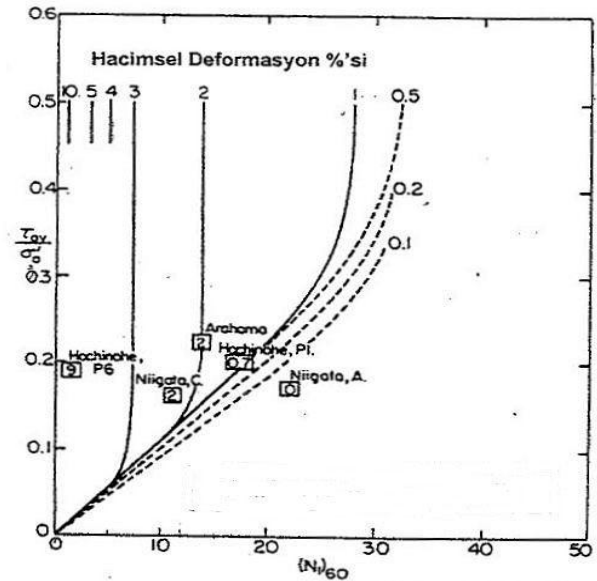
hihara (1993) tarafından önerilen, kumların izafi sıkılığına ve sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörüne (GF) bağlı olarak belirlenen hacimsel deformasyon oranı verilmektedir. Aynı zamanda sıvılaşan tabaka kalınlığına da bağlı olan hacimsel deformasyon oranı, her bir zemin modeli için gerçekleştirilen sıvılaşma analizlerinde, sıvılaşan tabakalar için ayrı ayrı hesaplanmış olup, Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 7. Sıvılaşmaya bağlı meydana gelen deformasyon miktarı

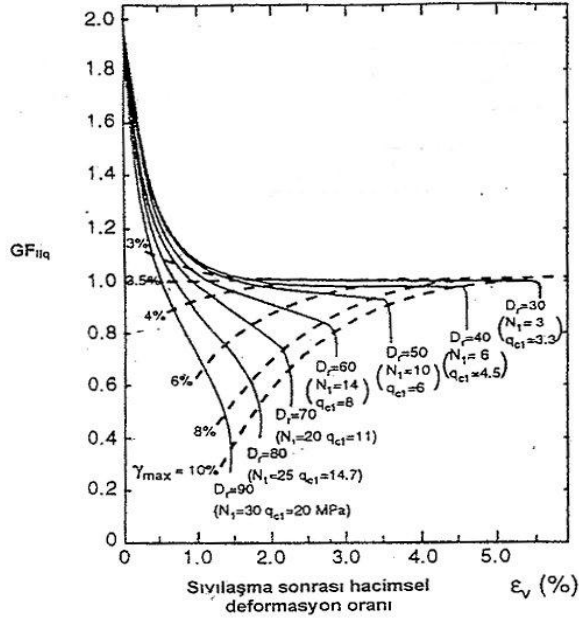
	GF	$\delta_1$ (cm)	$\delta_2$ (cm)
SK-1	0.49	7.2	10.4
SK-3	0.33	17.1	26.1
SK-5	0.30	14.7	21
SK-7	0.42	11	15.4
SK-9	0.46	15.6	22.5

$\delta_1$  Deformasyon Tokimatsu ve Seed (1987),  
 $\delta_2$  Deformasyon Ishihara (1993)

Hesaplardan da görüleceği üzere, her iki yaklaşım için de, tank yapısı temel zemininde sıvılaşan tabaka kalınlığına bağlı olarak ilave deformasyonlar meydana gelecektir. Ishihara, (1993)'e göre hesaplanan deformasyon değerleri, Tokimatsu ve Seed (1974)'e göre hesaplanan değerlerin çok üzerindedir.



Şekil 4. Sıvılaşma sonrası hacimsel deformasyon oranı (Tokimatsu ve Seed, 1987)



Şekil 5. Sıvılaştırma sonrası hacimsel deformasyon oranı (Ishihara 1993)

## Sonuçlar

Genel olarak petrol ve kimya endüstrisinde, petrol ürünleri, su ve kimyevi maddelerin depo edilmesi amacıyla kullanılan silindirik tank yapılarının, tank çapı ve yüksekliği dikkate alındığında tank yapısının, inşa edildiği geniş alanda zemine yüksek mertebelerde ilave gerilmeler etkimektedir. Dolayısıyla yükleme koşulları altında zemin, taşıma gücü, oturma ve deformasyon açısından problemlili olabilmektedir. Geniş çaplı tank yapılarında, yapısal bütünlük açısından, oturma performansı ele alındığında, çeper ve merkezde olan oturmalarla ilgili olarak farklı oturmalar irdelenmiştir. Silindirik tank yapıları için yapı tiplerine bağlı olarak, özellikle hareketli aksamlar içeren tiplerde, yapısal bütünlük faktörünün içerisinde, sistemin kendi içindeki stabilitesi ve mekanizmanın çalışması gibi etkenler de dahil olmaktadır.

Bu çalışmada 65m çapında silindirik bir tank yapısı mevcut zemin koşulları için geoteknik açıdan incelenmiştir. Bölgenin zemin koşullarına bağlı olarak kil ve kum birimlerin bir matris içerisinde farklı kalınlıklarda tabakalar halinde gözlendiği zemin profilinde, tank yapısı altında her bir konumda ayrı oturma analizleri gerçek-

leştirilmiş ve bu analizler neticesinde yapı oturmaları belirlenmiştir. Ayrıca, bölgenin depremselliği dikkate alınarak, deprem durumunda, yapı temel zemininde sıvılaşma problemi ve sıvılaşmaya bağlı deformasyonlar farklı yaklaşımlarla hesap edilmiştir.

Yapının esnek olması nedeniyle, özellikle yüzer çatılı sistemlerde, deprem yüklerine bağlı olarak, büyük deplasman ve deformasyonlar meydana gelebilecek, yapıda yıkılma veya hasar oluşmasa dahi yapısal sistemde arızalar meydana gelebilecektir. Dolayısıyla, deprem bölgelerinde inşa edilecek silindirik tank yapılarının temellerine sönümleyicilerin yerleştirilmesi önerilmektedir.

Geniş çaplı tankların altında farklı oturmalar olmaktadır ve bu oturmaları azaltmak için zemin iyileştirmesi önerilebilir. Çapı geniş ağır yapıların zemine ilettikleri gerilmeler derinlikle sönümlenmektedir. Bu yüzden geniş tabanlı yapılarda zemin incelemesi önemlidir. Bu tip yapıların altında zemin incelemeleri daha derinde yapılmalıdır. Bu tip yapılarda depresiz durumda zeminin taşıma gücü yeterli ve oturmalar sınırlar içinde olabilir. Suya doymun zeminlerde depremlili durum için sıvılaşma analizi yapılması gereklidir. Sıvılaşma sonucu ek oturmalar oluşacaktır.

Silindirik tanklar genellikle sıvı ile doludur. Bu tür yapıların doluluk oranına bağlı olarak salınım frekanslarının hesaplanıp, sönümleyici kullanılabilir. Yerel zemin koşulları da dikkate alınarak dinamik analiz yapılması uygun olacaktır.

## Kaynaklar

- API Standard 650, (2007). Welded Steel Tanks for oil storage, American Petroleum Institute.
- Bechtel Design Guide, (2008). Design guide for storage tanks, EDG-C310, USA.
- DeBeer E.,(1969). Foundation Problems of Petroleum Tanks, *Ann.Inst. Belge de Petrole*, **6**, 34-40.
- Ishihara K., (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes, *Geotechnique*, **43**, 2, 349-415.
- Janbu N. (1967). Settlement calculations based on the tangent modulus. University of Trondheim, Norwegian Institute of Technology, Geotechnical Institution, Bulletin 2, 57.

- Klepikov S.N.,(1989). Performance criteria-allowable deformation of building and damage, general report/discussion 28.
- Önalp A., (2006). Geoteknik Bilgisi 3, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Terzaghi, K., (1943), Theoretical Soil Mechanics, Wiley, New York.
- Tokimatsu K. ve Seed H.B., (1987). Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 113, 8, 861-878.
- Üncü E. (2011). Silindir tank yapılarının statik ve dinamik durumda oturma performansının belirlenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.